

DIN EN 16976



ICS 13.040.20

Ersatz für
DIN CEN/TS 16976
(DIN SPEC 33974):2016-11

**Außenluft –
Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration des atmosphärischen
Aerosols;
Deutsche Fassung EN 16976:2024**

Ambient air –
Determination of the particle number concentration of atmospheric aerosol;
German version EN 16976:2024

Air ambient –
Détermination de la concentration en nombre de particules de l'aérosol atmosphérique;
Version allemande EN 16976:2024

Gesamtumfang 60 Seiten

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss

Nationales Vorwort

Das Dokument EN 16976:2024 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 134-04-02-18 UA „Messen von Partikeln in der Außenluft — Bestimmung der Partikelanzahl“ der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.

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

Änderungen

Gegenüber DIN CEN/TS 16976 (DIN SPEC 33974):2016-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 1: Die untere Grenze des Partikelgrößenmessbereichs wurde auf 10 nm gesetzt und ist damit identisch zu MPSS-Messungen (Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer), siehe CEN/TS 17434. In Luftqualitätsmessnetzen, in denen MPSS zur Bestimmung der Partikelanzahlgrößenverteilung eingesetzt werden, darf ein CPC für die Qualitätssicherung der MPSS-Daten eingesetzt werden;
- b) Abschnitt 3: Der Parameter „Kalibrierfaktor“ wurde eingeführt und definiert. Die Begriffe und Definitionen für die verschiedenen Volumenströme wurden überarbeitet und neu angeordnet;
- c) 5.1.2: Der Aerosoldiffusionstrockner auf Basis von Silicagel wurde ausgeschlossen, da die Diffusionsverluste bei diesem Trocknertyp zu hoch sind;
- d) 6.2: Koinzidenzkorrektur muss durchgeführt werden. Keine anderen Korrekturfaktoren dürfen angewendet werden, sofern nicht eine Korrektur des analysierten Volumenstroms erforderlich ist;
- e) 6.3: Alle Prüfungen werden bei nur einer Temperatur durchgeführt (zwischen 20 °C und 30 °C);
- f) 6.4, Tabelle 1: Die Kriterien für mehrere Leistungskenngrößen wurden geändert, die Leistungskenngröße „Kalibrierfaktor“ wurde aufgenommen;
- g) 6.5: Einige der Prüfverfahren wurden überarbeitet, ein Prüfverfahren für den Kalibrierfaktor wurde zugefügt;
- h) 7.2: Zwei Verdünnungsfaktoren sind erforderlich: einer zur Absenkung der Konzentration und einer für die Trocknung;
- i) 7.5: Das Tracergas-Verfahren zur Bestimmung des Verdünnungsfaktors eines Verdünnungssystems wurde ausgeschlossen. Allgemeine Kriterien für Verdünnungssysteme wurden aufgenommen;
- j) 9.2: Die Prüfung „Bestimmung der unteren Nachweisgrenze (Cut-off)“ wurde entfernt, das Verfahren zur „Überprüfung der Anzahlkonzentration“ substanziell überarbeitet;
- k) Der vorherige Anhang C „Datenberichterstattung“ wurde entfernt;
- l) Anhang D: Die Werte für Partikelanzahlkonzentrationen in der Außenluft wurden aktualisiert;
- m) Anhang E: Ein Beispiel für die Ausführung eines Verdünnungssystems und ein Beispiel zur Berechnung der Unsicherheit des Verdünnungsfaktors wurden zugefügt;

- n) Anhang G: Der neue Anhang „Koinzidenzkorrektur“ wurde zugefügt;
- o) Anhang H: Der neue Anhang „Ergebnisse eines experimentellen Vergleichs verschiedener CPCs“ wurde zugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN CEN/TS 16976 (DIN SPEC 33974): 2016-11

– Leerseite –

Deutsche Fassung

**Außenluft —
Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration des
atmosphärischen Aerosols**

Ambient air —
Determination of the particle number concentration of
atmospheric aerosol

Air ambient —
Détermination de la concentration en nombre de
particules de l'aérosol atmosphérique

