

DIN EN ISO 29463-2

ICS 91.140.30

Entwurf

Einsprüche bis 2018-03-19
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1822-2:2011-01

Schwebstofffilter und Filtermedien zur Beseitigung von Partikeln aus der Luft –

Teil 2: Aerosolerzeugung, Messgeräte und Partikelzählstatistik (ISO 29463-2:2011);

Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 29463-2:2018

High-efficiency filters and filter media for removing particles in air –
Part 2: Aerosol production, measuring equipment and particle-counting statistics
(ISO 29463-2:2011);
German and English version prEN ISO 29463-2:2018

Filtres à haut rendement et filtres pour l'élimination des particules dans l'air –
Partie 2: Production d'aérosol, équipement de mesure et statistique de comptage de particules
(ISO 29463-2:2011);
Version allemande et anglaise prEN ISO 29463-2:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-01-19 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 68 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 29463-2:2018.

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 „Filter (SpA ISO/TC 142 und CEN/TC 195)“ im Fachbereich „Allgemeine Lufttechnik“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Luftfilter sowie Experten aus Forschung, Entwicklung sowie von 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.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1822-2:2011-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Titel und Anwendungsbereich; Titeländerung und Wegfall der Begriffe „EPA“, „HEPA“ und „ULPA“
- b) Gesamtes Dokument; Klassenbezeichnung nach ISO (z. B. ISO 35 H), nicht mehr nach EN (z. B. H13)
- c) Abschnitt 2; Verweisung auf ISO-Normen, nicht mehr auf EN-Normen
- d) Anhang A (informativ); „Mittlere Größe der Partikelgrößenverteilung“ neu aufgenommen
- e) Literaturhinweise; neu gefasst

Schwebstofffilter und Filtermedien zur Abscheidung von Partikeln aus der Luft — Teil 2: Aerosolerzeugung, Messgeräte und Partikelzählstatistik (ISO 29463-2:2011)

Filtres à haut rendement et filtres pour l'élimination des particules dans l'air — Partie 2 : Production d'aérosol, équipement de mesure et statistique de comptage de particules (ISO 29463-2:2011)

High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 2: Aerosol production, measuring equipment and particle-counting statistics (ISO 29463-2:2011)

ICS:

Deskriptoren

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Aerosolerzeugung	7
4.1 Aerosolsubstanzen	8
4.2 Herstellung monodisperser Aerosole	9
4.2.1 Kondensationsverfahren	9
4.2.2 Partikelgrößenklassifizierung	12
4.3 Erzeugung polydisperser Aerosole	12
4.3.1 Generator für polydisperses Aerosol mit Laskin-Düse	13
4.3.2 Laskin-Generator — Verifizierung der Druck-Durchfluss-Eigenschaften	14
4.4 Neutralisierung von Aerosolen	14
4.5 Mindestleistungsdaten von Aerosolgeneratoren	14
4.6 Fehlerursachen	14
4.7 Instandhaltung und Inspektion	15
5 Messgeräte	15
5.1 Optische Partikelzähler	15
5.1.1 Betrieb	15
5.1.2 Mindestleistungsdaten	16
5.1.3 Fehlerquellen und Fehlergrenzen	17
5.1.4 Instandhaltung und Inspektion	17
5.1.5 Kalibrierung	18
5.2 Kondensationspartikelzähler	18
5.2.1 Betrieb	18
5.2.2 Mindestleistungsdaten	20
5.2.3 Fehlerquellen und Fehlergrenzen	20
5.2.4 Instandhaltung und Inspektion	21
5.2.5 Kalibrierung	21
5.3 Differentieller Mobilitätsanalysator	21
5.3.1 Betrieb	21
5.3.2 Mindestleistungsdaten	21
5.3.3 Fehlerquellen und Fehlergrenzen	22
5.3.4 Instandhaltung und Inspektion	23
5.3.5 Kalibrierung	23
5.4 Partikelgrößenanalysesystem auf der Basis der differentiellen Mobilitätsanalyse	23
5.4.1 Betrieb	23
5.4.2 Mindestleistungsdaten	23
5.4.3 Fehlerursachen und -grenzen	23
5.4.4 Instandhaltung und Inspektion	23
5.4.5 Kalibrierung	23
5.5 Verdünnungssysteme	24
5.5.1 Betrieb	24

5.5.2	Mindestleistungsdaten	24
5.5.3	Fehlerquellen und Fehlergrenzen.....	24
5.5.4	Instandhaltung und Inspektion.....	24
5.6	Aerosol-Fotometer	25
5.6.1	Betrieb	25
5.6.2	Mindestleistungsdaten	26
5.6.3	Fehlerursachen und -grenzen.....	26
5.6.4	Instandhaltung und Inspektion.....	26
5.6.5	Kalibrierung.....	27
5.7	Differenzdruckmessgerät.....	27
5.8	Absolutdruckmessgerät.....	27
5.9	Thermometer	27
5.10	Luftfeuchtemessgerät	28
6	Intervalle für Wartung und Funktionsprüfung	28
7	Partikelzählstatistik.....	30
Anhang A (informativ) Mittlere Größe der Partikelgrößenverteilung		32
A.1	Gewichtung der Größenverteilungen	32
A.2	Implikationen für Partikelgrößen in Filtermessungen.....	33
Literaturhinweise.....		34

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 29463-2:2011 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 142, *Cleaning equipment for air and other gases* der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 29463-2:2018 durch das Technische Komitee CEN/TC 195 „Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik“ übernommen, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1822-2:2009 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 29463-2:2011 wurde von CEN als prEN ISO 29463-2:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Föderation von Nationalen Normungsorganisationen (ISO Mitglieder). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison, nehmen ebenfalls an der Erarbeitung teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Regeln nach ISO/IEC Direktive, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe von Technischen Komitees ist es Internationale Normen zu erarbeiten. Internationale Norm-Entwürfe, die von Technischen Komitees verabschiedet wurden, werden den Mitgliedsorganisationen zur Abstimmung zur Verfügung gestellt. Für die Veröffentlichung als Internationale Norm werden mindestens 75 % Zustimmung der Mitgliedsorganisationen benötigt.

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 29463-2:2011 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 142, *Cleaning equipment for air and other gases* ausgearbeitet.

