

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche - Teil 3: Prüfverfahren (ISO 14644-3:2019, korrigierte Fassung 2020-06)

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés - Partie 3: Méthodes d'essai (ISO 14644-3:2019, Version corrigée 2020-06)

Cleanrooms and associated controlled environments - Part 3: Test methods (ISO 14644-3:2019, Corrected version 2020-06)

In der vorliegenden Schweizer Norm ist die EN ISO 14644-3:2019 identisch abgedruckt.
Dans la présente Norme Suisse le EN ISO 14644-3:2019 est reproduit identiquement.
In this Swiss standard EN ISO 14644-3:2019 is reprinted identically.

Für diese Norm ist das Normen-Komitee INB/NK 184 <<Reinraumtechnik>> des interdisziplinären Normenbereichs zuständig.
La présente norme est de la compétence du comité de normalisation INB/CN 184 <<Technologie des salles propres>> du secteur interdisciplinaire de normalisation.

The standardization committee INB/NK 184 <<Cleanroom technology>> of the interdisciplinary sector is in charge of the present standard.

Ref Nr. / No. de réf / No ref.	Herausgeber / Editeur / Editor	Vertrieb / Distribution	Anzahl Seiten / Nombre de pages / Number of pages
SN EN ISO 14644-3:2020 de	Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) Sulzerallee 70 CH-8404 Winterthur	Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) Sulzerallee 70 CH-8404 Winterthur	69 (Total) 67 (EN/ISO)
Gültig ab / Valide de / Valid from 2020-06-01	© SNV		Preisklasse / Classe de prix / Price class 0018 SNV

Urheberrechtsvermerk

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der SNV.

©SNV 2020

Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV)
Association Suisse de Normalisation (SNV)
Swiss Association for Standardization (SNV)
Sulzerallee 70
CH-8404 Winterthur
Tel: +41 52 224 54 54
Fax: +41 52 224 54 74
E-mail: shop@snv.ch
www.snv.ch

Norm (Schweizer Norm SN)

Normative Publikation von Fachleuten erarbeitet mit anerkanntem Prozess nach internationalen Vorgaben.

Regel (Schweizer Regel SNR)

Publikation mit normativem Charakter von Fachleuten erarbeitet, mit freiwillig durchgeführter oder beschränkter öffentlicher Umfrage. Schweizer Regeln haben eine limitierte Gültigkeitsdauer

Guideline (Schweizer Guideline SNG)

Publikation mit Erläuterungen zur Erstellung und Anwendung von Normen und Regeln. Enthält keine normativen Festlegungen.

Haftungsausschluss

Der Herausgeber haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können.

EUROPÄISCHE NORM

EN ISO 14644-3

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENNE

Oktober 2019

ICS 13.040.35

Ersetzt EN ISO 14644-3:2005

Deutsche Fassung

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche - Teil 3: Prüfverfahren (ISO 14644-3:2019, korrigierte Fassung 2020-06)

Cleanrooms and associated controlled environments -
Part 3: Test methods (ISO 14644-3:2019, Corrected
version 2020-06)

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés
- Partie 3: Méthodes d'essai (ISO 14644-3:2019, Version
corrigée 2020-06)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. Juli 2019 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

© 2019 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN ISO 14644-3:2019 D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
3.1 Allgemeine Begriffe	7
3.2 Begriffe in Bezug auf luftgetragene Partikel	9
3.3 Begriffe in Bezug auf Luftfilter und Luftfiltersysteme	10
3.4 Begriffe in Bezug auf Luftströmung und andere physikalische Zustandsgrößen	10
3.5 Begriffe in Bezug auf elektrostatische Messung	11
3.6 Begriffe in Bezug auf Messgeräte und Messbedingungen	12
3.7 Begriffe in Bezug auf Betriebszustände	12
4 Durchführung der Prüfungen	13
4.1 Reinraumprüfungen	13
4.1.1 Allgemeines	13
4.1.2 Hilfsprüfungen	13
4.2 Kurzbeschreibung	14
4.2.1 Prüfung des Differentialdrucks der Luft	14
4.2.2 Strömungsprüfung	14
4.2.3 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung	15
4.2.4 Prüfung der Erholzeit	15
4.2.5 Temperaturprüfung	15
4.2.6 Prüfung der Luftfeuchte	15
4.2.7 Leckprüfungen am eingebauten Filtersystem	15
4.2.8 Leckprüfung der Abschließung	15
4.2.9 Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren	15
4.2.10 Prüfung der Partikelsedimentation	16
4.2.11 Entmischungsprüfung	16
5 Prüfberichte	16
Anhang A (informativ) Auswahl von Hilfsprüfungen und Checkliste	17
Anhang B (informativ) Hilfsprüfverfahren	23
Anhang C (informativ) Messgeräte	57
Literaturhinweise	66

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 14644-3:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 209 „Cleanrooms and associated controlled environments“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 243 „Reinraumtechnologie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2020 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 EN ISO 14644-3:2005.

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.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 14644-3:2019, korrigierte Fassung 2020-06, wurde von CEN als EN ISO 14644-3:2019 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 Technischen Komitees von ISO 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.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

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. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 209, *Cleanrooms and associated controlled environments* erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Diese zweite Ausgabe von ISO 14644-3 ersetzt die erste Ausgabe (ISO 14644-3:2005), die technisch überarbeitet wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Abschnitt B.7 wurde vereinfacht und korrigiert, um auf Bedenken zu dessen Komplexität einzugehen und erkannte Fehler zu beheben;
- die Leitlinien bezüglich der Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Konzentration luftgetragener Partikel wurde in ISO 14644-1 [1] verschoben;
- der Text im gesamten Dokument wurde überarbeitet oder verdeutlicht, um die Anwendung zu erleichtern.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 14644 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Diese berichtigte Version von ISO 14644-3:2019 beinhaltet folgende Korrekturen:

- Die Querverweisungen in den Tabellen A.1, B.4.4, C.1, C.4.2 und C.4.3 wurden korrigiert;
- der Wortlaut in B.2.1 a) und Tabelle B.2 wurde geändert;
- das alte Bild B.2 wurde entfernt.

Einleitung

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche sorgen für eine Regelung der Kontamination auf Grade, die für die Durchführung kontaminationsempfindlicher Tätigkeiten geeignet sind. Zu Produkten und Prozessen, die aus der Regelung der luftgetragenen Kontamination Nutzen ziehen, gehören diejenigen in der Luft- und Raumfahrt, Mikroelektronik-, Pharma-, Medizintechnik-, Gesundheits- und Nahrungsmittelindustrie.

Dieses Dokument stellt geeignete Prüfverfahren dar zur Messung der Leistung von Reinräumen, reinen Bereichen oder zugehörigen Reinraumbereichen, einschließlich SD-Modulen und kontrollierten Bereichen, zusammen mit allen zugehörigen Bauten, Luftaufbereitungssystemen, Anschlüssen und Betriebsmedien.

ANMERKUNG Es werden in diesem Dokument nicht alle Prüfverfahren für Reinraumparameter aufgezeigt. Verfahren und Geräte für die Prüfung der Luftreinheitsklassen anhand der Partikelkonzentration und der Makropartikel finden sich in ISO 14644-1, [1] und Spezifikationen für die Überwachung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentrationen im Nanobereich finden sich in ISO 14644-12. [8] Die Verfahren und Geräte zur Charakterisierung anderer Parameter, die in Reinräumen und reinen Bereichen für bestimmte Produkte oder Prozesse von Belang sind, werden anderweitig in Schriftstücken diskutiert, die von ISO/TC 209 erarbeitet werden (z. B. Verfahren zur Regelung und Messung von lebensfähigen Materialien [Normenreihe ISO 14698], Prüfung der Funktionstüchtigkeit von Reinräumen [ISO 14644-4 [3]] und Prüfung von SD-Modulen [ISO 14644-7 [4]]). Darüber hinaus können andere Normen als anwendbar betrachtet werden. Weitere Reinheitsattributebenen können bestimmt werden anhand von ISO 14644-8 [5] (Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Chemikalienkonzentration), ISO 14644-9 [6] (Klassifizierung der partikulären Oberflächenreinheit) und ISO 14644-10 [7] (Klassifizierung der chemischen Oberflächenreinheit).

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument umfasst Prüfverfahren zur Unterstützung des Betriebs für Reinräume und reine Bereiche, im Hinblick auf die Erfüllung von Luftreinheitsklassifizierungen, weiteren Reinheitsattributen und zugehörigen geregelten Bedingungen.

Es werden Leistungsprüfungen für zwei Arten von Reinräumen und reinen Bereichen festgelegt, solche mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung und solche mit turbulenter Mischströmung. Es werden drei Betriebszustände betrachtet: Bereitstellung, Leerlauf, Fertigung.

Die Prüfverfahren, empfohlene Prüfgeräte und Prüfverfahren zur Bestimmung von Kenngrößen für die Leistung werden angegeben. An Stellen, an denen das Prüfverfahren durch die Art des Reinraums oder reinen Bereichs beeinflusst wird, werden alternative Verfahren vorgeschlagen.

Für einige Prüfungen werden mehrere unterschiedliche Verfahren und Geräte empfohlen, so dass verschiedenen Nutzungsarten Rechnung getragen werden kann. Soweit zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart, können alternative, nicht in diesem Dokument beschriebene Verfahren angewendet werden. Solche Verfahren liefern nicht zwingend gleichwertige Messungen.

Dieses Dokument ist nicht auf die Messung von Produkten oder Prozessen in Reinräumen, reinen Bereichen oder SD-Modulen anwendbar.