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 19. Mai 2024 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
3.1 Aerosoleigenschaften	8
3.2 Geräteleistung	9
3.3 Volumenströme	9
4 Atmosphärisches Aerosol	10
5 Beschreibung des Verfahrens	10
5.1 Probenahme und Konditionierung	10
5.1.1 Probenahme	10
5.1.2 Trocknung	11
5.1.3 Verdünnung	12
5.2 Bestimmung der Anzahlkonzentration mit einem CPC	12
5.2.1 Kondensationswachstum	12
5.2.2 Optische Detektion	15
6 CPC-Leistungskriterien und Prüfverfahren	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Allgemeine Anforderungen an den CPC	15
6.3 Prüfbedingungen	16
6.4 Leistungskenngrößen und Leistungskriterien	16
6.5 Prüfverfahren	17
6.5.1 Kalibrierter Volumenstrom	17
6.5.2 Messbereich der Anzahlkonzentration	18
6.5.3 Nachweisgrenze für die Anzahlkonzentration	18
6.5.4 Kalibrierfaktor	18
6.5.5 Gerätespezifische Bewertung der Linearität und Steigung der Kennlinie	18
6.5.6 Nachweisempfindlichkeitskurve bei kleiner Partikelgröße	19
6.5.7 Nachweisgrenze für die obere Partikelgröße	19
6.5.8 Nullzählrate	19
6.5.9 Einstellzeit	19
6.5.10 Abhängigkeit des Volumenstroms von der Netzspannung	20
6.5.11 Messunsicherheit der Kalibrierung von Temperatur- und Drucksensoren	20
6.5.12 Auswirkung von Fehlern der Netzspannung	20
7 Leistungskriterien und Prüfverfahren für Probenahme und Konditionierung	20
7.1 Allgemeine Anforderungen	20
7.2 Leistungskenngrößen und Leistungskriterien	20
7.3 Diffusionsverluste	21
7.4 Relative Luftfeuchte	21
7.5 Verdünnung	21
7.5.1 Verdünnungsfaktor	21
7.5.2 Allgemeine Kriterien für Verdünnungssysteme	22
7.6 Primärer Probenahmestrom	22
8 Ablauf der Messung	22
8.1 Messplanung	22
8.2 Umgebungsbedingungen	22
8.3 Erstinstallation	22
8.4 Erstprüfungen vor Ort	23
8.5 Datenverarbeitung und Berichterstattung	23
9 Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Messunsicherheit	23

9.1	Allgemeines	23
9.2	Häufigkeit der Kalibrierungen, Überprüfungen und Wartungsmaßnahmen	24
9.2.1	Allgemeines	24
9.2.2	Vollständige Wartung des CPC	24
9.2.3	Kalibrierung der Linearität	25
9.2.4	Überprüfung der Nullzählrate	25
9.2.5	Überprüfung der Anzahlkonzentration	25
9.2.6	Überprüfung des tatsächlichen Volumenstroms	25
9.2.7	Kalibrierung der Temperatur- und Drucksensoren	25
9.2.8	Interne Diagnostik des CPC	26
9.2.9	Wartung des Probenahmesystems	26
9.2.10	Sensor für relative Luftfeuchte	26
9.2.11	Verdünnungsfaktor (falls angewendet)	26
9.2.12	Dichtigkeitsprüfung	26
9.3	Messunsicherheit	26
9.3.1	Allgemeines	26
9.3.2	Nachweisempfindlichkeit am CPC-Plateau	27
9.3.3	Drift der CPC-Nachweisempfindlichkeit	27
9.3.4	Volumenstrommessung	27
9.3.5	Korrektur auf Normtemperatur und Normdruck	28
9.3.6	Diffusionsverluste im Probenahmesystem	28
9.3.7	Verdünnungsfaktor (sofern gegeben)	28
9.3.8	Berechnung der Gesamtunsicherheit	28
Anhang A (normativ) Ermittlung der Diffusionsverluste in Probenahmeleitungen		29
Anhang B (informativ) Beispiel für die Berechnung der Diffusionsverluste in einem Probenahmesystem		31
B.1	Beschreibung des Probenahmesystems	31
B.2	Lufteigenschaften und Diffusionskoeffizient	32
B.3	Verluste in der primären Probenahmeleitung	32
B.4	Verluste in der sekundären Probenahmeleitung und im Trockner	33
B.5	Gesamtverluste bei der Probenahme	33
Anhang C (informativ) Berechnung der Unsicherheit (Beispiel)		35
C.1	Allgemeines	35
C.2	CPC-Nachweisempfindlichkeit am Plateau	35
C.3	Drift der CPC-Nachweisempfindlichkeit	35
C.4	Volumenstrommessung	35
C.5	Korrektur auf Normtemperatur und Normdruck	35
C.6	Probenahmeverluste aufgrund der Diffusion zu den Wänden	35
C.7	Verdünnungsfaktor (falls gegeben)	36
C.8	Berechnung der Gesamtunsicherheit	36
Anhang D (informativ) Atmosphärische Aerosole		37
D.1	Allgemeines	37
D.2	Beispiele für Messungen	37
Anhang E (informativ) Verdünnungssysteme		40
E.1	Hintergrund	40
E.2	Funktionsweisen von Verdünnungssystemen	40
E.2.1	Allgemeines	40
E.2.2	Verdünnungssystem mit Nebenstromfilter	40
E.2.3	Verdünnungssysteme mit externer Reinluftversorgung	41
E.3	Beispiel eines Verdünnungssystems zur Trocknung des Primärvolumenstroms	42
E.4	Betriebsparameter eines Verdünnungssystems	43
E.5	Beispiel zur Berechnung der Unsicherheit des Verdünnungsfaktors	45
Anhang F (informativ) Laminare Strömung		48
Anhang G (informativ) Koinzidenzkorrektur		49
Anhang H (informativ) Ergebnisse des experimentellen Vergleichs verschiedener CPCs		51
Literaturhinweise		56

Bilder

Bild 1 — Grundkonzept des Aerosoleinlasses 11

Bild 2 — Prinzip eines CPC mit kontinuierlichem Volumenstrom (vgl. ISO 27891:2015) 14