ISO 29463 besteht aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel High-efficiency filters and filter media for removing particles in air:

- *Part 1: Classification, performance, testing and marking*
- *Part 2: Aerosol production, measuring equipment, particle-counting statistics*
- *Part 3: Testing flat sheet filter media*
- *Part 4: Test method for determining leakage of filter element — Scan method*
- *Part 5: Test method for filter elements*

Einleitung

ISO 29463 (alle Teile) ist von der EN 1822 (alle Teile) abgeleitet, wobei umfassende Änderungen vorgenommen wurden, um den Anfragen der Nicht-EU-P-Mitglieder zu genügen. Sie enthält Anforderungen, grundlegende Prinzipien der Prüfung und Kennzeichnung für hocheffiziente Partikel-Luftfilter mit Abscheidegraden von 95 % bis 99,999 995 %, die für die allgemeine Klassifizierung von Filtern oder für die spezielle Verwendung durch Vereinbarung zwischen Anwendern und Lieferanten verwendet werden können.

ISO 29463 (alle Teile) legt ein Verfahren zur Prüfung des Abscheidegrads aller Filter auf Basis von Partikelzählverfahren unter Verwendung eines flüssigen (oder alternativ eines festen) Prüfaerosols fest und ermöglicht eine einheitliche Klassifizierung der Schwebstofffilter nach dem Abscheidegrad, sowohl nach dem lokalen als auch nach dem gesamten Abscheidegrad, der die meisten Anforderungen verschiedener Anwendungen abdeckt. Die Unterschiede zwischen der ISO 29463 (alle Teile) und anderen nationalen Normen liegen in der für die Bestimmung des Gesamtabseidegrads verwendeten Technik. Anstelle von massebezogenen Aussagen oder Gesamtkonzentrationen basiert die Technologie auf Partikelzählverfahren im Bereich der Partikelgröße im Abscheidegradminimum (MPPS Most Penetrating Particle Size), die für Mikro-Glasfaserfiltermedien normalerweise in einem Bereich von 0,12 µm bis 0,25 µm liegt. Dieses Verfahren ermöglicht auch die Prüfung von Filtern mit sehr hohen Abscheidegraden. Dies war mit früheren Prüfverfahren wegen ihrer unzureichenden Nachweisgrenzen nicht möglich. Für Membranfiltermedien gelten separate Regeln, die in der ISO 29463-5:2011, Anhang B beschrieben sind. Obwohl für die Prüfung von Filtern mit belasteten Medien keine gleichwertigen Prüfverfahren vorgeschrieben sind, ist für den Umgang mit Filtern dieser Arten in ISO 29463-5:2011, Anhang C eine Methode beschrieben. Spezielle Anforderungen an Prüfverfahren, Häufigkeit und Berichterstattung können durch Vereinbarung zwischen Lieferant und Kunde modifiziert werden. Für Filter mit geringerem Abscheidegrad (Gruppe H, wie unten beschrieben) können die in Anhang A dieses Teils der ISO 29463-4:2011 verzeichneten Prüfverfahren nach spezieller Vereinbarung zwischen Nutzern und Lieferanten verwendet werden, jedoch nur, wenn die Verwendung dieser anderen Verfahren in den Filterkennzeichnungen deutlich angegeben ist, wie in Anhang A der ISO 29463-4:2011 beschrieben.

Es gibt Unterschiede zwischen der ISO 29463 (alle Teile) und anderen genormten Vorgehensweisen, die in unterschiedlichen Ländern gängig sind. Beispielsweise beruhen viele davon auf der Aerosol-Gesamtkonzentration und nicht auf einzelnen Partikeln. Zur Information findet sich eine kurze Übersicht über diese Verfahren und deren Referenznormen in der ISO 29463-5:2011, Anhang A.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 29463 beschreibt die Aerosolerzeugung und Messgeräte für die Prüfung von Filtern mit hohem Abscheidegrad und Filtermedien in Übereinstimmung mit ISO 29463-3, ISO 29463-4 und ISO 29463-5 sowie die statistische Grundlage für Partikelzählung mit einer kleinen Anzahl von Zählereignissen. Er sollte in Verbindung mit ISO 29463-1, ISO 29463-3, ISO 29463-4 und ISO 29463-5 verwendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 29463-1, *High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 1: Classification, performance, testing and marking*

ISO 29463-3, *High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 3: Testing flat sheet filter media*

ISO 29463-4:2011, *High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 4: Test method for determining the leakage of filter element — Scan method*

ISO 29463-5:2011, *High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 5: Test method for filter elements*

ISO 29464¹⁾, *Cleaning equipment for air and other gases — Terminology*

3 Begriffe

Für die Zwecke dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 29463-1, ISO 29464 sowie die folgenden.

3.1

Zählwirkungsgrad

Ausdruck des Anteils der Partikel von nachweisbarer Größe, die im analysierten Volumenstrom enthalten sind, die sich durch das gemessene Volumen bewegen und die vom Partikelzähler gezählt werden

BEISPIEL Das Verhältnis der gemessenen Konzentration zur tatsächlichen Aerosolkonzentration.

ANMERKUNG Der Zählwirkungsgrad hängt von der Partikelgröße ab und verringert sich zunehmend in der Nähe der unteren Nachweisgrenze des Partikelzählers.

4 Aerosolerzeugung

Zur Prüfung von Filtern ist im Rahmen des Referenzprüfverfahrens in Übereinstimmung mit ISO 29463-1 ein Prüfaerosol mit flüssigen Partikeln zu verwenden. Alternativ dazu kann auch ein festes PSL-Aerosol zur (Leck-)Prüfung des lokalen Abscheidegrades verwendet werden (siehe ISO 29463-4:2011, Anhang E).

Die Prüfung von Hochleistungsfiltern (ISO 65 U und höher) erfordert Aerosolerzeugungsverfahren mit hohen Partikelproduktionsraten (10^{10} s^{-1} bis 10^{11} s^{-1}), um auf der Abströmseite zu statistisch aussagefähigen Messergebnissen zu kommen.

¹⁾ Noch zu veröffentlichen.