ANMERKUNG Dieses Dokument nimmt nicht in Anspruch, mit seiner Anwendung verbundene Sicherheitsaspekte zu behandeln (z. B. beim Einsatz gefährlicher Stoffe, Arbeitsgänge und Geräte). Es liegt in der Verantwortlichkeit des Anwenders dieses Dokuments, geeignete Verhaltensregeln für den Arbeits- und Gesundheitsschutz festzulegen und vor der Anwendung zu klären, ob einschränkende Vorschriften zu berücksichtigen sind.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

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 <http://www.electropedia.org/>

3.1 Allgemeine Begriffe

3.1.1

Reinraum

Raum, in dem die Anzahlkonzentration *luftgetragener Partikel* (3.2.1) geregelt und klassifiziert wird und der zur Regelung der Einschleppung, Entstehung und Ablagerung von Partikeln im Raum entsprechend konstruktiv geplant, baulich ausgeführt und betrieben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klasse der *Konzentration der luftgetragenen Partikel* (3.2.4) wird festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Grade von weiteren Reinheitsmerkmalen, wie z. B. die chemischen Konzentrationen sowie die Konzentrationen von lebensfähigen oder nanoskaligen Partikeln in der Luft, aber auch die Oberflächenreinheit, in Bezug auf Partikel-, Nanopartikel-, chemische Konzentrationen sowie auf Konzentrationen von lebensfähigen Partikeln, könnten festgelegt und geregelt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Weitere relevante physikalische Parameter könnten auch, falls gefordert, geregelt werden, z. B. Temperatur, Feuchte, Druck, Vibration und Elektrostatik.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.1.1]

3.1.2

reiner Bereich

festgelegter Bereich, in dem die Konzentration *luftgetragener Partikel* (3.2.1) geregelt wird und klassifiziert ist und der zur Regelung der Einschleppung, Entstehung und Ablagerung von Partikeln im Bereich entsprechend baulich ausgeführt und betrieben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klasse der *Konzentration der luftgetragenen Partikel* (3.2.4) wird festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Grade von weiteren Reinheitsmerkmalen, wie z. B. die chemischen Konzentrationen sowie die Konzentrationen von lebensfähigen oder nanoskaligen Partikeln in der Luft, aber auch die Oberflächenreinheit, in Bezug auf Partikel-, Nanopartikel-, chemische Konzentrationen sowie auf Konzentrationen von lebensfähigen Partikeln, könnten ebenfalls festgelegt und geregelt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein reiner Bereich (reine Bereiche) kann (können) ein festgelegter Bereich (festgelegte Bereiche) in einem *Reinraum* (3.1.1) sein, oder er (sie) könnte(n) mithilfe eines SD-Moduls geschaffen werden. Dieses SD-Modul kann sich im Raum oder außerhalb eines Reinraumes befinden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Weitere relevante physikalische Parameter könnten auch, falls gefordert, geregelt werden, z. B. Temperatur, Feuchte, Druck, Vibration und Elektrostatik.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.1.2]

3.1.3

Anlage

Reinraum (3.1.1) oder ein oder mehrere *reine(r) Bereich(e)* (3.1.2) zusammen mit allen zugehörigen Bauten, Luftaufbereitungssystemen, Anschlüssen und Betriebsmedien

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.1.3]

3.1.4

SD-Modul

(en: separative device)

Vorrichtung, bei der bautechnische und strömungstechnische Maßnahmen angewandt werden, um sichere Stufen der Abtrennung zwischen dem Inneren und dem Äußeren eines definierten Volumens zu erzeugen

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele branchenspezifischer SD-Module sind Reinlufthauben, geschlossene Kabinen, Handschuhboxen, Isolatoren und Minienvironments.

[QUELLE: ISO 14644-7:2004, 3.17]

3.1.5

Auflösung

kleinste Änderung in einer gemessenen Größe, die zu einer wahrnehmbaren Veränderung der entsprechenden Anzeige führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Auflösung kann beispielsweise vom Rauschen (Eigenrauschen oder externes Rauschen) oder von der Reibung abhängig sein. Sie kann auch vom Wert einer gemessenen Größe abhängig sein.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.4.1]

3.1.6

Empfindlichkeit

Quotient aus der Änderung in einer Messsystemanzeige und der entsprechenden Wertänderung der gemessenen Größe

3.2 Begriffe in Bezug auf luftgetragene Partikel

3.2.1

luftgetragenes Partikel

flüssiges oder festes in der Luft schwebendes lebensfähiges oder nicht lebensfähiges Teilchen, zwischen 1 nm und 100 µm groß

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu Klassifizierungszwecken wird auf ISO 14644-1:2015, 3.2.1, verwiesen.

3.2.2

Mediandurchmesser der gezählten Partikel

Mediandurchmesser der Partikel auf der Grundlage ihrer Anzahl

Anmerkung 1 zum Begriff: Beim Medianwert der gezählten Partikel wird die Hälfte der Masse aller Partikel durch Partikel gebildet, deren Durchmesser geringer ist als der Mediandurchmesser der gezählten Partikel, die andere Hälfte durch solche, deren Durchmesser größer ist.

3.2.3

Mediandurchmesser der Partikelmasse

Mediandurchmesser der Partikel auf der Grundlage der Partikelmasse

Anmerkung 1 zum Begriff: Beim Medianwert der Partikelmasse wird die Hälfte der Masse aller Partikel durch Partikel gebildet, deren Durchmesser geringer ist als der Mediandurchmesser der Partikelmasse, die andere Hälfte durch solche, deren Durchmesser größer ist.

3.2.4

Partikelkonzentration

Anzahl der einzelnen Partikel je Volumeneinheit Luft

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.2.3]

3.2.5

Partikelgröße

Durchmesser einer Kugel, der mit Hilfe einer Vorrichtung zur Bestimmung der Partikelgröße gemessen werden kann, deren Messgröße in vergleichbarem Zusammenhang mit der Messgröße des Partikels steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Streulicht-Einzelpartikelzähler wird der vergleichbare Streulichtdurchmesser verwendet.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.2.2]

3.2.6

Partikelgrößenverteilung

Summenhäufigkeitsverteilung der *Partikelkonzentration* (3.2.4), dargestellt als Funktion der *Partikelgröße* (3.2.5)

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.2.4]

3.2.7

Prüfaerosol

Suspension von flüssigen und/oder festen Partikeln mit bekannter und geregelter Größe und Konzentration in Gas

3.3 Begriffe in Bezug auf Luftfilter und Luftfiltersysteme

3.3.1

Aerosolbeaufschlagung

Beaufschlagung eines Filters oder eines *eingebauten Filtersystems* (3.3.6) durch ein *Prüfaerosol* (3.2.7)

3.3.2

Nominalleck

höchstzulässige Penetration, bestimmt nach Absprache zwischen Kunden und Lieferanten, durch ein *Leck* (3.3.8), das durch *kontinuierliche Abtastung* (3.3.9) einer Filter-Anlage (3.1.3) unter Verwendung von Streulicht-Einzelpartikelzählern (LSAPC) oder *Aerosolphotometern* (3.6.2) gefunden werden kann

3.3.3

Verdünnungssystem

System, in dem Aerosol zur Verringerung der Konzentration in einem bekannten Volumenverhältnis mit partikelfreier Luft verdünnt wird

3.3.4

Filtersystem

aus dem Filter, dem Rahmen und der sonstigen Haltevorrichtung oder sonstigem Gehäuse bestehende Baugruppe

3.3.5

endständiges Filter

Filter in einer endständigen Einbaulage vor dem Eintritt der Luft in den *Reinraum* (3.1.1) oder *reinen Bereich* (3.1.2)

3.3.6

eingebautes Filtersystem

in der Decke, der Wand, in einem Gerät oder einer Luftleitung eingebautes *Filtersystem* (3.3.4)

3.3.7

Leckprüfung am eingebauten Filtersystem

Prüfung zur Bestätigung, dass die Filter ordnungsgemäß eingebaut sind, indem nachgeprüft wird, dass keine Leckluft auf Umwegen in die *Anlage* (3.1.3) gelangt und dass Filter und gegebenenfalls das Gittersystem frei von Beschädigungen und *Lecks* (3.3.8) sind

3.3.8

Leck

<des Luftfiltersystems> Eindringen von Kontaminanten, wobei durch Defekte oder einen Mangel der Integrität ein Erwartungswert der Konzentration reinluftseitig überschritten wird

3.3.9

kontinuierliche Abtastung

Verfahren zur Entdeckung von *Lecks* (3.3.8) in Filtern und Teilen von Filtereinheiten, wobei die Einlassöffnung der Sonde eines *Aerosolphotometers* (3.6.2) oder Streulicht-Einzelpartikelzählers mit überlappenden Bewegungen über den festgelegten zu prüfenden Bereich geführt wird

3.4 Begriffe in Bezug auf Luftströmung und andere physikalische Zustandsgrößen

3.4.1

Luftwechselrate

Luftwechselzahl

Rate, die die Anzahl der Luftwechsel je Zeiteinheit beschreibt und durch Division des je Zeiteinheit zugeführten Luftvolumenstroms durch das Volumen des *Reinraums* (3.1.1) oder des *reinen Bereichs* (3.1.2) berechnet wird

3.4.2

Messebene

Querschnittsfläche zur Prüfung oder Messung einer Leistungskenngröße wie der Strömungsgeschwindigkeit

3.4.3

turbulente Verdünnungsströmung

Luftverteilung, bei der in den *Reinraum* (3.1.1) oder *reinen Bereich* (3.1.2) eintretende Erstluft mit der Innenraumluft durch Induktion vermischt wird

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.2.8]

3.4.4

Zuluftvolumenstrom

Luftvolumen je Zeiteinheit, das einem *Reinraum* (3.1.1) oder *reinen Bereich* (3.1.2) über *endständige Filter* (3.3.5) oder Luftleitungen zugeführt wird

3.4.5

Gesamtluftvolumenstrom

Luftvolumen je Zeiteinheit, das durch den Querschnitt eines *Reinraums* (3.1.1) oder *reinen Bereichs* (3.1.2) strömt

3.4.6

turbulenzarme Verdrängungsströmung

geregelter Luftströmung mit gleichförmiger Geschwindigkeit über den gesamten Querschnitt eines *Reinraums* (3.1.1) oder *reinen Bereichs* (3.1.2), die als parallele Luftströmung angesehen wird

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.2.7]

3.4.7

Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit

turbulenzarmes Strömungsprofil (3.4.6), bei dem die Messwerte der Luftgeschwindigkeit (Geschwindigkeit und Richtung der Strömung) von Punkt zu Punkt um nicht mehr als den festgelegten Prozentsatz von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit abweichen

3.5 Begriffe in Bezug auf elektrostatische Messung

3.5.1

Entladungszeit

Zeit, bis die Spannung auf die positive oder negative Ladung abgeklungen ist, auf die eine isolierte leitende Messplatte ursprünglich aufgeladen wurde