Bild B.1 — Modell eines CPC-Probenahmesystems 31

Bild D.1 — Ländliches Gebiet mit Partikelneubildungsereignis 38

Bild D.2 — Verkehrsbezogene Messungen 39

Bild E.1 — Schematische Darstellung einer Verdünnungsschleife 41

Bild E.2 — Schematische Darstellung eines Verdünnungssystems mit externer
Reinluftversorgung 42

Bild E.3 — Beispiel eines Verdünnungssystems zur Aerosoltrocknung 43

Bild E.4 — Verdünnungsfaktor als Funktion der Aerosoltaupunkttemperatur 45

Bild G.1 — Gemessene Anzahlkonzentration mit Koinzidenzfehler 50

Bild H.1 — Vergleich der FCAEs 51

Bild H.2 — Auswirkung der Korrekturverfahren 52

Bild H.3 — Partikelanzahlkonzentrationssignale aller CPCs 53

Bild H.4 — Kurven der Nachweisempfindlichkeit vor und nach Koinzidenzkorrektur (links:
Impulsausgang; rechts: koinzidenzkorrigiert) 54

Bild H.5 — Kurven der Nachweisempfindlichkeit nach Anwendung des Kalibrierfaktors 55

Tabellen

Tabelle 1 — Leistungskriterien eines CPC 17

Tabelle 2 — Leistungskriterien für die Probenahmeeinrichtung 20

Tabelle 3 — Erstprüfungen vor Ort 23

Tabelle 4 — Kalibrierung, Überprüfungen, Wartung und deren Häufigkeit 24

Tabelle 5 — Unsicherheitskomponenten und deren Ermittlung 26

Tabelle B.1 — Penetration und Verluste in der sekundären Probenahmeleitung für verschiedene
CPC-Volumenströme 33

Tabelle B.2 — Gesamtpenetration und Verluste für verschiedene CPC-Volumenströme 34

Tabelle C.1 — Drift der Nachweisempfindlichkeit 35

Tabelle C.2 — Unsicherheitskomponenten 36

Tabelle E.1 — Sättigungsdampfdruck und absolute Feuchte als Funktion der Temperatur 44

Tabelle E.2 — Unsicherheitsberechnung nach ISO/IEC Guide 98-3:2008 für den
Verdünnungsfaktor 46

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16976:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2024, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2024 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt CEN/TS 16976:2016.

Dieses Dokument beinhaltet die folgenden wesentlichen technischen Änderungen im Vergleich zur vorherigen Ausgabe:

- Abschnitt 1: Die untere Grenze des Partikelgrößenmessbereichs wurde auf 10 nm gesetzt und ist damit identisch zu MPSS-Messungen (Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer), siehe CEN/TS 17434. In Luftqualitätsmessnetzen, in denen MPSS zur Bestimmung der Partikelanzahlgrößenverteilung eingesetzt werden, darf ein CPC für die Qualitätssicherung der MPSS-Daten eingesetzt werden.
- Abschnitt 3: Der Parameter „Kalibrierfaktor“ wurde eingeführt und definiert. Die Begriffe und Definitionen für die verschiedenen Volumenströme wurden überarbeitet und neu angeordnet.
- 5.1.2: Der Aerosoldiffusionstrockner auf Basis von Silicagel wurde ausgeschlossen, da die Diffusionsverluste bei diesem Trocknertyp zu hoch sind.
- 6.2: Koinzidenzkorrektur muss durchgeführt werden. Keine anderen Korrekturfaktoren dürfen angewendet werden, sofern nicht eine Korrektur des analysierten Volumenstroms erforderlich ist.
- 6.3: Alle Prüfungen werden bei nur einer Temperatur durchgeführt (zwischen 20 °C und 30 °C).
- 6.4, Tabelle 1: Die Kriterien für mehrere Leistungskenngrößen wurden geändert, die Leistungskenngröße „Kalibrierfaktor“ wurde aufgenommen.
- 6.5: Einige der Prüfverfahren wurden überarbeitet, ein Prüfverfahren für den Kalibrierfaktor wurde zugefügt.
- 7.2: Zwei Verdünnungsfaktoren sind erforderlich: einer zur Absenkung der Konzentration und einer für die Trocknung.
- 7.5: Das Tracergas-Verfahren zur Bestimmung des Verdünnungsfaktors eines Verdünnungssystems wurde ausgeschlossen. Allgemeine Kriterien für Verdünnungssysteme wurden aufgenommen.
- 9.2: Die Prüfung „Bestimmung der unteren Nachweisgrenze (Cut-off)“ wurde entfernt, das Verfahren zur „Überprüfung der Anzahlkonzentration“ substanziell überarbeitet.
- Der vorherige Anhang C „Datenberichterstattung“ wurde entfernt.
- Anhang D: Die Werte für Partikelanzahlkonzentrationen in der Außenluft wurden aktualisiert.