Der mittlere Partikeldurchmesser des erzeugten Aerosols muss über die Betriebsparameter des Aerosolgenerators auf den Durchmesser der Partikelgröße im Abscheidegradminimum (MPPS) des Filters einstellbar sein. Die Konzentration und die Größenverteilung des erzeugten Aerosols müssen während der Prüfdauer konstant sein.

4.1 Aerosolsubstanzen

Als Aerosolsubstanzen eignen sich Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei Umgebungstemperatur so niedrig ist, dass die erzeugten Tröpfchen in dem für den Prüfvorgang relevanten Zeitmaßstab (in der Größenordnung von einigen Sekunden) ihre Größe durch Verdunsten nur unwesentlich ändern.

4.1.1 Mögliche Substanzen sind u. a.

- DEHS,
- PAO,
- Paraffinöl (geringe Viskosität).

4.1.2 Die wichtigsten Eigenschaften einer möglichen Aerosolsubstanz sind die folgenden; sie sollten sich nicht wesentlich von den Werten unterscheiden, die für die drei in Tabelle 1 vorgeschlagenen Substanzen angegeben sind:

- Brechungsindex;
- Dampfdruck;
- Dichte.

Beim Umgang mit diesen Substanzen müssen die üblichen Laborsicherheitsvorschriften beachtet werden. Durch geeignete Abluft- und dichte Aerosolführungssysteme muss dafür Sorge getragen werden, dass ein Einatmen der Prüfaerosole vermieden wird. In Zweifelsfällen müssen die Sicherheitsdatenblätter für die entsprechenden Substanzen zu Rate gezogen werden.

Tabelle 1 — Wichtige Daten für Aerosolsubstanzen bei 20 °C

Trivialname	DEHS	PAO ^a	Paraffinöl (dünnflüssig)
Chemische Bezeichnung	Sebacinsäure-Bis-(2-Ethylhexyl)-Ester (z. B. CAS Nr. 122-62-3)	Polyalphaolefin (z. B. CAS ^b Nr. 68649-12-7)	Gemisch (z. B. CAS # 64742-46-7)
Trivialname	Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat	Polyalphaolefin	Paraffinöl
Dichte, kg/m³	912	800 bis 820 (820°C)	843
Schmelzpunkt, K	225	~280	259
Siedepunkt, K	529	650 bis 780 (674°C)	526
Flammpunkt, K	>473	445 bis 500	453
Dampfdruck bei 293 K, kPa	1,9 < 0,1 kPa bei 423 K	0,1 bis 0,13	<0,1
Dynamische Viskosität kg/m·s	0,022 bis 0,024	0,003 1 bis 0,003 4 bei 373 K 0,014 bei 313 K ^c	0,026 0,002 5 bis 0,003 8 bei 313 K
Kinematische Viskosität, mm²/s	—	3,8 bis 4,2 bei 373 K	3,0 bis 4,5 bei 313 K
Brechungsindex / Wellenlänge, nm	1,450/650 1,452/600 1,4535/550 1,4545/500 1,4585/450 1,475/400	(1,455 6°)	(1,466°)
^a Die US-Patente 5,059,349, 5,059,352 und 5,076,965 beschreiben die Verwendung von PAO zur Filterprüfung und schränken diese ein. Materialeigenschaften von PAO sind angegeben wie in der japanischen JACA-Norm Nr. 37-2001 und ISO 14644-3. ^b CAS # ist die "Chemical Abstract Service Registry Number". Die Substanzen wurden in „Chemical Abstract“ registriert, herausgegeben von der American Chemical Society. ^c Daten von „körnigem Korund 3004“ als spezifisches Beispiel für ein PAO. Quelle: Crosby, David W., Concentration produced by a Laskin nozzle generator, a comparison of substitute materials and DOP, 21st DOE/NRC Nuclear Air Cleaning Conference.			

4.2 Herstellung monodisperser Aerosole

4.2.1 Kondensationsverfahren

Zur Erzeugung monodisperser Aerosole werden vorzugsweise Kondensationsverfahren eingesetzt, d. h. die Partikel werden durch Kondensation aus der Dampfphase gebildet. Dabei muss zwischen heterogener und homogener Kondensation unterschieden werden.

4.2.1.1 Heterogene Kondensation

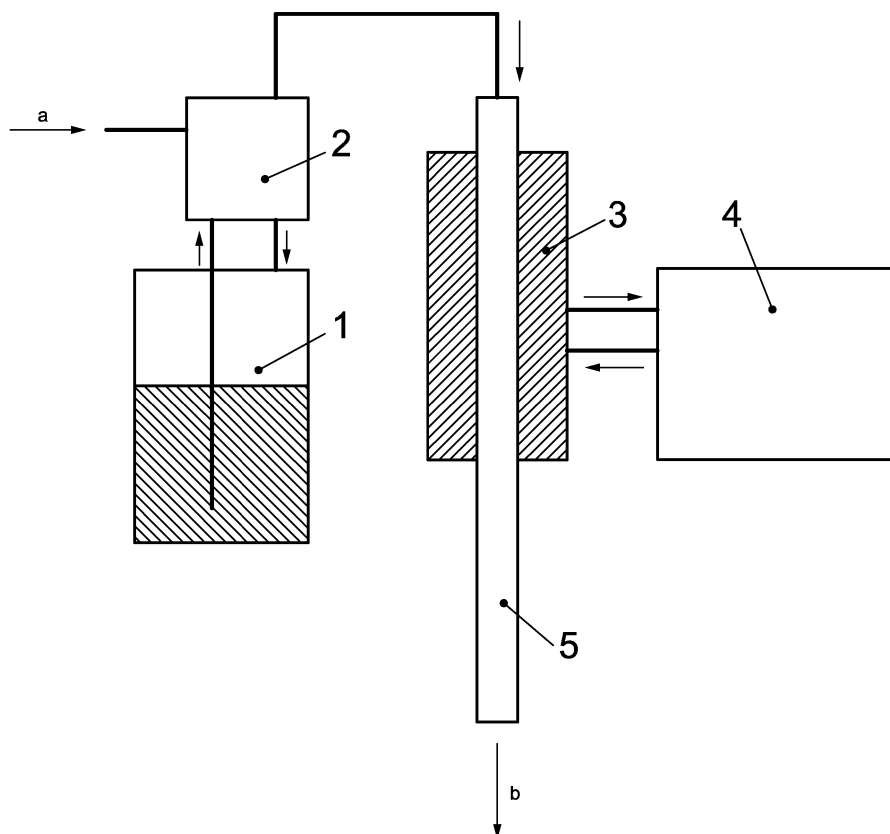
Bei der heterogenen Kondensation kondensiert der Dampf bei relativ niedrigen Übersättigungen auf bereits vorhandene, sehr kleine Partikeln, die sogenannten Kondensationskerne. Die Größenverteilung der dabei entstehenden Aerosole weist eine geometrische Standardabweichung zwischen $\sigma_g = 1,05$ und $\sigma_g = 1,15$ auf.