3.5.2

Nullpunktspannung

Spannung, auf die sich eine ursprünglich ladungsfreie, isolierte leitende Platte auflädt, wenn sie einer Umgebung mit ionisierter Luft ausgesetzt wird

3.5.3

antistatische Eigenschaften

Fähigkeit, elektrostatische Aufladung auf Arbeitsflächen oder Produktoberflächen durch Leitung oder andere Mechanismen auf einen festgelegten Wert oder auf den Nennwert null abzubauen

3.5.4

elektrisches Oberflächenpotential

positiver oder negativer Spannungswert elektrostatischer Aufladung auf Arbeitsflächen oder Produktoberflächen, angezeigt durch geeignete Messgeräte

3.6 Begriffe in Bezug auf Messgeräte und Messbedingungen

3.6.1

Aerosolgenerator

Gerät, das in der Lage ist, durch thermische, hydraulische, pneumatische, akustische oder elektrostatische Verfahren Partikel zu erzeugen, deren Größe in einem geeigneten Bereich liegt (z. B. 0,05 µm bis 2 µm) und deren Konzentration konstant ist

3.6.2

Aerosolphotometer

Messgerät, das mit Hilfe einer optischen Kammer für vorwärts gestreutes Licht die Massenkonzentration *luftgetragener Partikel* (3.2.1) bestimmt

3.6.3

Volumenstrommesshaube

Haube mit Gerät, das das Filter oder den Diffusor vollständig abdeckt und Luft zur direkten Messung des Luftvolumenstroms aufnimmt

3.6.4

Streulicht-Einzelpartikelzähler

LSAPC

(en: light scattering airborne particle counter)

Gerät, das in der Lage ist, einzelne *luftgetragene Partikel* (3.2.1) zu zählen und deren Größe zu bestimmen und Größendaten als optische Äquivalentdurchmesser anzugeben

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spezifikationen für einen Partikelzähler sind in ISO 21501-4 angegeben.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.5.1, modifiziert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde umformuliert.]

3.6.5

Vergleichsplatte

Material mit festgelegter Oberfläche, das anstelle direkter Auswertung einer bestimmten Oberfläche verwendet wird, die entweder unzugänglich oder zu empfindlich für die Handhabung ist

3.7 Begriffe in Bezug auf Betriebszustände

3.7.1

Bereitstellung

Zustand des vollständig angeschlossenen und in Funktion befindlichen *Reinraums* (3.1.1.) oder *reinen Bereichs* (3.1.2), jedoch ohne Produktionseinrichtungen, ohne Ausrüstung und ohne Personal

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.3.1]

3.7.2

Leerlauf

Zustand des vollständig eingerichteten und wie vereinbart betriebenen *Reinraums* (3.1.1) oder *reinen Bereichs* (3.1.2), jedoch ohne Personal

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.3.2]

3.7.3

Fertigung

Betrieb

vereinbarter Zustand des in der festgelegten Betriebsart betriebenen *Reinraums* (3.1.1) oder *reinen Bereichs* (3.1.2) mit der Ausrüstung in Betrieb und mit der festgelegten Anzahl anwesender Personen

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.3.3]

4 Durchführung der Prüfungen

4.1 Reinraumprüfungen

4.1.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die Klassifizierung eines Reinraums oder reinen Bereichs anhand der Konzentration luftgetragener Partikel muss ISO 14644-1 [1] umgesetzt werden. Bei Bedarf sollten zusätzliche Reinheitsattribute gewählt werden (siehe Tabelle 1).

ANMERKUNG Jede Norm enthält Spezifikationen für Prüfverfahren auf Grundlage der Eigenschaften bestimmter Attribute, einen Leitfaden zur Bewertung der Prüfdaten und Spezifikationen für Prüfgeräte.

Tabelle 1 — Reinheitsattributprüfungen für Reinnräume und reine Bereiche

Allgemeine Beschreibung	in Bezug genommen in
Klassifizierung der partikulären Oberflächenreinheit	ISO 14644-9 [6]
Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Chemikalienkonzentration	ISO 14644-8 [5]
Klassifizierung der chemischen Oberflächenreinheit	ISO 14644-10 [7]
Überwachung der Luftreinheit anhand der Nanopartikelkonzentration	ISO 14644-12 [8]

4.1.2 Hilfsprüfungen

Tabelle 2 führt weitere geeignete Prüfungen auf, die zur Messung der Leistung einer Reinraumanlage oder eines reinen Bereichs verwendet werden können. Diese Prüfungen dürfen in jedem der drei genannten Betriebszustände angewendet werden (vorgeschlagene Anwendungen siehe Einzelheiten in Anhang B). Diese Prüfungen sind nicht notwendigerweise umfassend. Zudem mögen für ein bestimmtes Projekt nicht alle Prüfungen erforderlich sein. Prüfungen und Prüfverfahren sollten nach Vereinbarung zwischen dem Kunden und dem Lieferanten ausgewählt werden. Ausgewählte Prüfungen können auch als Bestandteil einer routinemäßigen Überprüfung oder einer periodischen Prüfung regelmäßig wiederholt werden. Leitlinien für die Auswahl von Prüfungen und eine Checkliste für Prüfungen werden in Anhang A angegeben. Prüfverfahren werden in Anhang B beschrieben.

ANMERKUNG Die in Anhang B beschriebenen Prüfverfahren stellen nur eine Übersicht dar. Zur Erfüllung der Anforderungen der besonderen Anwendungsweise können spezifische Verfahren entwickelt werden.

Tabelle 2 — Hilfsprüfungen

Hilfsprüfungen	in Bezug genommen in ISO 14644-3		
	Prinzip	Verfahren	Geräte
Prüfung des Differentialdrucks der Luft	4.2.1	B.1	C.2
Strömungsprüfung	4.2.2	B.2	C.3
Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung	4.2.3	B.3	C.4
Prüfung der Erholzeit	4.2.4	B.4	C.5
Temperaturprüfung	4.2.5	B.5	C.6
Prüfung der Luftfeuchte	4.2.6	B.6	C.7
Leckprüfung am eingebauten Filtersystem	4.2.7	B.7	C.8
Leckprüfung der Abschließung	4.2.8	B.8	C.9
elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren	4.2.9	B.9	C.10
Prüfung der Partikelsedimentation ^a	4.2.10	B.10	C.11
Entmischungsprüfung	4.2.11	B.11	C.12
ANMERKUNG Diese Hilfsprüfungen werden weder in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit noch chronologisch aufgeführt. Grundlage der Prüfabfolge können die Anforderungen eines speziellen Schriftstücks oder eine Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sein.			
^a Die Prüfung der Partikelsedimentation kann auch als Prüfung der Leistung von Reinräumen im Betriebszustand „Fertigung“ in Betracht gezogen werden.			

4.2 Kurzbeschreibung

4.2.1 Prüfung des Differentialdrucks der Luft

Zweck der Prüfung des Differentialdrucks der Luft ist die Nachprüfung der Fähigkeit des Systems zur Unterstützung der Luftbewegung im Reinraum, den festgelegten Differenzdruck zwischen dem Reinraum und seiner Umgebung zu halten. Die Prüfung des Differentialdrucks der Luft sollte durchgeführt werden, nachdem der Reinraum die Abnahmekriterien hinsichtlich Luftströmungsgeschwindigkeit oder Luftvolumenstrom, Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit und weiterer anwendbarer Prüfungen erfüllt hat. Einzelheiten der Prüfung des Differentialdrucks der Luft werden in B.1 angegeben.

4.2.2 Strömungsprüfung

Diese Prüfung wird zur Messung der Zuluftströmung in Reinräume oder reine Bereiche sowohl mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung als auch mit turbulenter Mischströmung durchgeführt. Bei Anwendungen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung kann die Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms an einzelnen Punkten gemessen werden, um die Messung der Geschwindigkeit und die Bestimmung der Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit zu ermöglichen. Der Mittelwert der Messwerte für die Geschwindigkeit an den einzelnen Messpunkten darf zur Berechnung des Zuluftvolumenstroms und der Luftwechselrate (Luftwechsel je Stunde) verwendet werden. Bei Anwendungen mit turbulenter Mischströmung werden Messwerte für die Geschwindigkeit an einzelnen Messpunkten üblicherweise nicht benötigt, da eine Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit im Allgemeinen nicht erforderlich ist. In diesen Fällen dürfen die Werte für das Strömungsvolumen direkt gemessen und anschließend bei der Berechnung

der Luftwechselrate (Luftwechsel je Stunde) für den Reinraum oder reinen Bereich verwendet werden. Die Verfahren für die Strömungsprüfung werden in B.2 angegeben.

4.2.3 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung

Diese Prüfung dient dem Nachweis, dass die Luftströmungsrichtung und die zugehörige Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit den Festlegungen für Gestaltung und Leistung entsprechen. Die Prüfung der Luftströmungsrichtung kann im Betriebszustand „Leerlauf“ durchgeführt werden, um die grundlegenden Strömungsmuster im Reinraum zu bestimmen, und kann im Betriebszustand „Fertigung“ unter Simulation der tatsächlichen Betriebsvorgänge wiederholt werden. Verfahren für diese Prüfung werden in B.3 angegeben.

4.2.4 Prüfung der Erholzeit

Die Prüfung der Erholzeit wird durchgeführt, um zu bestimmen, ob der Reinraum oder reine Bereich in der Lage ist, nach kurzer Beaufschlagung durch eine Quelle von luftgetragenen Partikeln innerhalb einer begrenzten Zeitspanne wieder zu ihrer festgelegten Reinheitsklasse zurückzukehren. Diese Prüfung wird für turbulenzarme Verdrängungsströmung nicht empfohlen. Das Verfahren für diese Prüfung wird in B.4 angegeben. Bei der Verwendung von künstlich erzeugtem Aerosol sollte das Risiko einer Restverunreinigung des Reinraums oder reinen Bereichs berücksichtigt werden.

4.2.5 Temperaturprüfung

Diese Prüfung dient der Nachprüfung, dass sich die Lufttemperatur innerhalb des geprüften Bereichs über den vom Kunden festgelegten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen befindet. Verfahren für diese Prüfungen werden in B.5 angegeben.