- Anhang E: Ein Beispiel für die Ausführung eines Verdünnungssystems und ein Beispiel zur Berechnung der Unsicherheit des Verdünnungsfaktors wurden zugefügt.
- Anhang G: Der neue Anhang „Koinzidenzkorrektur“ wurde zugefügt.
- Anhang H: Der neue Anhang „Ergebnisse eines experimentellen Vergleichs verschiedener CPCs“ wurde zugefügt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Die Bedeutung von Aerosolpartikeln mit Durchmessern $D < 1 \mu\text{m}$ für die menschliche Gesundheit, aber auch für klimatische Effekte, wird mehr und mehr erkannt. Zur Beschreibung der Luftqualität erscheint es erforderlich, gravimetrisch ermittelte Massenkonzentrationen wie PM_{10} oder $\text{PM}_{2,5}$ (siehe EN 12341) um eine Messung der Partikelanzahlkonzentration zu ergänzen. Da ultrafeine Partikel mit Durchmessern $D < 0,1 \mu\text{m}$ nur noch unwesentlich zur Masse der atmosphärischen Aerosolpartikel beitragen, können sie am besten mit zählenden Messverfahren ausreichender Empfindlichkeit erfasst werden.

Da Partikelmessgeräte die Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und der Partikelanzahlgrößenverteilung ermöglichen, werden zwei Dokumente erstellt:

- eines, das sich mit der Bestimmung der Messgröße Anzahlkonzentration (ein Maß für die „gesamte“ Anzahlkonzentration, dieses Dokument) befasst;
- eines, das sich mit der Bestimmung der Anzahlkonzentration innerhalb einer beschränkten Anzahl von Größenbereichen befasst (CEN/TS 17434).

Abschnitt 4 und Abschnitt 5 enthalten allgemeine Angaben zum Verfahren und zu den erwarteten Eigenschaften des zu messenden Aerosols.

Abschnitt 6 legt Leistungskriterien für CPCs fest. Dies umfasst die relevanten Leistungskenngrößen (ohne Probenahmesystem), die zu erfüllenden Kriterien sowie die Beschreibung der entsprechenden Prüfungen. Diese Prüfungen werden im Allgemeinen von Prüfinstituten oder CPC-Herstellern, nicht jedoch von Anwendern durchgeführt und können Grundlage für eine zukünftige Typprüfung von CPCs sein.

Abschnitt 7 behandelt die Leistungskriterien und Prüfverfahren für das Probenahme- und Konditionierungssystem (z. B. Verdünnung). Diese Prüfverfahren dürfen von Herstellern von Probenahmesystemen, Prüfinstituten oder Anwendern (Netzwerkbetreibern) angewendet werden.

Abschnitt 8 behandelt die Anforderungen für die Einrichtung, Erstprüfungen und Kalibrierungen sowie den Betrieb eines CPC und Probenahmesystems an einem Messort, einschließlich routinemäßiger Wartung, Datenverarbeitung (unter Nutzung von QA/QC-Daten) und Berichterstattung. Diese Tätigkeiten liegen in der Verantwortung der Anwender (Netzwerkbetreiber), wobei Kalibrierungen, bei denen Prüfaerosole erforderlich sind, nur von entsprechend qualifizierten Laboratorien durchzuführen sind.

Abschnitt 9 behandelt die Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Qualitätslenkung, d. h. die während des Betriebs des CPC und Probenahmesystems am Messort erforderlichen laufenden Prüfungen und Kalibrierungen. Diese Tätigkeiten liegen in der Verantwortung der Anwender (Netzwerkbetreiber), wobei Kalibrierungen, bei denen Prüfaerosole erforderlich sind, nur von entsprechend qualifizierten Laboratorien durchzuführen sind. In diesem Abschnitt werden auch die wesentlichen Quellen der Messunsicherheit genannt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Standardverfahren zur Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration in Außenluft im Bereich bis etwa 10^7 cm^{-3} für Mittelungszeiten von mindestens 1 min fest. Das Standardverfahren basiert auf einem im Zählmodus betriebenen Kondensationspartikelzähler (en: Condensation Particle Counter, CPC) mit geeignetem Verdünnungssystem für Konzentrationen, die den Bereich des Zählmodus überschreiten. Weiterhin werden Leistungskenngrößen und Mindestanforderungen für geeignete Geräte definiert. Die in diesem Dokument betrachteten unteren und oberen Partikelgrößen sind 10 nm bzw. einige Mikrometer. Dieses Dokument gibt Anleitungen zu Probenahme, Betrieb des Geräts, Datenverarbeitung und QA/QC-Maßnahmen, einschließlich der Kalibrierparameter.

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 27891:2015, *Aerosol particle number concentration — Calibration of condensation particle counters*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

3.1 Aerosoleigenschaften

3.1.1

Partikel

kleines Materieteilchen mit definierten physikalischen Grenzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Phase eines Partikels kann fest, flüssig oder zwischen fest und flüssig und eine Mischung aus diesen Phasen sein.