Ein Aerosolgenerator-Typ, der mit dem Prinzip der heterogenen Kondensation arbeitet und der für die Prüfung von Filtern in Übereinstimmung mit diesem Teil der ISO 29463 geeignet ist, ist der Rapaport-Weinstock-Generator (siehe Bild 1).

4.2.1.1.1 Rapaport-Weinstock-Generator

ANMERKUNG Siehe Bild 1.

Eine Aerosolsubstanz wird pur oder in einem Lösungsmittel gelöst in einer Düse zerstäubt, und das sich ergebende, polydisperse Aerosol wird dann entlang des geheizten Bereichs eines Glasrohrs verdampft. Restkerne der Verunreinigungen im Material bleiben zurück.



Legende

- 1 Flüssigkeitsvorrat
- 2 Zerstäuber
- 3 Verdampfungsabschnitt
- 4 Thermostat
- 5 Kondensationsabschnitt
- a Druckluft.
- b Aerosol.

Bild 1 — Aufbau eines Aerosolgenerators nach Rapaport und Weinstock

In einer anschließenden Kondensationsstrecke kondensiert die Aerosolsubstanz dann wieder auf diesen Kernen zu einem monodispersen Aerosol (siehe auch Referenz [1]).

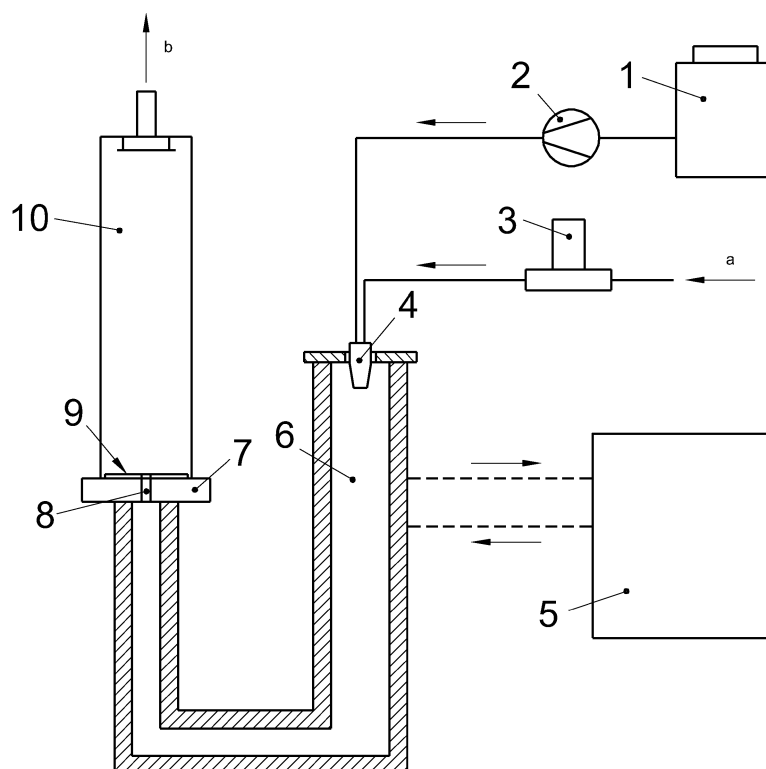
Der Partikeldurchmesser dieses Aerosols wird über das Mischungsverhältnis von Aerosolsubstanz und Lösungsmittel eingestellt. Das erzeugte Aerosol enthält das verwendete Lösungsmittel (z. B. Propanol) in Dampfform.

Generatoren dieses Typs erreichen Partikelproduktionsraten von 10^9 s^{-1} ; der Partikeldurchmesser lässt sich zwischen $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ und $1,5 \text{ }\mu\text{m}$ einstellen.

4.2.1.2 Homogene Kondensation

Bei einem höheren Übersättigungsgrad kommt es auch ohne Vorhandensein von Kondensationskernen zu spontaner Bildung von Dampfmolekülclustern, die zu Partikeln von einigen Nanometern Durchmesser anwachsen (homogene Kondensation). Größere Partikel entstehen dann durch Anlagerung (Koagulation) dieser Partikel untereinander. Die sich dabei einstellende Größenverteilung hat unabhängig von der mittleren Partikelgröße eine geometrische Standardabweichung von $\sigma_g \sim 1,5$ und ist damit nur als quasimonodispers zu bezeichnen. Allerdings sind die nach diesem Prinzip zu erreichenden Partikelerzeugungsraten um ein bis zwei Größenordnungen höher als bei der heterogenen Kondensation (mehr als 10^{11} s^{-1}).

Bild 2 zeigt den Aufbau eines sogenannten Freistrah-Kondensations-Aerosolgenerators, der auf diesem Prinzip beruht.



Legende

- 1 DEHS-Tank
- 2 Pumpe
- 3 Durchflussregler
- 4 Ultraschallvernebler
- 5 Thermostat
- 6 Verdampferrohr mit Heizband und Isolierung
- 7 Hüllluft
- 8 Düse
- 9 Sinterblech
- 10 Koagulationsbereich
- a Stickstoff.
- b Aerosol.

Bild 2 — Aufbau eines Freistrah-Kondensations-Aerosolgenerators

Eine Pumpe liefert Aerosolsubstanz in festgelegter Fördermenge an einem Ultraschall-Zerstäuber. Die hergestellten, relativ großen Tröpfchen ($> 20 \mu\text{m}$) werden dann in einem beheizten Glasrohr verdampft. Die Konzentration der dabei entstehenden Restkerne ist so gering, dass der anschließende homogene Kondensationsvorgang davon nicht beeinflusst wird. Der dampfbeladene, warme Stickstoffstrom tritt durch eine Düse als Freistrahls in einen kalten, laminaren Hüllluftstrom aus. Die turbulente Durchmischung des Freistrahls mit der kalten Luft führt zu der für die homogene Kondensation notwendigen Übersättigung.