4.2.6 Prüfung der Luftfeuchte

Diese Prüfung dient der Nachprüfung, dass sich die Luftfeuchte (angegeben als relative Feuchte oder Taupunkt) innerhalb des jeweiligen geprüften Bereichs über den vom Kunden festgelegten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen befindet. Verfahren für diese Prüfungen werden in B.6 angegeben.

4.2.7 Leckprüfungen am eingebauten Filtersystem

Diese Prüfungen dienen der Bestätigung, dass das endständige Hochleistungs-Schwebstofffiltersystem ordnungsgemäß eingebaut wurde, indem der Nachweis erbracht wird, dass in der Schwebstofffilteranlage keine Lecks durch Luft-Nebenwege vorhanden und die Filter defektfrei sind (kleine Löcher oder sonstige Beschädigungen an Filtermedium, Rahmen, Dichtung und Lecks am Filterrahmen). Diese Prüfungen dienen nicht der Bestimmung des Wirkungsgrades des Filtermediums. Zur Prüfung werden rohluftseitig von den Filtern ein Aerosol aufgegeben und unmittelbar reinluftseitig der Filter und Halterahmen oder in einer reinluftseitig gelegenen Luftleitung Proben genommen. Verfahren zur Leckermittlung werden in B.7 angegeben.

4.2.8 Leckprüfung der Abschließung

Diese Prüfung dient der Feststellung, ob durch Verbindungsstellen, Fugen, Türen und unter Druck stehende Decken ungefilterte Luft von außerhalb des Reinraums oder der reinen Bereiche eindringt. Das Verfahren für diese Prüfung wird in B.8 angegeben.

4.2.9 Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren

Diese Prüfungen dienen der Beurteilung des elektrostatischen Potentials an Gegenständen, der antistatischen Eigenschaften von Werkstoffen und der Leistungsfähigkeit von Ionengeneratoren (d.h. Ionisatoren), die in Reinräumen oder reinen Bereichen zur Reduzierung von elektrostatischen Aufladungen verwendet werden. Die elektrostatische Prüfung wird durchgeführt, um die elektrostatische Spannung an

Arbeits- und Produktoberflächen sowie die antistatischen Eigenschaften von Fußböden, Auflagen von Arbeitsoberflächen usw. zu beurteilen. Die Überprüfung der Ionengeneratoren wird durchgeführt, um die Leistung des Ionisators beim Abbau elektrostatischer Aufladungen von Oberflächen zu beurteilen. Verfahren für diese Prüfungen werden in B.9 angegeben.

4.2.10 Prüfung der Partikelsedimentation

Diese Prüfung dient der Nachprüfung der Menge und Größe von Partikeln, die sich aus der Luft im Reinraum über einen festgelegten Zeitraum auf einer Oberfläche ablagern. Verfahren für diese Prüfung werden in B.10 angegeben.

4.2.11 Entmischungsprüfung

Diese Prüfung dient der Beurteilung der durch eine bestimmte Luftströmung erzielten Trenneffektivität; dabei erfolgt eine Partikelbeaufschlagung des Bereichs mit der niedrigeren Klassifizierung und Bestimmung der Partikelkonzentration im geschützten Bereich auf der anderen Seite der Entmischung. Verfahren für diese Prüfung werden in B.11 angegeben.

5 Prüfberichte

Das Ergebnis einer jeden Prüfung ist in einem Prüfbericht festzuhalten. Dieser muss die folgenden Angaben enthalten:

- a) Name und Anschrift der Prüfstelle und Datum der Durchführung der Prüfung;
- b) eine Verweisung auf dieses Dokument (ISO 14644-3:2019);
- c) eindeutige Identitätskennzeichnung des Standorts des geprüften Reinraums oder reinen Bereichs (falls erforderlich, einschließlich der Verweisung auf angrenzende Bereiche) und die spezifischen Koordinaten aller Probenahmeorte;
- d) die festgelegten Bezeichnungskriterien für den Reinraum oder reinen Bereich einschließlich der Klassifizierung nach ISO, den bzw. die einschlägigen Betriebszustand (Betriebszustände) und die berücksichtigte(n) Partikelgröße(n);
- e) die Einzelheiten des angewendeten Prüfverfahrens sowie jegliche Sonderbedingungen im Zusammenhang mit der Prüfung bzw. Abweichungen vom Prüfverfahren und Identitätskennzeichnung des zur Prüfung verwendeten Geräts nebst dem aktuellen Kalibrierschein;
- f) das Ergebnis der Prüfung einschließlich der Angaben, die im jeweiligen Abschnitt des Anhangs B ausdrücklich gefordert werden sowie eine Aussage hinsichtlich der Übereinstimmung mit der zugesicherten Eigenschaft;
- g) jede weitere spezifische im entsprechenden Abschnitt von Anhang B für die jeweiligen Prüfungen als wichtig definierte Anforderung.

Anhang A (informativ)

Auswahl von Hilfsprüfungen und Checkliste

A.1 Allgemeines

Bei der Festlegung der Prüfreihefolge für die Leistung von Reinräumen, reinen Bereichen oder kontrollierten Bereichen sollte auf besondere Sorgfalt geachtet werden.

Die Auswahl und Abfolge von Prüfungen sollte zwischen dem Kunden und dem Lieferanten abgestimmt werden und sollte eine möglichst frühe Erkennung von Nichterfüllungen der Anforderungen ermöglichen sowie keine weiteren Prüfungen innerhalb der Abfolge beeinträchtigen.

A.2 Checkliste für die Prüfung

Tabelle A.1 ist eine Checkliste für Prüfverfahren und Geräte.

Tabelle A.1 — Checkliste für Hilfsprüfungen

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Differentialdruck der Luft	B.1		elektronisches Mikromanometer	C.2.2	
				Schrägrohrmanometer	C.2.3	
				mechanisches Differentialdruckmessgerät	C.2.4	
	Luftströmung	B.2			C.3	
	Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit innerhalb des Reinraums oder reinen Bereichs (bei turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.2		Hitzdrahtanemometer	C.3.1.2	
				dreidimensionales Ultraschallanemometer oder gleichwertig	C.3.1.3	
				Flügelrad-Anemometer	C.3.1.4	
				Rohranordnung	C.3.1.6	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms (bei turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.3		Hitzdrahtanemometer	C.3.1.2	
				dreidimensionales Ultraschallanemometer oder gleichwertig	C.3.1.3	
				Flügelrad-Anemometer	C.3.1.4	
				Rohranordnung	C.3.1.6	
	Messung des Zuluftvolumenstroms aus der Geschwindigkeit an der Filterfläche (bei turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.4		Hitzdrahtanemometer	C.3.1.2	
				dreidimensionales Ultraschallanemometer oder gleichwertig	C.3.1.3	
				Flügelrad-Anemometer	C.3.1.4	
				Rohranordnung	C.3.1.6	
	Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen (bei turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.5		Lochplatten-Messgerät	C.3.2.3	
				Venturi-Messgerät	C.3.2.4	
				Pitot-Rohre und Manometer	C.3.1.5	
				Hitzdrahtanemometer	C.3.1.2	
	Messung des Zuluftvolumenstroms am Einlass (bei turbulenter Mischströmung)	B.2.3.2		Volumenstrommesshaube mit Messgerät	C.3.2.2	
	Messung des Zuluftvolumenstroms durch die Geschwindigkeit an der Filterfläche (bei turbulenter Mischströmung)	B.2.3.3		Hitzdrahtanemometer	C.3.1.2	
				dreidimensionales Ultraschallanemometer oder gleichwertig	C.3.1.3	
				Flügelrad-Anemometer	C.3.1.4	
	Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen (bei turbulenter Mischströmung)	B.2.3.4		Lochplatten-Messgerät	C.3.2.3	
				Venturi-Messgerät	C.3.2.4	
				Pitot-Rohre und Manometer	C.3.1.5	
				Hitzdrahtanemometer	C.3.1.2	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Luftströmungsrichtung und Strömungssichtbarmachung	B.3		Tracersubstanzen	C.4.4.1	
				Hitzdrahtanemometer	C.4.2	
				dreidimensionales Ultraschallanemometer oder gleichwertig	C.4.3	
				Aerosolgenerator	C.4.4	
				Ultraschallvernebler	C.4.4.2	
				Vernebler	C.4.4.3	
	Erholzeit	B.4		Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC)	C.5.1	
				Aerosolgenerator	C.5.2	
				Ausgangssubstanzen für Aerosole	C.5.3	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.5.4	
				Thermometer	C.6	
	Temperatur	B.5		Ausdehnungsthermometer	C.6 a)	
				elektrisches Thermometer	C.6 b)	
				Thermomanometer	C.6 c)	
	Feuchte	B.6		Taupunkthygrometer	C.7 a)	
				Hygrometer für Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit	C.7 b)	
	Leckprüfung am eingebauten Filtersystem	B.7			C.8	
	Leckprüfung der eingebauten Filtersysteme mit kontinuierlicher Abtastung durch ein Aerosolphotometer	B.7.2		Aerosolphotometer	C.8.1	
				Aerosolgenerator	C.8.3	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.8.4	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Leckprüfung der eingebauten Filtersysteme mittels kontinuierlicher Abtastung durch einen LSAPC	B.7.3		Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC)	C.8.2	
				Aerosolgenerator	C.8.3	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.8.4	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.8.5	
	Gesamtprüfung von Lecks der in Luftleitungen oder luftführenden Geräten eingebauten Filter	B.7.4		Aerosolphotometer	C.8.1	
				Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC)	C.8.2	
				Aerosolgenerator	C.8.3	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.8.4	
				Verdünnungssystem, Apparat (nur bei Verfahren mit LSAPC)	C.8.5	
	Leckprüfung der Abschlößung	B.8			C.9	
	Verfahren bei Verwendung eines Streulicht-Einzelpartikelzählers (LSAPC)	B.8.2.1		Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC)	C.9.1	
				Aerosolgenerator	C.9.2	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.9.3	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.9.4	
	Verfahren bei Verwendung eines Aerosol-photometers	B.8.2.2		Aerosolgenerator	C.9.2	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.9.3	
				Aerosolphotometer	C.9.5	
	elektrostatische Prüfung und Ionengenerator	B.9			C.10	
	elektrostatische Prüfung	B.9.2.1		elektrostatisches Voltmeter	C.10.1	
				Ohmmeter für große Widerstände	C.10.2	
				Plattenkondensator	C.10.3	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Ionengenerator	B.9.2.2		elektrostatisches Voltmeter	C.10.1	
				Ohmmeter für große Widerstände	C.10.2	
				Plattenkondensator	C.10.3	
	Partikel-sedimentation	B.10		Material der Vergleichsplatten	C.11.1	
				Wafer-Oberflächenscanner	C.11.2	
				Partikelniederschlags-aerosolphotometer	C.11.3	
				Zählgerät für Oberflächenpartikel	C.11.4	
				Partikel-sedimentations-messgerät	C.11.5	
				optischer Partikel-sedimentations-monitor	C.11.6	
	Entmischungsprüfung	B.11		Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC)	C.12.1	
				Aerosolgenerator	C.12.2	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.12.3	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.12.4	
^a In den Kästchen der Spalte 1 können Prüfplaner die ausgewählten Prüfverfahren nach der Abfolge nummerieren.						
^b In der vierten Spalte können Prüfplaner das Prüfgerät anhand des gewählten Prüfverfahrens auswählen.						