[QUELLE: ISO 27891:2015, modifiziert]

3.1.2

Aerosol

Mehrphasensystem aus in einem Gas suspendierten festen und/oder flüssigen Partikeln mit einer Partikelgröße von $0,001 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$

3.1.3

Anzahlgrößenverteilung

Häufigkeitsverteilung der Partikelanzahlkonzentration, dargestellt als Funktion der Partikelgröße

3.1.4

Partikelanzahlkonzentration

Anzahl der Partikel je Trägergasvolumen

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die exakte Angabe der Partikelanzahlkonzentration sind Angaben zum gasförmigen Zustand (Druck und Temperatur) oder der Bezug auf eine Standardvolumenangabe erforderlich.

[QUELLE: ISO 27891:2015]

3.1.5

Stokes-Durchmesser

Durchmesser eines kugelförmigen Partikels, das bei gleicher Geschwindigkeit durch ein Medium die gleiche Widerstandskraft erfährt wie das zu beschreibende Partikel

3.1.6

Kelvin-Durchmesser

Durchmesser eines Tröpfchens der reinen Dampfsubstanz, das bei der gleichen Übersättigung zu wachsen beginnen würde wie das betreffende Partikel

3.2 Geräteleistung

3.2.1

Koinzidenzfehler

Fehler, der bei zählenden Messverfahren entsteht, wenn gleichzeitig zwei oder mehr Partikel als ein einzelnes Partikel gezählt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Koinzidenzfehler hängt mit der Partikelanzahlkonzentration, Strömungsgeschwindigkeit durch die Messzone und Größe der Messzone zusammen.

3.2.2

Nachweisempfindlichkeit

Verhältnis der mit dem Messgerät bestimmten Partikelanzahlkonzentration zur Referenzpartikelanzahlkonzentration des Aerosols am Geräteeinlass

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nachweisempfindlichkeit hängt von der Partikelgröße ab und kann von der Partikelanzahlkonzentration abhängen.

3.2.3

Kalibrierfaktor

modell- oder gerätespezifisches Verhältnis zwischen der Anzeige des Referenz-FCAE und der CPC-Zählrate, beide in Partikelanzahlkonzentrationen umgewandelt

3.3 Volumenströme

3.3.1

tatsächlicher Volumenstrom

Volumenstrom eines individuellen Messgeräts, bei tatsächlichen Luftbedingungen am Einlass gemessen

3.3.2

Nennvolumenstrom

Volumenstrom, für den ein spezifisches CPC-Modell konzipiert ist und der vom Hersteller auf dem Datenblatt des Geräts angegeben ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der tatsächliche Volumenstrom eines individuellen Geräts darf vom Nennvolumenstrom aufgrund von Herstellertoleranzen abweichen.

3.3.3

kalibrierter Volumenstrom

tatsächlicher, mit einem Kalibrierzertifikat dokumentierter Volumenstrom bei der Kalibrierung

3.3.4

analysierter Volumenstrom

für die geräteinterne Berechnung der Partikelanzahlkonzentration verwendeter Volumenstrom

4 Atmosphärisches Aerosol

Atmosphärische Aerosole sind stark von ihren lokalen und regionalen Quellen abhängig. Insbesondere die Anzahl- und Massengrößenverteilung sowie die größen aufgelöste chemische Zusammensetzung sind sehr variabel. Aerosolpartikel werden entweder direkt emittiert (Primäraerosole) oder durch Nukleation und Kondensation aus Vorläufergasen gebildet (Sekundäraerosol). Verbrennungsprozesse führen sowohl zu Primär- als auch Sekundäraerosolen.

In Bezug auf die Masse wird die direkte Emission von Aerosolpartikeln durch Meersalz, biologisches Material, Wüstenstaub und vulkanische Asche global dominiert. Diese Partikel sind im Allgemeinen größer als $1\text{ }\mu\text{m}$. Anthropogene Emissionen in diesem Größenbereich spielen im globalen Maßstab nur eine geringe Rolle. Natürliche Aerosole im Submikrometerbereich bestehen hauptsächlich aus marinem Sulfat, biogenen organischen Stoffen und kohlenstoffhaltigen Partikeln aus Waldbränden. Anthropogene Aerosole im Submikrometerbereich sind komplexe Mischungen aus Primär- und Sekundärpartikeln, die hauptsächlich aus Sulfat, Nitrat, organischen Stoffen und elementarem Kohlenstoff bestehen.

Die Partikelanzahlkonzentrationen atmosphärischer Aerosole reichen über mehrere Größenordnungen. Während ferne marine oder freie troposphärische Aerosole Anzahlkonzentrationen von einigen Zehn oder einigen Hundert Partikeln je Kubikzentimeter aufweisen, können anthropogen beeinflusste Aerosole einige Tausend bis zu einer Million Partikel je Kubikzentimeter enthalten. Die Anzahlkonzentration des anthropogenen Aerosols über Land, insbesondere in städtischen Gebieten, wird von Partikeln im Größenbereich unter $0,1\text{ }\mu\text{m}$ dominiert. Hauptsächlich Quellen für hohe Anzahlkonzentrationen in diesem Größenbereich sind regionale Partikelneubildung und lokale Verbrennungsprozesse. Die mittleren Hintergrundkonzentrationen in einem städtischen Gebiet betragen mehrere Zehntausend Partikel je Kubikzentimeter.

Einzelheiten sind im Anhang D zu finden.