Einstellparameter für Partikelgröße und -konzentration sind die Volumenströme von der Aerosolsubstanz (DEHS), Stickstoff und Hüllluft.

4.2.2 Partikelgrößenklassifizierung

Mit den in 5.3 beschriebenen differentiellen Mobilitätsanalysatoren lässt sich aus einem polydispersen Aerosol eine Fraktion mit nahezu gleicher elektrischer Beweglichkeit (Mobilität) heraustrennen (siehe auch Referenz [2]). Unter der Voraussetzung, dass diese Partikel alle nur eine elektrische Elementarladung tragen, ist diese monomobile Fraktion auch monodispers. Größere Partikel, die mehrfach geladen sind und somit die gleiche elektrische Beweglichkeit wie die einfach geladenen Partikel besitzen, müssen gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen bereits aus dem polydispersen Eingangsaerosol entfernt werden.

Da der Anteil der einfach geladenen Partikel im interessierenden Größenbereich geringer als 10 % ist, wovon außerdem nur eine enge Größenfraktion herausgefiltert wird, ist die Anzahlkonzentration des monodispersen Ausgangsaerosols um mindestens einen Faktor 100 niedriger als die Anzahlkonzentration des Eingangsaerosols. Daraus folgt, dass dieses Verfahren zur Herstellung monodisperser Aerosole nur für die Messung des Partikelgrößen-Abscheidegrades des Filtermediums (siehe ISO 29463-3) sinnvoll eingesetzt werden kann.

Die mit diesem Verfahren erreichbare Monodispersität lässt sich durch eine geometrische Standardabweichung von $\sigma_g < 1,1$ beschreiben. Im praktischen Betrieb wird jedoch vielfach durch Änderung der Betriebsparameter eine größere Standardabweichung zugunsten höherer Partikelkonzentrationen in Kauf genommen.

4.3 Erzeugung polydisperser Aerosole

Polydisperse Flüssigaerosole werden in der Regel durch Zerstäuben der Aerosolsubstanz in druckluftbetriebenen Zweistoffdüsen erzeugt.

Nachgeschaltete Trägheitsabscheider wie z. B. Prallplatten oder Zyklone dienen der Abscheidung großer Partikel und engen die Größenverteilung ein. Die geometrische Standardabweichung der erzeugten Größenverteilung liegen zwischen 1,6 und 2,5. Der Partikeldurchmesser kann in geringem Umfang durch den Betriebsdruck der Düse beeinflusst werden. Größere Verschiebungen der Partikelgröße werden üblicherweise dadurch erreicht, dass die Aerosolsubstanz vor der Zerstäubung in einem flüchtigen Lösemittel (z. B. Propanol) aufgelöst wird. Nach Verdunsten des Lösungsmittels bleiben dann Partikel zurück, deren Größe über das Mischungsverhältnis zwischen Aerosolsubstanz und verwendetem Lösungsmittel einstellbar ist.

Durch Parallelschaltung mehrerer Düsen lässt sich die Partikelerzeugungsrate mit vergleichsweise geringem Aufwand erhöhen.

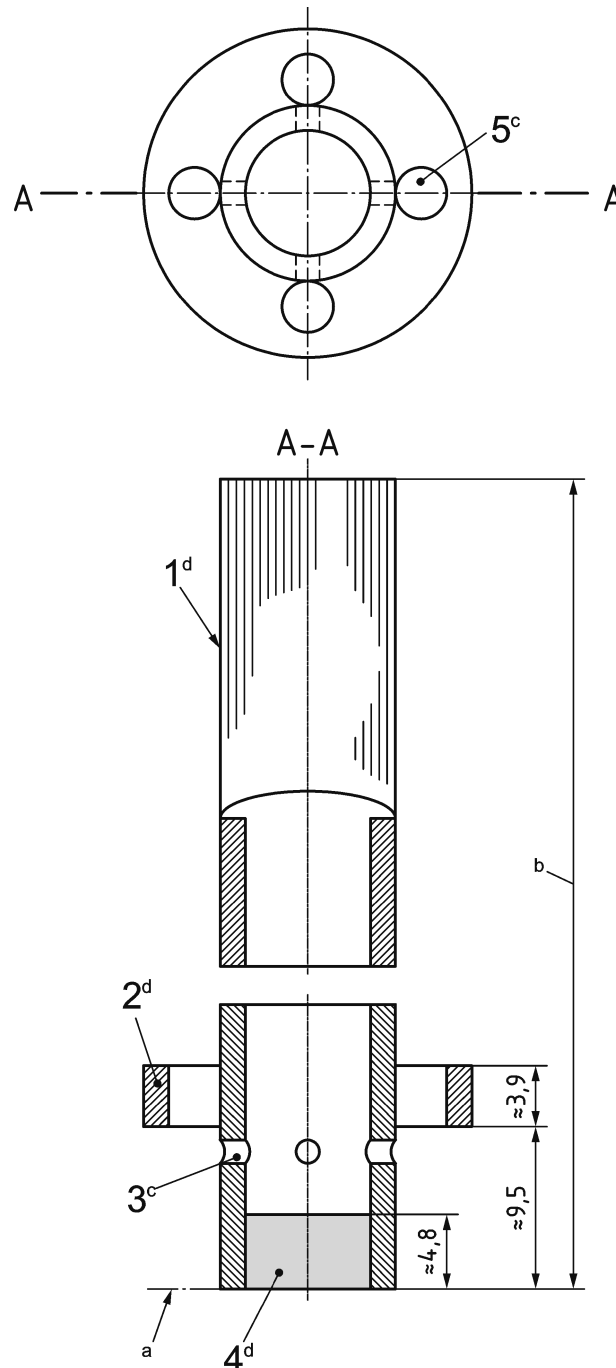
Die mit einer Düse maximal erreichbaren Partikelerzeugungsraten liegen bei $5 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$.

ANMERKUNG Ein typischer Düsenzerstäuber ist z. B. in Referenz [3] beschrieben.