A.3 Planung von Prüfungen und Nachprüfungen

Prüfungen sollten mindestens wie folgt durchgeführt werden:

- in Verbindung mit der Klassifizierung nach ISO 14644-1;
- bei der Nachprüfung während der Erst-Inbetriebnahme;
- bei der Nachprüfung nach Erkennen und Beheben von Störungen;
- bei der Nachprüfung nach einer Modifikation;
- während der wiederkehrenden Prüfung.

Risikobeurteilungen sollten durchgeführt werden, um geeignete Intervalle für wiederkehrende Prüfungen festzulegen.

Überwachungsdaten, Trends und Prüfergebnisse sollten zur Bestätigung und ggf. Anpassung der Zeitintervalle für die ausgewählten Prüfungen verwendet werden.

Anhang B (informativ)

Hilfsprüfverfahren

B.1 Prüfung des Differentialdrucks

B.1.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Nachprüfung der Fähigkeit der gesamten Anlage, die festgelegte Druckdifferenz zwischen dem Reinraum und seiner Umgebung sowie zwischen den einzelnen Reinräumen und reinen Bereichen der Anlage aufrechtzuerhalten [18]. Diese Prüfung ist in allen drei genannten Betriebszuständen anwendbar und kann auch als Teil eines Routineüberwachungsprogramms der Einrichtung nach ISO 14644-2 [2] regelmäßig wiederholt werden.

B.1.2 Verfahren für die Prüfung des Differentialdrucks

Vor dem Beginn der Messung des Differentialdrucks zwischen Räumen oder zwischen Räumen und Außenbereichen sollten die folgenden Punkte bestätigt sein:

- die Werte und der zulässige Druckdifferenzbereich sollten definiert sein;
- Zuluftvolumen und Luftausgleich der Versorgung luftführender Geräte liegen innerhalb der Spezifikationen;
- Reinraumkomponenten, die Auswirkungen haben könnten auf den Differentialdruck zwischen Räumen, z. B. Türen, Fenster, Durchreichen usw., sollten geschlossen sein. Dauerhafte Lüftungsöffnungen sollten während der Prüfung offen bleiben;
- das luftführende System war in Betrieb, und die Bedingungen haben sich stabilisiert;
- Abzugssysteme sollten wie vereinbart und festgelegt in Betrieb sein.

Die Druckdifferenzen zwischen jedem einzelnen Reinraum, reinen Bereich und dem/den verbundenen Nachbarraum (-räumen) sollten gemessen werden.

Hierzu gehört auch die Messung der Druckdifferenz zwischen einem oder mehreren klassifizierten Räumen, die mit der nicht-klassifizierten Umgebung in Verbindung stehen.

Zur Vermeidung möglicher Ablesefehler sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- a) die Einrichtung ständiger Messpunkte;
- b) es sollten keine Messungen im Reinraum oder reinen Bereich vorgenommen werden in der Nähe von Zulufteinlässen, Abluftauslässen, Geräten zur Unterstützung der Luftbewegung, Türen oder sonstigen örtlich begrenzten Bereichen mit hoher Luftgeschwindigkeit, die den örtlichen Druck am Messpunkt beeinflussen können;
- c) unterschreitet die gemessene Druckdifferenz einen vereinbarten Wert, sollte die Strömungsrichtung zwischen Räumen mittels Verfahren der Sichtbarmachung der Strömung bestätigt werden.

B.1.3 Geräte für die Prüfung des Differentialdrucks

Eine Beschreibung der Messgeräte und Festlegungen hinsichtlich der Messungen sind in C.2 enthalten. Es kann ein elektronisches Mikromanometer, Schrägrohrmanometer oder mechanisches Druckdifferenzmessgerät verwendet werden.

Zu dem verwendeten Messgerät sollte ein gültiger Kalibrierschein vorliegen.

B.1.4 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Art der Prüfungen und Messungen sowie Messbedingungen;
- b) Typbezeichnungen jedes Messgeräts und verwendeten Geräts und dessen Kalibrierstatus;
- c) Reinheitsklassen der berücksichtigten Räume;
- d) Lage der Messorte; falls erforderlich, Lage der Bezugspunkte;
- e) Betriebszustand oder -zustände.

B.2 Strömungsprüfung

B.2.1 Allgemeines

Diese Prüfungen dienen der Messung der Geschwindigkeit und Gleichmäßigkeit der Luftströmung und des Zuluftvolumenstroms in Reinräumen und reinen Bereichen. Die Messung der Geschwindigkeitsverteilung ist in Reinräumen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung und reinen Bereichen erforderlich und die des Zuluftvolumenstroms in Reinräumen mit turbulenter Mischströmung. Die Messung des Zuluftvolumenstroms wird auch verwendet, um das je Zeiteinheit in den Reinraum oder den reinen Bereich gelieferte Luftvolumen zu ermitteln. Der Zuluftvolumenstrom wird entweder reinluftseitig von endständigen Filtern oder in Luftzufuhrleitungen gemessen; beide Verfahren beruhen auf der Messung der Geschwindigkeit der Strömung, die durch eine bekannte Fläche fließt, wobei der Volumenstrom das Produkt von Geschwindigkeit und Fläche ist. Die Wahl des Verfahrens sollte zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

Bei der Messung der Luftstromgeschwindigkeit sollten die folgenden Bedingungen beachtet werden:

- a) unter Berücksichtigung der Luftstromrichtung sollte die Sondenrichtung entsprechend gewählt werden;
- b) für die Durchführung der Messungen sollte ein ausreichend langer Zeitraum für wiederholbare Ablesungen zur Verfügung stehen, und der Luftvolumenstrom sollte aufgezeichnet werden.

B.2.2 Verfahren zur Prüfung turbulenzarmer Verdrängungsströmungen

B.2.2.1 Allgemeines

Die Geschwindigkeit der turbulenzarmen Verdrängungsströmung bestimmt die Leistung eines Reinraums mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung. Die Geschwindigkeit kann nahe an der Frontfläche der endständigen Zuluftfilter oder innerhalb des Raums gemessen werden. Dies erfolgt, indem die Messebene senkrecht zur Zuluftströmung festgelegt und in Messpunkte (Rasterzellen) mit identischen Flächeninhalten aufgeteilt wird [18].

B.2.2.2 Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms

Die Luftstromgeschwindigkeit sollte in etwa 150 mm bis 300 mm Abstand zur Frontfläche des Filters oder zur Eintrittsfläche gemessen werden.

Die Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) hängt in hohem Grad von der Messgeräteausrüstung, der Konfiguration der Rauminfrastruktur, dem Ort oder der Prozessausrüstung und der Konstruktion der eingebauten Filterzelle ab. Die Mindestanzahl der Messpunkte (Rasterzellen) sollte unter Anwendung von Gleichung (B.1) ermittelt werden:

$$N = \sqrt{10 \times A} \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

N die Mindestanzahl der Messpunkte (Rasterzellen; N sollte auf eine Ganzzahl aufgerundet werden);

A die gemessene Fläche in m^2 .

Wird die Durchschnittsgeschwindigkeit für einen Bereich mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung benötigt, ist die Durchschnittsgeschwindigkeit anhand von Gleichung (B.2) zu berechnen:

$$V_a = \left(\sum V_n \right) / N \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

V_a die Durchschnittsgeschwindigkeit in m/s ;

$\sum V_n$ die Summe aller gemessenen Geschwindigkeiten (V_n) in m/s ;

V_n die gemessene Geschwindigkeit der Rasterzellen-Mittelpunkte in m/s ;

N die Anzahl der Geschwindigkeits-Messorte (V_n).

Für jeden Filterauslass oder jede Ventilatorfiltereinheit sollte mindestens ein Punkt gemessen werden.

Sollen die Messdaten zur Bestimmung des Zuluftvolumenstroms nach B.2.2.4 oder der Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit nach B.2.2.3 verwendet werden, empfiehlt es sich, die Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) zu erhöhen.

Bei kleineren Flächen kann es erforderlich sein, die Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) zu erhöhen, um auch die Wahrscheinlichkeit der Erfassung ungleichmäßiger Luftströmungsgeschwindigkeiten zu erhöhen.

Die Messzeit an jedem Messort sollte ausreichend lang sein, um eine wiederholbare Ablesung sicherzustellen. Für mehrere Messorte sollten zeitgemittelte Werte der gemessenen Geschwindigkeiten aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG 1 Wird die Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms zu nahe an der Quelle gemessen, besteht das Risiko eines Messfehlers aufgrund der veränderlichen Verteilung der Luftströmung. Wird die Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms zu weit entfernt von der Filterfläche gemessen, kann der abgelesene Messwert beeinträchtigt werden.

ANMERKUNG 2 Es kann eine vorübergehende Barriere verwendet werden, um Störungen der turbulenzarmen Verdrängungsströmung auszuschließen.

B.2.2.3 Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit innerhalb des Reinraums oder reinen Bereichs

Die Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit kann nach B.2.2.2 oder wie zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart gemessen werden.