5 Beschreibung des Verfahrens

5.1 Probenahme und Konditionierung

5.1.1 Probenahme

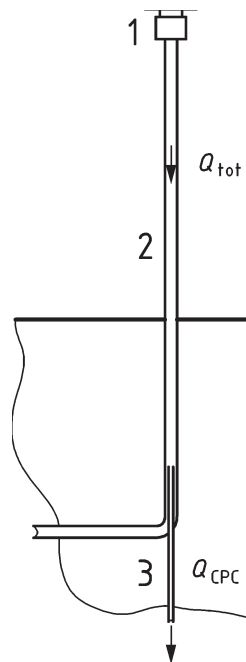
Die Messung atmosphärischer Aerosole erfordert immer eine Probenahme und den Transport der Probe zum Messgerät. In bestimmten Fällen muss die Probe bezüglich Temperatur, relativer Luftfeuchte und Partikelanzahlkonzentration konditioniert werden, um das Aerosol an die zulässigen Betriebsbedingungen des Messgeräts anzupassen.

Die in diesem Dokument hierzu gemachten Angaben beziehen sich auf stationäre Messorte. Bei mobilen Anwendungen (z. B. Messungen aus Flugzeugen) sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen.

Die Messgeräte müssen in einer geschützten Umgebung unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur zwischen $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, stabil innerhalb $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ über 1 Tag) untergebracht sein.

Der Probenahmeort ist durch die Messaufgabe bedingt. Ist das ungestörte atmosphärische Aerosol zu messen, dann sollte die Luft 5 m bis 10 m über dem Boden angesaugt werden. Gebäude, Vegetation oder Geländetopografie können auch höhere Probenahmestellen erforderlich machen. Die Messung von Aerosolen im gesetzlichen Rahmen kann deutlich niedriger gelegene Probenahmestellen ($1,5\text{ m}$ bis 4 m über dem Boden) in einem Mindestabstand von der Quelle (z. B. mindestens 25 m vom Rand größerer Kreuzungen und nicht mehr als 10 m vom Straßenrand bei verkehrsbezogenen Messungen, siehe Richtlinie 2008/50/EG [1]) erfordern.

Der Einlass sollte so konstruiert sein, dass unabhängig von der Windrichtung eine repräsentative Probenahme für einen breiten Bereich von Windgeschwindigkeiten möglich ist. Diese Bedingung ist für die mit dem CPC gemessenen kleinen Partikel unkritisch. Die Verunreinigung der Probenahmeleitungen durch Partikel über $10\text{ }\mu\text{m}$ muss jedoch verhindert werden. Hierfür kann ein PM_{10} - oder $\text{PM}_{2,5}$ -Einlass verwendet werden (siehe Bild 1). Ein Einlass, der Partikel im Messbereich des CPC beseitigt (z. B. ein kommerzieller PM_1 -Einlass) darf nicht verwendet werden.



Legende

- 1 PM-Probenahmeeeinlass
- 2 primäre Probenahmeleitung
- 3 sekundäre Probenahmeleitung

Bild 1 — Grundkonzept des Aerosoleinlasses

Die Probe sollte den Messgeräten idealerweise über eine vertikale primäre Probenahmeleitung ohne Krümmungen zugeführt werden. Da bei der Messung von Gasen grundlegend andere Anforderungen an die Probenahme gestellt werden, sollten Gas- und Aerosolprobenahme unabhängig voneinander erfolgen.

Um Diffusionsverluste zu verringern, muss das Aerosol mittels einer Pumpe mit einem Primärvolumenstrom (Q_{tot}) angesaugt werden, der wesentlich höher als der Sekundärvolumenstrom (Q_{CPC}) ist. Der CPC sollte die Proben isoaxial in der Mitte dieses Volumenstroms mit einer möglichst kurzen sekundären Probenahmeleitung entnehmen. In der primären Probenahmeleitung sollte die Strömung laminar sein, um zusätzliche Partikelverluste aufgrund von Turbulenzen zu vermeiden. Idealerweise sollte eine Reynolds-Zahl nahe $Re = 2\,000$ angestrebt werden (siehe 7.2).

Die Diffusionsverluste im Probenahmesystem müssen bei der kleinsten relevanten Partikelgröße von 10 nm kleiner als 25 % sein (siehe 7.2).

Der Einlass und die Leitungen müssen aus einem leitfähigen, korrosionsbeständigen Material mit geringer Oberflächenrauheit gefertigt (z. B. nicht rostender Stahl) und elektrisch geerdet sein. Dadurch werden chemische Veränderungen des Aerosols und Partikelverluste aufgrund elektrostatischer Einflüsse verhindert. Für kleine Verbindungen oder kurze Abstände dürfen auch flexible Rohrleitungen aus elektrisch leitendem Material verwendet werden. Flexible Rohrleitungen sollten kürzer als 50 cm sein.

Der Einlass und der Strömungsteiler des Probenahmesystems müssen regelmäßig auf Verunreinigungen, z. B. Insekten, überprüft und gegebenenfalls gereinigt werden.