Wo größere Aerosolausgaben benötigt werden (ISO 29463-5), wird ein Aerosolgenerator mit Laskin-Düse empfohlen.

4.3.1 Generator für polydisperses Aerosol mit Laskin-Düse

Das Aerosolgeneratorsystem mit Laskin-Düse nutzt eine Düse zur Erzeugung eines polydispersen Aerosols aus einer Flüssigkeit wie DOP, DEHS oder PAO und verwendet eine Druckgasquelle (siehe auch Referenz [4]). Der Generator erzeugt ein Aerosol mit einem Massemittelwert-Durchmesser von etwa $0,45\text{ }\mu\text{m}$, einen geometrischen Lichtstreuungsdurchmesser von etwa $0,72\text{ }\mu\text{m}$ und eine mittlere Größenverteilung lichtstreuender Tröpfchen wie in Bild 3 dargestellt (siehe auch Referenz [4]).



Legende

- 1 Messingrohr, 9,5 mm (3/8 in) Außendurchmesser $\times$ 1,7 mm (0,065 in) Wandstärke
- 2 Messingmuffe, 15,9 mm (5/8 in) Außendurchmesser, an Rohr 1 silbergelötet
- 3 radiale Bohrungen, 1 mm (0,04 in) Durchmesser, 1,6 rad (90°) versetzt; Oberseite der Bohrungen berührt gerade die Unterseite der Muffe (4 erforderlich)

- 4 Messingstopfen – Silber-Lötstelle (volle Durchdringung)
- 5 Längslöcher mit 2 mm (0,08 in) Durchmesser neben dem Rohr in der Leitung mit radialen Bohrungen (4 erforderlich)
 - a Etwa 12,7 mm (1/2 in) über dem Boden der Dose.
 - b Länge zur Anpassung an Installation variabel.
 - c Die Toleranzen für die Abmessungen an den Bohrungen betragen $\pm 0,05$ mm.
 - d Die Toleranzen für alle anderen Abmessungen betragen $\pm 0,51$ mm.

Bild 3 — Details einer Laskin-Düse [4]

4.3.2 Laskin-Generator — Verifizierung der Druck-Durchfluss-Eigenschaften

Details zu den Vorgehensweisen finden sich in IEST RP CC013. Zusätzlich ist eine gravimetrische Messmethode enthalten, um die tatsächliche, von jeder Laskin-Düse erzeugte Belastung in Mikrogramm pro Liter zu bestimmen.

4.4 Neutralisierung von Aerosolen

Da elektrisch geladene Partikel in Filtern besser abgeschieden werden als ungeladene Partikel, sollten Filter mit elektrisch neutralen Aerosolen geprüft werden. Dabei bezeichnet neutral üblicherweise einen Ladungszustand, der sich als stationäres Gleichgewicht einstellt, wenn man geladene Aerosolpartikel mit einer ausreichenden Anzahl an positiven und negativen Gasionen zusammenbringt. Erreicht wird dies meist, indem man das Trägergas des Aerosols durch eine radioaktive Quelle oder eine Korona-Entladung ionisiert. Die geringe Restladung des Aerosols nach dieser Neutralisierung kann für den Filtrationsprozess vernachlässigt werden.

Elektrische Ladungen auf Aerosolpartikeln entstehen, wenn es beim Erzeugungsprozess (z. B. Zerstäuben) zu Ladungstrennungen kommt. Dies geschieht vor allem beim Zerstäuben polarer Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser (und in geringerem Maße auch bei Propanol). Beim Zerstäuben von reinem DEHS oder DOP entstehen nur relativ geringe Ladungen. Kondensationsprozesse ohne vorgeschaltete Zerstäubung erzeugen nahezu ladungsfreie Aerosole, die nicht neutralisiert werden müssen.

Zur Neutralisierung des für die Prüfung der Filter benötigten, hoch konzentrierten Aerosols müssen die Neutralisatoren eine ausreichend hohe Ionenkonzentration aufweisen. Das Aerosol muss außerdem eine ausreichend lange Zeit in der ionisierenden Atmosphäre gehalten werden (siehe auch Referenz [5]).

4.5 Mindestleistungsdaten von Aerosolgeneratoren

Es gilt Folgendes:

- a) Generatoren für die Medienprüfung:
 - 1) Partikelproduktionsrate: 106 s^{-1} bis 108 s^{-1} ,
 - 2) Partikeldurchmesser einstellbar über den Bereich: $0,04 \text{ }\mu\text{m}$ bis $1,0 \text{ }\mu\text{m}$;
- a) Generatoren für die Filterelementprüfung:
 - 1) Partikelproduktionsrate: 108 s^{-1} bis 1011 s^{-1} ,
 - 2) Partikeldurchmesser einstellbar über den Bereich: $0,08 \text{ }\mu\text{m}$ bis $1,0 \text{ }\mu\text{m}$.

4.6 Fehlerursachen

Bei der Gasversorgung für Aerosolgeneratoren (Druckluft, Stickstoff) ist auf konstanten Druck zu achten. Die Versorgungsgase müssen partikelfrei und ausreichend trocken sein.

Zerstäuberdüsen können sich langsam zusetzen und dabei ihre Zerstäubungscharakteristik unbemerkt ändern.

Kondensationsgeneratoren reagieren empfindlich auf Temperaturschwankungen an der Kondensationsstrecke, die z. B. durch Zugluft verursacht werden können. Weiterhin können Aerosolsubstanzen, die unter der lang andauernden Einwirkung höherer Temperaturen stehen, sich verändern und sollten regelmäßig ausgetauscht werden.

4.7 Instandhaltung und Inspektion

Aerosolgeneratoren sind nach den Herstellerangaben regelmäßig zu warten.

Die Größenverteilung sowie die Konstanz der Produktionsrate sind mit einem geeigneten Messsystem nach Abschnitt 5 in den in Abschnitt 6 angegebenen Intervallen zu prüfen.