ANMERKUNG Wenn Produktionseinrichtungen und Arbeitstische installiert sind, ist es wichtig, zu bestätigen, dass keine bedeutsamen Schwankungen der Strömung auftreten.

Die für die Bestimmung der Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit und der maximalen Abweichung zu verwendenden Daten, d. h. Geschwindigkeit und entsprechende Schwankungen, sollten zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

Die Standardabweichung und der Mittelwert sollten anhand der Geschwindigkeitsmesswerte berechnet werden und die Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit, U_V , ergibt sich aus Gleichung (B.3):

$$U_V = \left[1 - \left(\frac{\sigma}{V_a} \right) \right] \times 100 \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

σ die Standardabweichung;

V_a die Durchschnittsgeschwindigkeit.

Die maximale Abweichung der Geschwindigkeit, D_{\max} , wird mit Gleichung (B.4) berechnet:

$$D_{\max} = \left[\frac{(V_d - V_a)}{V_a} \right] \times 100 \quad (\text{B.4})$$

Dabei ist

s_{\max}^{N1} die maximale Abweichung in %;

V_a die Durchschnittsgeschwindigkeit;

V_d die Ablesung mit der größten Abweichung gegenüber dem Mittelwert.

B.2.2.4 Zuluftvolumenstrom, berechnet aus der Geschwindigkeitsmessung

Die Ergebnisse der nach B.2.2.2 durchgeführten Prüfung der Geschwindigkeit der Luftströmung können verwendet werden, um den Gesamt-Zuluftvolumenstrom mittels Gleichung (B.5) zu berechnen:

$$Q = \sum (V_n \times A_c) \quad (\text{B.5})$$

Dabei ist

A_c die Fläche der Zelle, definiert als freie Fläche der Medien dividiert durch die Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) in m^2 ;

Q der Gesamtluftvolumenstrom in m^3/s ;

^{N1} Nationale Fußnote: Fehler in der Referenzfassung. Es sollte D_{\max} lauten.

V_n die Strömungsgeschwindigkeit im Zentrum jeder Zelle in m/s;

Σ die Summierung aller Zellen.

ANMERKUNG Die Genauigkeit des anhand dieses Verfahrens berechneten Luftvolumenstroms kann von vielen Faktoren beeinflusst werden, wie z. B. Wahl des Prüfgeräts, Wahl der Messorte, Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen), Abstand von der Filterfläche und Berechnung der offenen Zellfläche.

B.2.2.5 Berechnung des Zuluftvolumenstrom aus der Geschwindigkeitsmessung in Luftleitungen

Der Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen kann durch Verwendung von Geräten wie Lochplatten-Messgeräten, Venturi-Messgeräten, Pitot-Rohren und Anemometern bestimmt werden.

Bei der Messung mit Pitot-Rohren und Manometern oder Anemometern (vom Hitzdraht- oder Flügelradtyp) in einer Leitung mit rechteckigem Querschnitt sollte die Messebene in der Leitung in Messpunkte (Rasterzellen) gleicher Flächen aufgeteilt werden und die Strömungsgeschwindigkeit sollte im Zentrum jeder Zelle gemessen werden. Die Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) wird zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart. Der Luftvolumenstrom sollte auf gleiche Weise bewertet werden, wie es in B.2.2.4 festgelegt ist. Bei einer Leitung mit kreisförmigem Querschnitt darf der Luftvolumenstrom nach dem in ISO 5167-5 [24] als typisch beschriebenen Verfahren mit Pitot-Rohren bestimmt werden.

ANMERKUNG Bei der Messung des Zuluftvolumenstroms können Unterschiede auftreten zwischen den Messverfahren anhand der Geschwindigkeit an der Filterfläche und der Messung in der Luftleitung.

B.2.3 Verfahren zur Prüfung bei turbulenter Mischströmung

B.2.3.1 Allgemeines

In einigen Fällen ist die Messung der Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms an einzelnen Auslässen erforderlich, um den Luftvolumenstrom jedes Auslasses zu bestimmen [18].

B.2.3.2 Zuluftvolumenstrom, gemessen mittels einer Messhaube

Wegen der Auswirkungen lokaler Turbulenzen und Strahlgeschwindigkeiten an einem Auslass wird die Verwendung einer Volumenstrommesshaube empfohlen, die die gesamte aus jedem endständigen Filter oder Zuluftdiffusor austretende Luft auffängt. Der Zuluftvolumenstrom wird mittels einer Volumenstrommesshaube mit Messgerät gemessen, oder die Geschwindigkeit der aus einer Volumenstrommesshaube austretenden Luft wird mit der effektiven Fläche multipliziert. Die Öffnung der Volumenstrommesshaube sollte vollständig über dem gesamten Filter oder Diffusor angeordnet werden, und die Haubenvorderseite sollte gegenüber einer ebenen Fläche abgedichtet werden, um ein Vorbeileiten von Luft und ungenaue Ablesungen zu verhindern. Bei Verwendung einer Volumenstrommesshaube mit Durchflussmessgerät sollte der Luftvolumenstrom an jedem endständigen Filter oder Zuluftdiffusor direkt am Auslassende der Haube gemessen werden.

Die Genauigkeit der Volumenstrommesshaube sollte zum Nachweis, dass sie genaue Ergebnisse liefert, für die Art des gemessenen Luftauslasses überprüft werden, und ein Korrekturfaktor sollte angewendet werden, wenn die Ergebnisse nicht genau sind. Der Korrekturfaktor bezieht sich auf die Strömung. Er entspricht einer In-situ-Messung und basiert auf der Differenz zwischen der Referenzmessung in Luftleitungen und dem Luftauslass.

Im Falle eines Luftauslasses mit (Drall-)Diffusoren kann die Volumenstrommesshaube an den Strömungstyp des Diffusors angepasst werden.

B.2.3.3 Berechnung des Zuluftvolumenstroms aus der Geschwindigkeit

Die Bewertung des Zuluftvolumenstroms ohne Verwendung einer Volumenstrommesshaube darf mit einem Anemometer reinluftseitig von jedem endständigen Filter erfolgen. Der Zuluftvolumenstrom wird durch

Multiplikation der Luftströmungsgeschwindigkeit mit der korrigierten (freien) Austrittsfläche bestimmt. Es darf eine vorübergehende Barriere verwendet werden, um Störungen der turbulenzarmen Verdrängungsströmung auszuschließen.

Betreffs der Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) und der Berechnung des Zuluftvolumenstroms wird auf B.2.2.2 bzw. B.2.2.4 verwiesen.

Falls es unmöglich ist, die Ebene in Messpunkte (Rasterzellen) gleicher Fläche zu unterteilen, darf die nach Fläche gewichtete mittlere Luftgeschwindigkeit eingesetzt werden.

Die Genauigkeit des anhand dieses Verfahrens berechneten Luftvolumenstroms kann von vielen Faktoren beeinflusst werden, wie z. B. Wahl des Prüfgeräts, Wahl der Messorte, Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen), Abstand von der Filterfläche und Berechnung der offenen Zellfläche. Diese möglichen Schwankungen sollten beim Durchführen dieser Prüfung berücksichtigt werden.

B.2.3.4 Zuluftvolumenstrom, berechnet mittels Geschwindigkeitsmessung in Luftleitungen

Der Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen sollte auf gleiche Weise ermittelt werden wie in B.2.2.5 festgelegt.

B.2.4 Geräte für Strömungsprüfungen

Beschreibungen und Messvorschriften zu den Geräten finden sich in C.3. Für die Messung der Luftströmungsgeschwindigkeit können Ultraschall-Anemometer, Hitzdrahtanemometer, Flügelradanemometer oder ihnen gleichwertige Geräte verwendet werden.

Für Messungen des Zuluftvolumenstroms können Volumenstrommesshauben, Lochplatten-Messgeräte, Venturi-Messgeräte, Pitot-Rohre, mittelwertbildende Rohranordnungen und Manometer oder ihnen gleichwertige Geräte verwendet werden.

Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeit sollten mit Geräten erfolgen, die nicht durch Schwankungen der Geschwindigkeit von Punkt zu Punkt über kleine Entfernungen beeinträchtigt werden, z. B. kann ein Hitzdrahtanemometer verwendet werden, wenn kleine Rasterunterteilungen gewählt und zusätzliche Messpunkte (Rasterzellen) verwendet werden. Andererseits kann ein Flügelradanemometer verwendet werden, falls es empfindlich genug und groß genug ist, die mittlere Luftgeschwindigkeit über eine Schwankungsbreite zu messen.

Zu dem gewählten Messgerät sollte ein gültiger Kalibrierschein vorliegen.

B.2.5 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Art der Prüfungen und Messungen sowie Messbedingungen;
- b) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- c) Messorte und deren Abstand zur Filterfläche;
- d) Betriebszustand oder -zustände;
- e) Messergebnis;
- f) sonstige für die Messung wesentliche Daten.

B.3 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung

B.3.1 Allgemeines

Die Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung dient dem Nachweis, dass die Luftströmungsrichtung und die zugehörige Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit den Festlegungen für Gestaltung und Leistung entsprechen.

ANMERKUNG 1 Rechnergestützte Fluidodynamik (en: Computational Fluid Dynamics, CFD) wird in diesem Dokument nicht als Werkzeug zur Prognose oder Analyse berücksichtigt.

ANMERKUNG 2 Das Tracerfadenverfahren gibt die Richtung der Luftströmung aufgrund der Eigenschaften des Tracermaterials, z. B. dem Gewicht des Fadens, möglicherweise nicht getreu wieder.

B.3.2 Verfahren

Die Prüfung der Luftströmungsrichtung und die Sichtbarmachung der Strömung kann mittels der vier folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- a) Tracerfadenverfahren;
- b) Tracerinjektionsverfahren;
- c) Strömungssichtbarmachung durch Bildverarbeitungstechniken;
- d) Strömungssichtbarmachung durch Messung der Geschwindigkeitsverteilung.