5.1.2 Trocknung

Aerosole mit hoher relativer Luftfeuchte (im Extremfall Nebel) sollten getrocknet werden, da die Größe von Partikeln aus hygroskopischem Material durch Luftfeuchte stark beeinflusst wird. Die relative Luftfeuchte

des Sekundär volumenstroms am CPC-Einlass muss unter 40 % liegen (siehe 7.2). Die relative Luftfeuchte am CPC-Einlass muss überwacht werden.

Nach 5.1.1 wird der CPC in einer geschützten Umgebung mit geregelter Temperatur betrieben. Diese Innenraumtemperatur kann sich erheblich von der Außentemperatur unterscheiden. Bezüglich der Temperaturbedingungen sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Liegt die Innenraumtemperatur über 22 °C, ist kein Aerosoltrockner erforderlich, wenn die Taupunkttemperatur des beprobten Aerosols 10 °C nicht übersteigt.
- Liegt die Taupunkttemperatur des Aerosols zwischen 10 °C und Innenraumtemperatur, muss der Sekundär volumenstrom getrocknet werden.
- Liegt die Taupunkttemperatur des Aerosols über der Innenraumtemperatur, ist der Primär volumenstrom vor dem Eintritt in den Außenbereich der primären Probenahmeleitung zu trocknen. Zusätzlich kann eine Trocknung des Sekundär volumenstroms erforderlich sein.

Zum Trocknen des Aerosols werden zwei Verfahren empfohlen:

- Membrantrockner; vorzugsweise zur Trocknung des Sekundär volumenstroms;
- Verdünnung (siehe 5.1.3) mit trockener reiner Luft (Partikelanzahlkonzentration kleiner als 1 cm⁻³); vorzugsweise zur Trocknung des Primär volumenstroms. In diesem Fall muss das genaue Verdünnungsverhältnis bekannt sein, um korrekte Konzentrationen zu berechnen.

5.1.3 Verdünnung

Durch die Verdünnung wird entweder die Anzahlkonzentration des Außenluftaerosols in die Grenzen des CPC-Messbereichs oder die Feuchte des Aerosols verringert. In beiden Fällen kann der Verdünnungsschritt zu einer hohen Unsicherheit führen, die abgeschätzt und im Messbericht angegeben werden muss. Ist eine Verdünnung nicht unbedingt erforderlich, dann sollte dieser Schritt vermieden werden. Die Mindestanforderung an die Unsicherheit des Verdünnungsfaktors ist für beide Fälle in 7.2 angegeben.

Der für Messungen an einem bestimmten Messort gewählte CPC hat im Zählmodus vorzugsweise einen Messbereich, der die erwarteten Konzentrationen abdeckt. Ist das nicht möglich, dann muss die Probenluft mit reiner Luft (Partikelanzahlkonzentration kleiner als 1 cm⁻³) verdünnt werden, in diesem Fall der Sekundär volumenstrom. Funktionsprinzipien geeigneter Verdünnungssysteme sind in Anhang E dargestellt.

Findet Verdünnung zur Trocknung des Aerosols statt, dann muss das Verdünnungssystem Teil der primären Probenahmeleitung außerhalb der klimatisierten Umgebung sein, um Wasserkondensation in jenem Teil des Probenahmesystems zu vermeiden. Ein speziell für diesen Zweck konzipiertes Probenahmesystem und seine Betriebsparameter werden in Abschnitt E.4 vorgestellt.

5.2 Bestimmung der Anzahlkonzentration mit einem CPC

5.2.1 Kondensationswachstum

In einem CPC werden die Partikel durch Kondensationswachstum vergrößert und anschließend optisch über eine Streulichtmessung detektiert.

Um Kondensationswachstum von Partikeln eines gegebenen Durchmessers anzuregen, ist ein bestimmtes Mindestsättigungsverhältnis bezüglich eines kondensierbaren Dampfes nach der Kelvin-Gleichung (1) erforderlich:

$$S = \exp\left(\frac{4 \cdot \sigma \cdot M}{\rho \cdot R \cdot T \cdot d}\right) \quad (1)$$

Dabei ist

S das Sättigungsverhältnis (Verhältnis aus aktuellem Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck);

σ die Oberflächenspannung der Dampfsubstanz, in N/m;

M die Molmasse der Dampfsubstanz (relative Molekülmasse), in kg/kmol;

ρ die Dichte der Dampfsubstanz im kondensierten Zustand, in kg/m³;

R die allgemeine Gaskonstante (8314 J/(kmol·K));