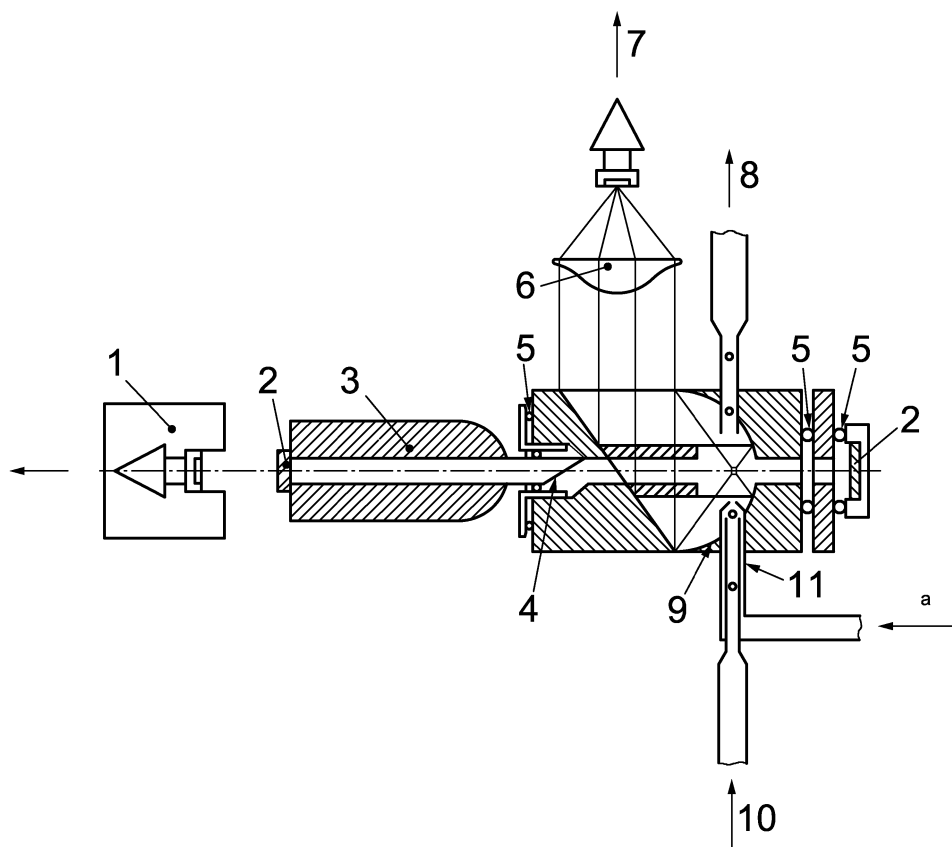
5 Messgeräte

5.1 Optische Partikelzähler

5.1.1 Betrieb

In einem optischen Partikelzähler werden Partikel einzeln durch ein intensiv beleuchtetes Messvolumen geleitet. Das beim Durchgang der Partikel durch das Messvolumen gestreute Licht wird unter einem definierten Raumwinkel von einem Fotodetektor erfasst und in einen elektrischen Impuls umgewandelt. Die Höhe dieses Impulses korrespondiert mit der Partikelgröße, und die Anzahl der Impulse je Zeiteinheit mit der Partikelkonzentration im analysierten Luftvolumen.

Bild 4 zeigt ein Beispiel des prinzipiellen Aufbaus eines optischen Partikelzählers mit Laserlichtquelle.



Legende

- 1 Referenzdetektor
- 2 Laser-Spiegel
- 3 He-Ne-Laser
- 4 Brewster-Fenster
- 5 Dichtungsring
- 6 asphärische Linse
- 7 Fotodetektor
- 8 Aerosolauslass
- 9 Parabolspiegel
- 10 Aerosoleinlass
- 11 Aerosoldüse
- a Hüllluft.

Bild 4 — Aufbau eines optischen Partikelzählers —Beispiel

5.1.2 Mindestleistungsdaten

Es gilt Folgendes.

- a) Optische Partikelzähler sollten mit den Anforderungen der ISO 21501-1 und/oder der ISO 21501-4 übereinstimmen.
- b) Messbereich für die Partikelgröße: 0,1 μm bis 2,0 μm (für 50 % Zählwirkungsgrad) mit mindestens einer Klasse mit einer mittleren Größe unter der der Partikelgröße im Abscheidegradminimum des zu prüfenden Filters; vorzugsweise die halbe Größe der Partikelgröße im Abscheidegradminimum.

- c) Mindestanzahl der Partikelgrößenklassen zwischen 0,1 µm und 0,3 µm:
- 1) für die Prüfung des Filtermediums, fünf Größenklassen;
 - 2) für die Prüfung des Filterelementes, zwei Größenklassen. Unter praktischen Gesichtspunkten können die Größenklassenbereiche 0,1 bis 0,2 und 0,2 bis 0,3, die an vielen käuflichen Zählern gängig sind, diese Anforderung erfüllen.
- d) Nullzählrate: $<1 \text{ min}^{-1}$.

5.1.3 Fehlerquellen und Fehlergrenzen

Die von einem optischen Partikelzähler bestimmte Partikelgröße ist ein Streulicht-Äquivalentdurchmesser (siehe auch Referenz [7]), der neben der geometrischen Partikelgröße auch von der Form der Partikel und den optischen Eigenschaften des Partikelmaterials abhängt. Die Art dieser Abhängigkeit ist für Partikelzähler unterschiedlicher Bauart verschieden. Messergebnisse zweier unterschiedlicher Partikelzähler können nur dann verglichen werden, wenn beide für das entsprechende Partikelmaterial kalibriert wurden.

Bei einer zu hohen Partikelkonzentration kommt es zu sogenannten Koinzidenzfehlern. Dies bedeutet, dass sich mehrere Partikel zur gleichen Zeit im Messvolumen befinden und als ein größeres Partikel interpretiert werden. Durch geeignete Verdünnungsmaßnahmen (siehe 5.5) ist sicherzustellen, dass die Maximalkonzentration nicht überschritten wird. Die Maximalkonzentration für einen bestimmten Partikelzähler kann durch Erzeugung eines Aerosols bei konstanter Rate in ein bekanntes Luftvolumen bestimmt werden. Die Konzentration sollte ca. 20 000 bis 30 000 Zählungen pro Minute in einem präzise gemessenen Luftvolumen ergeben. Sobald die Konzentration bestimmt wurde, ist mit gleichbleibender Partikelerzeugung und verringertem Luftvolumen fortzufahren. Mittels Gleichung (1) die neue, höhere gemessene Konzentration mit der berechneten Konzentration vergleichen.

$$C_c \times V_c = C_m \times V_m \quad (1)$$

Dabei ist

C_c die berechnete Konzentration;

V_c das berechnete Volumen;

C_2 die gemessene Konzentration;

V_2 das gemessene Volumen.