Bei den Verfahren a) und b) wird die Strömung im Reinraum oder reinen Bereich tatsächlich durch die Verwendung von faserförmigen Tracerfäden oder Tracerpartikeln sichtbar gemacht. Die Profile werden auf Vorrichtungen wie Videokameras aufgezeichnet. Das faserförmige Tracermaterial oder die Tracerpartikel sollten nicht zur Quelle einer Kontamination werden und dem Strömungsprofil genau folgen. Andere Geräte, wie z. B. ein Tracerpartikelgenerator und eine hochintensive Lichtquelle dürfen für diese Verfahren angewendet werden.

Verfahren c) wird zum quantitativen Nachweis der Luftströmungsgeschwindigkeitsverteilungen im Reinraum oder reinen Bereich verwendet. Diese Technik beruht auf der Verarbeitung von Bildern von Tracerpartikeln mittels Computer.

Es sollte sorgfältig vorgegangen werden, damit Prüfpersonal nicht auf die zu untersuchenden Luftströmungsmuster störend einwirkt.

ANMERKUNG 1 Die Luftströmung wird durch andere Parameter wie Luftdruckunterschiede, Luftgeschwindigkeit und Temperatur beeinflusst.

ANMERKUNG 2 Entsprechende Techniken zur Strömungssichtbarmachung sind am besten zur Beurteilung der Luftverteilungseffektivität in Reinräumen, reinen Bereichen und kontrollierten Bereichen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung geeignet. Das Verfahren kann jedoch auch in Bereichen mit turbulenter Mischströmung eingesetzt werden.

B.3.3 Verfahren für die Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung

B.3.3.1 Tracerfadenverfahren

Die Prüfung erfolgt durch Beobachtung von z. B. Seidenfäden, einzelnen Nylonfasern oder dünnen Folienstreifen. Diese werden an der Spitze von Haltestäben oder an den Kreuzungspunkten von dünnen Drahtgittern angebracht, die in die Strömung gebracht werden. Sie bieten eine visuelle Darstellung der

Luftströmungsrichtung und turbulenzbedingter Schwankungen. Gute Ausleuchtung unterstützt die Beobachtung und Aufzeichnung der angezeigten Luftströmung.

B.3.3.2 Tracerinjektionsverfahren

Diese Prüfung geschieht durch Beobachtung oder Abbildung des Verhaltens von Tracerpartikeln, die durch hochintensive Lichtquellen beleuchtet werden können. Die Prüfung gibt Aufschluss über die Richtung der Luftströmung und die Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit in einem Reinraum, reinen Bereich oder kontrollierten Bereich. Die Tracerpartikel können aus Materialien wie deionisiertem (DI) Wasser, versprühtem oder chemisch erzeugtem Alkohol, Glykol usw. erzeugt werden. Die Quelle sollte so ausgewählt werden, dass die Kontamination von Oberflächen vermieden wird.

Die gewünschte Tröpfchengröße sollte bei der Auswahl des Verfahrens zur Tröpfchenerzeugung beachtet werden. Die Tröpfchen sollten groß genug sein, um durch die verfügbaren Bildverarbeitungsverfahren aufgezeichnet zu werden, sollten jedoch nicht so groß sein, dass die Wirkung der Schwerkraft oder anderer Effekte zu einer Abweichung ihrer Bewegung von der beobachteten Strömung führt.

B.3.3.3 Strömungssichtbarmachung durch Bildverarbeitungstechniken

Die Verarbeitung von aus dem Verfahren nach B.3.3.2 abgeleiteten Daten aus Partikelbildern in Videosequenzen oder Filmen liefert quantitative Kennwerte der Luftströmung in Form von zweidimensionalen Abbildungen von Luftgeschwindigkeitsvektoren innerhalb des betreffenden Bereichs. Die Verarbeitung erfordert einen Digitalrechner, der über passende Schnittstellen und geeignete Software verfügt. Lichtquellen wie ein Laser können zur Steigerung der räumlichen Auflösung verwendet werden.

B.3.3.4 Bewertung der Luftströmungsverteilung durch Messung von Geschwindigkeitsverteilungen

Die Geschwindigkeitsverteilungen von Luftströmungen können durch die Aufstellung von Geräten zur Messung der Luftgeschwindigkeit, z. B. thermischer oder Ultraschallanemometer, an mehreren festgelegten Punkten im untersuchten Reinraum oder reinen Bereich bestimmt werden. Die Auswertung der gemessenen Daten liefert die Information über die Luftströmungsverteilung.

B.3.4 Für die Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung verwendete Geräte

Die für die Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung verwendeten Geräte unterscheiden sich bei den verschiedenen Prüfverfahren. Die für jedes Prüfverfahren geeigneten Geräte werden in C.4, Tabelle B.1 und Tabelle B.2, beschrieben.

Tabelle B.1 — Bei Tracerfadenverfahren oder Tracerinjektionsverfahren verwendete Materialien oder Partikel

Posten	Beschreibung
Materialien zur Verwendung beim Tracerfadenverfahren	Seidenfäden, Textilien usw.
Partikelverfahren zur Verwendung beim Tracerinjektionsverfahren	DI-Wasser oder sonstige Flüssigkeit, vernebelt mit Tröpfchendurchmessern von 0,5 µm bis 50 µm. Am Messort in der Luft schwebende Blasen neutraler Dichte. Organischer oder anorganischer Prüfnebel
Bildaufzeichnungsgeräte zur Aufzeichnung der dargestellten Bilder oder Abbildungen von Tracerpartikeln	verschiedene Geräte wie Foto- und Videokameras einschließlich solcher mit Hochgeschwindigkeits-, Stroboskop- oder Synchronisationsfunktionen und Bildaufzeichnungsgeräte zur Verwendung bei der Strömungssichtbarmachung

ANMERKUNG Nach der Sichtbarmachung der Strömung ist es im Allgemeinen erforderlich, den Reinraum oder reinen Bereich erneut zu reinigen.

Tabelle B.2 — Beleuchtungsquellen für die Strömungssichtbarmachung

Posten	Beschreibung
verschiedene Lichtquellen zur kontrastreichen Beobachtung oder Abbildung von Luftströmungen	Glühlampe, Leuchtstofflampe, Halogenlampe, Quecksilberdampf Lampe, Laserlichtquellen (He-Ne-, Argon-Ionen-, YAG-Laser usw.) mit oder ohne Stroboskop oder mit den Aufzeichnungsgeräten synchronisierte Geräten
Bildverarbeitungstechnik zur quantitativen Messung durch Strömungssichtbarmachung	Verfahren unter Anwendung einer Laserlichtebene, bestehend aus Hochleistungslaserquellen (Argon- oder YAG-Laser), Optik einschließlich Zylinderlinse und Steuerung, durch welche zweidimensionale Luftströmungen sichtbar gemacht werden

B.3.5 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- Art der Prüfungen, Verfahren zur Strömungssichtbarmachung und Prüfbedingungen;
- Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- Lage der Punkte zur Strömungssichtbarmachung;
- auf fotografischen Medien oder anderen Aufzeichnungsmedien gespeicherte Bilder oder, falls festgelegt, Rohdaten für jede Messung bei Anwendung der Bildverarbeitungstechnik oder der Messung von Geschwindigkeitsverteilungen;

- e) ein Lageplan mit genauer Kennzeichnung der Standorte aller Geräte sollte dem Bericht über die Strömungssichtbarmachung beigelegt werden;
- f) Betriebszustand oder -zustände.

B.4 Prüfung der Erholzeit

B.4.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Bestimmung der Fähigkeit der Anlage, die Konzentration luftgetragener Partikel mittels Verdünnung zu reduzieren. Die Aufreinigungsleistung nach einer partikulären Verunreinigung ist eine der wichtigsten Fähigkeiten einer Anlage. Diese Messung wird nur für Anlagen mit turbulenter Mischströmung empfohlen, da die Aufreinigungsleistung auf der Verdünnung und Mischung der Luft in Anlagen mit turbulenter Mischströmung basiert, und wird nicht für Anlagen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung empfohlen, in denen Kontamination durch die turbulenzarme Luftströmung entfernt wird. Die Aufreinigungsleistung eines Reinraums mit turbulenter Mischströmung wird durch die Kenngrößen der Luftverteilung, wie Lüftungseffektivität, thermische Bedingungen und Hindernisse, beeinflusst. Die Prüfung der Erholzeit kann mithilfe eines LSAPC oder Aerosolphotometers durchgeführt werden. Bei der Verwendung von künstlich erzeugtem Aerosol sollte das Risiko einer Restverunreinigung des Reinraums oder reinen Bereichs berücksichtigt werden.

B.4.2 Aufreinigungsleistung

Die Aufreinigungsleistung wird aus der 100 : 1- oder 10 : 1-Erholzeit und/oder der Reinheitserholungsrate ermittelt. Die 100 : 1- oder 10 : 1-Erholzeit ist definiert als die Zeit, die erforderlich ist, um die anfängliche Partikelkonzentration um den Faktor 100 (bzw. 10) zu reduzieren. Die Reinheitserholungsrate ist definiert als die Änderungsrate der Partikelkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit. Es ist möglich, beide Größen aufgrund der gleichen abfallenden Partikelkonzentrationskurve abzuschätzen. Die verwendeten, durch Messung ermittelten Konzentrationspegel sollten aus dem Zeitbereich stammen, in dem die Abnahme der Partikelkonzentration durch einen einzigen Exponentialwert beschrieben wird, dargestellt durch eine Gerade in einem semilogarithmischen Diagramm (Konzentrationen auf der Ordinate nach logarithmischer Skala, Zeitwerte auf der Abszisse nach linearer Skala). Weiterhin sollte die Prüfkonzentration nicht so hoch sein, dass ein Verlust durch Koinzidenz auftritt, oder so niedrig, dass eine Zählunsicherheit auftritt.

Zweck der Prüfung der Erholzeit ist die Bewertung eines tatsächlichen Zeitintervalls, während dessen die Konzentration das Ziel-Reinheitsniveau erreichen kann, im Anschluss an einen vorübergehenden Anstieg der Partikelkonzentration im Reinraum oder reinen Bereich aufgrund einer geplanten Abschaltung zu Wartungszwecken oder eines geplanten Anlagenausfalls. Zweck einer Bewertung anhand der Erholungsrate ist die Wiederherstellung der lokalen Fähigkeit zur Wiederherstellung der Reinheit im Anschluss an einen vorübergehenden Anstieg der Partikelkonzentration in der Nähe des Messpunkts. Die Steigung einer abfallenden Kurve auf einer semilogarithmischen Aufzeichnung ist ein Hinweis auf eine derartige lokale Fähigkeit.