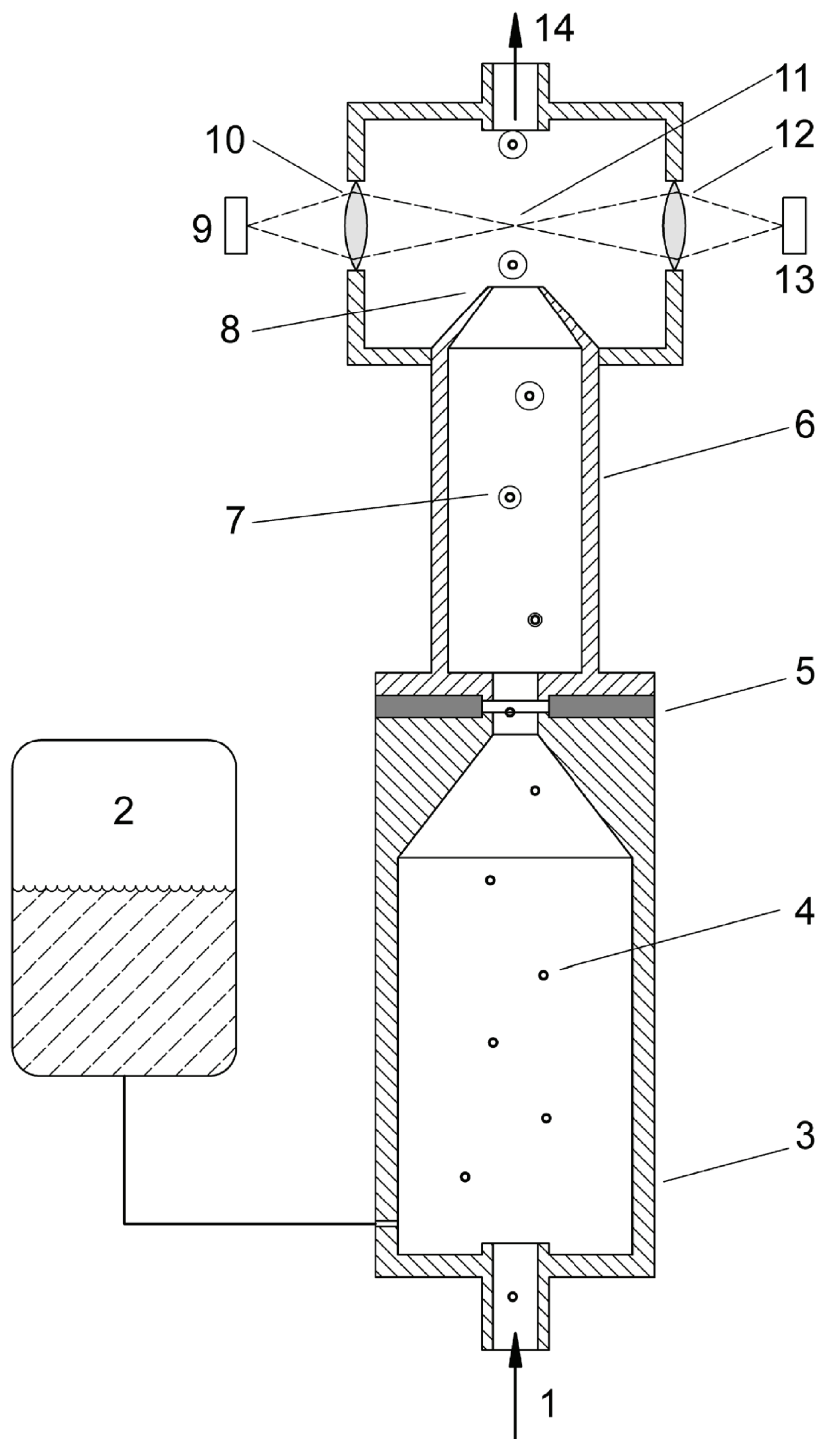
T die absolute Temperatur, in K;

d der Kelvin-Durchmesser, in m.

Partikelform, Oberflächenstruktur und Affinität des Partikelmaterials gegenüber der Dampfphase sind Faktoren, die den Kelvin-Durchmesser beeinflussen.

Bild 2 zeigt das Prinzip eines CPC mit kontinuierlichem Volumenstrom. Das Aerosol gelangt in einen beheizten Sättiger (3), in dem es bei konstanter Temperatur mit der Dampfsubstanz gesättigt wird. In CPCs werden üblicherweise Alkohole als Dampfsubstanz verwendet, z. B. n-Butanol. Anschließend strömt das Aerosol in eine gekühlte Kondensationsstrecke (6), in der der Dampf an den Partikeln kondensiert und sphärische Tröpfchen bildet, die hauptsächlich aus der Dampfsubstanz bestehen und einen Durchmesser von wenigen Mikrometern haben. Diese Partikel können leicht nachgewiesen und optisch gezählt werden.

Die Temperaturen von Sättiger und Kondensationsstrecke sind Betriebsparameter, die die kleinste nachweisbare Partikelgröße beeinflussen.



Legende

- | | |
|---|----------------------|
| 1 Aerosoleinlass | 8 Düse |
| 2 Dampfsubstanzreservoir | 9 Lichtquelle |
| 3 beheizter Sättiger | 10 Beleuchtungsoptik |
| 4 Nanopartikel (nicht maßstabsgerecht) | 11 Messvolumen |
| 5 thermoelektrische Kühl- und Heizeinrichtung | 12 Empfangsoptik |
| 6 Kondensationsstrecke | 13 Photodetektor |
| 7 Tröpfchen (nicht maßstabsgerecht) | 14 Aerosolauslass |

Bild 2 — Prinzip eines CPC mit kontinuierlichem Volumenstrom (vgl. ISO 27891:2015)