Falls die gemessenen und die berechneten Werte übereinstimmen, das Verfahren mit einem neuen, geringeren Luftvolumenstrom wiederholen. Das Verfahren fortsetzen, bis die gemessene Konzentration 95 % der berechneten Konzentration beträgt. Dies ist die maximale Aerosolkonzentration, die mit einem Zähler mit $\alpha \leq 5 \%$ Koinzidenzverlust gemessen werden kann.

Das Volumenstrom-Messgerät am Zähler muss gegen einen nachverfolgbaren Standard kalibriert werden.

5.1.4 Instandhaltung und Inspektion

Optische Partikelzähler müssen regelmäßig durch fachkundiges Personal gewartet und auf korrekte Funktion überprüft werden. Dies schließt auch eine Kalibrierung mit PSL-Aerosolen (Polystyrollatex) ein.

Die Inspektion des korrekten Betriebs durch den Nutzer muss die Prüfung der Durchflussrate sowie eine regelmäßige Prüfung der Nullzählrate durch Einführen eines geeigneten, vorgeschalteten Filters der Klasse ISO 35 H oder höher beinhalten.

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

5.1.5 Kalibrierung

Optische Partikelzähler werden üblicherweise mit PSL-Partikeln kalibriert (siehe auch Referenzen [8] und [9]). Eine Kalibrierung mit anderen, meist flüssigen Aerosolmaterialien (z. B. mit DEHS) ist mit Hilfe eines Schwingblenden-Aerosolgenerators (siehe auch Referenz [10]) oder einer unabhängigen, das Aerosol größenmäßig ordnenden Einrichtung möglich.

Die Bestimmung des Zählwirkungsgrades erfordert die Erzeugung monodisperser Aerosole mit bekannter Konzentration (z. B. mit Hilfe eines differentiellen Mobilitätsanalysators und eines Aerosolelektrometers oder Kondensationskernzählers (siehe auch Referenz [2])), sodass dies üblicherweise nur in einem gut ausgestatteten Aerosol-Labor möglich ist. Ersatzweise kann der Zählwirkungsgrad auch mit PSL-Aerosolen durch Vergleichsmessungen mit einem anderen optischen Partikelzähler ermittelt werden. In diesem Fall muss die untere Messgrenze des Vergleichszählers niedriger als die des zu kalibrierenden Zählers sein.

5.2 Kondensationspartikelzähler

5.2.1 Betrieb

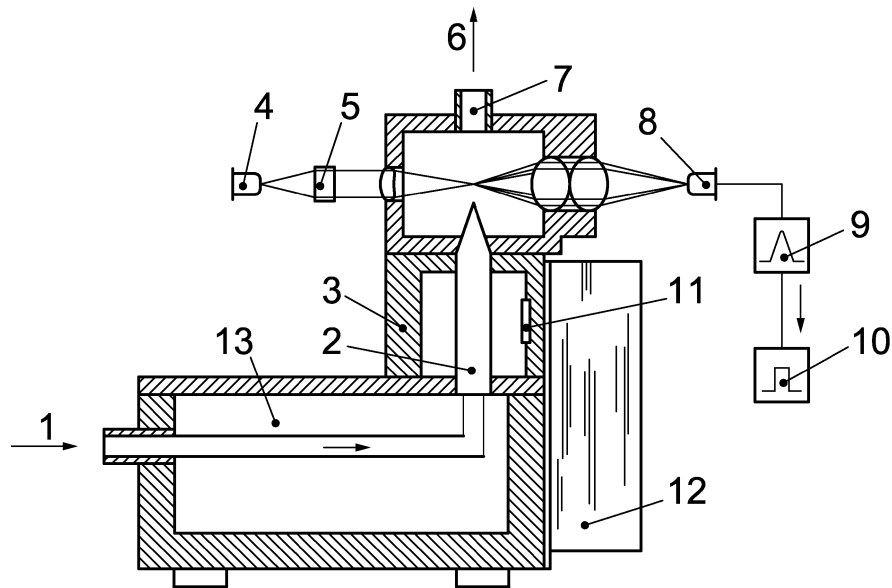
In einem Kondensationspartikelzähler (CPC, Condensation Particle Counter) werden Partikel, die zu klein für eine direkte optische Messung sind, durch Kondensation einer verdampften Flüssigkeit vergrößert und anschließend der Lichtstreuungs- oder Lichtlöschungsmessung unterzogen. Die Konzentration der 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 auf zwei Arten erzielt werden.

Im ersten Fall wird das Aerosol zunächst auf einem über der Umgebungstemperatur liegenden Temperaturniveau mit dem Dampf gesättigt und dann durch Kontakt mit einer kalten Rohrwand (externe Kühlung) abgekühlt (siehe auch Referenz [11]). Bild 5 zeigt den Aufbau eines solchen Geräts. 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.

Im zweiten Fall wird Aerosol bei Raumtemperatur mit einem wärmeren, partikelfreien, dampfgesättigtem Luftstrom vermischt. Die Mischung führt zur Übersättigung und Kondensation (siehe auch Referenz [12]). Dieses Prinzip ist in Bild 6 dargestellt.

Hier wird das Aerosol auf kürzestem Weg direkt einer Mischdüse zugeführt. Die in der Kondensationsstrecke entstehenden Tropfen aus Propylenglykol werden dann ebenfalls durch einen Streulichtsensor messtechnisch erfasst.



Legende

- 1 Aerosoleinlass
- 2 Kondensationsrohr
- 3 Wärmeisolierung
- 4 Laserdiode
- 5 Linsensystem
- 6 Aerosolauslass
- 7 Düse
- 8 Fotodetektor
- 9 analoges Signal
- 10 digitales Signal
- 11 Peltier-Element
- 12 Wärmesenke (freie Konvektion)
- 13 Sättigungsrohr und Alkohol-Reservoir

Bild 5 — Aufbau eines Kondensationspartikelzählers unter Verwendung des Prinzips externer Kühlung