Die 100 : 1-Prüfung wird für die ISO-Klassen 8 und 9 nicht empfohlen.

ANMERKUNG Die Messung der Erholungsrate ergibt nicht nur die Erholungsrate, sondern auch die Luftwechselrate je Zeiteinheit am Messort. Wenn die lokale Luftwechselrate am Messort mit der Gesamtluftwechselrate im Reinraum verglichen wird, kann die Effektivität der Lüftungsanlage hinsichtlich der Lieferung von Reinluft am Messort erhalten werden.

B.4.3 Verfahren für die Prüfung der Erholzeit

B.4.3.1 Auswahl von Messpunkten

Die LSAPC-Sonde ist an geeigneter/n Stelle(n) auf der Arbeitsebene zu positionieren (hierzu können kritische Stellen zählen oder mutmaßliche Extremfälle). Die Messpunkte und die Anzahl der Messungen

sollten zwischen Kunden und Lieferanten festgelegt werden. Ungünstig kann sich die Auswahl von Messorten erweisen, die eine Aufreinigungsleistung erbringen, welche nicht für den Reinraum repräsentativ ist (wie unter einem Luftdurchlass ohne Diffusor).

B.4.3.2 Prüfverfahren

Es sollte sorgfältig vorgegangen werden, um hohe Luftkonzentrationen von Partikeln zu verwenden, die zu einem Koinzidenzfehler und einer möglichen Verunreinigung der Optik des LSAPC führen können. Vor der Prüfung ist die erforderliche Partikelkonzentration für die Erholzeitmessung zu berechnen. Falls die Konzentration die maximale Konzentration des LSAPC überschreitet, bei der eine Partikelkoinzidenz auftritt, ist ein Verdünnungssystem zu verwenden. Prüfverfahren:

- a) der Partikelzähler ist nach Anweisung des Herstellers und Kalibrierschein einzurichten;
- b) die für diese Prüfung verwendete Partikelgröße sollte geringer als $1\ \mu\text{m}$ sein. Es wird empfohlen, dass der vom LSAPC verwendete Partikelgrößenkanal der höchsten zahlenmäßigen Konzentration im Aerosol entspricht;
- c) der zu untersuchende Reinraumbereich sollte mit einem Aerosol kontaminiert werden, während das luftführende System in Betrieb ist;
- d) die anfängliche Partikelkonzentration wird, abhängig vom Ziel-Reinheitsniveau, auf das Zehn- oder Hundertfache erhöht (siehe Anmerkung 1);
- e) es sind Messungen vorzunehmen in Intervallen von höchstens 1 min, dabei sind Zeit und Konzentration zu erfassen;
- f) die Ergebnisse des abfallenden Logarithmus der Partikelkonzentration sollte gegen die Zeit aufgetragen werden, um sicherzustellen, dass die verwendeten Ergebnisse aus dem Bereich stammen, in dem der Abfall exponentiell ist – d. h. die abfallende Linie ist gerade – und nicht vom Anfang, an dem der Abfall noch nicht begonnen hat, oder vom Ende, an dem der Hintergrundzählwert im Reinraum die Abfallrate verringert.

ANMERKUNG 1 Das Ziel-Reinheitsniveau kann entweder das Entwurfs-Reinheitsniveau sein, das Niveau, welches durch Prüfungen nach ISO 14644-1 im Betriebszustand „Leerlauf“ ermittelt wurde, oder ein vereinbartes alternatives Reinheitsniveau, unter der Annahme, dass sich das Niveau an einem Punkt auf dem abfallenden Graphen befindet, an dem der Abfall exponentiell ist.

ANMERKUNG 2 Sofern erforderlich, kann ein alternatives, jedoch weniger praktisches Verfahren angewendet werden, bei dem die Lüftungsanlage abgeschaltet wird, die Prüfpartikel hinzugefügt und bei Bedarf mithilfe eines Raumlüfters gemischt werden, und die Lüftungsanlage wieder eingeschaltet wird.

B.4.3.3 Bewertung mittels der 10 : 1- oder 100 : 1-Erholzeit

Bewertungsverfahren:

- a) die Zeit wird aufgezeichnet, zu der die Partikelkonzentration den Schwellenwert von $10 \times \text{Zielkonzentration}$ oder $100 \times \text{Zielkonzentration}$ erreicht (t_{10n} oder t_{100n});
- b) die Zeit wird aufgezeichnet, zu der die Partikelkonzentration das Ziel-Reinheitsniveau, erreicht, (t_n);
- c) die 10 : 1-Erholzeit wird als $t_{0,1} = (t_n - t_{10n})$ dargestellt;
- d) die 100 : 1-Erholzeit wird als $t_{0,01} = (t_n - t_{100n})$ dargestellt.

B.4.3.4 Bewertung mittels der Reinheitserholungsrate

Die Erholungsleistung kann wie folgt aus der Steigung der abflachenden Partikelkonzentrationskurve bestimmt werden:

- a) es sind Messungen vorzunehmen und dabei kontinuierlich Zeit und Konzentration zu erfassen. Die Probenahmezeit sollte so kurz wie möglich sein, wobei die Probenahme so ausgelegt sein sollte, dass die Zählung von statistischer Relevanz ist. Die Zeitabstände zwischen den Probenahmen sollten so kurz wie möglich sein;
- b) die Werte der abklingenden Partikelkonzentration sind in ein semilogarithmisches Diagramm einzutragen (Konzentrationen auf der Ordinate nach logarithmischer Skala, Zeitwerte auf der Abszisse nach linearer Skala);
- c) es sind obere und untere Grenzwerte für die Konzentration festzulegen, sodass die gemessene, abflachende Kurve als fast gerade Linie angenommen wird;
- d) die Reinheitserholungsrate ergibt sich aus der Steigung der Linie zwischen oberem und unterem Konzentrationswert. Die Reinheitserholungsrate zwischen zwei Messungen wird nach Gleichung (B.6) berechnet:

$$r = -2,3 \times \frac{1}{t_1 - t_0} \log \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \quad (\text{B.6})$$

Dabei ist

C_0 die höhere Konzentration bei t_0 ;

C_1 die niedrigere Konzentration bei t_1 ;

r die Reinheitserholungsrate;

$t_1 - t_0$ die verstrichene Zeit zwischen dem Durchlaufen der Konzentration von Punkt C_0 und C_1 .

ANMERKUNG Die Lüftungseffektivität einer kritischen Stelle oder kritischer Stellen im Reinraum kann bestimmt werden, indem die Erholungsrate an der Stelle oder den Stellen mit der Gesamterholungsrate des Reinraums verglichen wird. Wenn die Luft und die Kontamination im Reinraum zu Beginn der Prüfung der Erholzeit für den Reinraum perfekt vermischt sind, entspricht die Gesamterholungsrate eines Reinraums der Luftwechselrate des Reinraums. Folglich kann die Lüftungseffektivität erhalten werden, indem die Erholungsrate an der Stelle oder den Stellen mit der Luftwechselrate des Reinraums verglichen wird.

Um vergleichbare Werte der Prüfung der Erholzeit zu erhalten, ist es erforderlich, den Einfluss der Temperaturdifferenz zwischen dem Messpunkt für einströmende Luft und dem für Erholungsleistung zu berücksichtigen, durch die sich die Luftströmung im Reinraum verändert. Diese Temperaturdifferenz kann in den Betriebszuständen „Leerlauf“ und „Bereitstellung“ aufgrund von Änderungen der Wärmegewinne im Reinraum sowie je nach jahreszeitlich bedingtem Wärme- oder Kältebedarf unterschiedlich sein. Die Temperaturdifferenz zwischen dem Messpunkt für einströmende Luft und dem für die Erholungsleistung sollte gemessen werden.

B.4.4 Geräte für die Prüfung der Erholzeit

Zur Prüfung der Erholzeit können die nachfolgend genannten Geräte verwendet werden:

- Aerosolgenerator und künstlich erzeugtes Aerosol mit den gleichen Kennwerten wie in C.5 beschrieben;
- Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC) mit Zählwirkungsgrad wie in C.5.1 beschrieben;

- Verdünnungssystem, falls erforderlich, wie in C.5.4 beschrieben;
- Thermometer.

ANMERKUNG Eine Prüfung der Erholzeit kann auch unter Verwendung eines Aerosolphotometers durchgeführt werden.

B.4.5 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- b) Anzahl und Lage der Messpunkte;
- c) Betriebszustand oder -zustände;
- d) Messergebnis.

B.5 Temperaturprüfung

B.5.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Nachprüfung der Fähigkeit der Anlage, die Lufttemperatur innerhalb des jeweiligen geprüften Bereichs über den zwischen Kunden und Lieferanten vereinbarten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen konstant zu halten. Für weitere Informationen zu geeigneten Prüfverfahren siehe ISO 7726 [28] und weitere zugehörige Dokumente.

B.5.2 Messgeräte für die Temperaturprüfung

Die Temperaturprüfung sollte unter Verwendung eines Sensors mit einer Genauigkeit, wie in ISO 7726 [28] definiert, durchgeführt werden. Beispiele sind

- a) Thermometer;
- b) Widerstandsthermometer;
- c) Thermistoren.

Für das Gerät sollte ein gültiger Kalibrierschein vorliegen.

B.6 Prüfung der Luftfeuchte

B.6.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Nachprüfung der Fähigkeit der Anlage, die Luftfeuchte (angegeben als relative Feuchte oder Taupunkt) innerhalb des jeweiligen geprüften Bereichs über den zwischen Kunden und Lieferanten vereinbarten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen konstant zu halten. Informationen zu den Prüfverfahren siehe ISO 7726 [28] und weitere zugehörige Dokumente.

B.6.2 Geräte für die Feuchteprüfung

Die Feuchteprüfungen sollten unter Verwendung eines Sensors mit einer Genauigkeit, wie in ISO 7726 [28] definiert, durchgeführt werden.

Typische Sensoren sind:

- a) Feuchtesensoren mit Dünnschichtkondensator;
- b) Taupunktsensoren;
- c) Psychrometer.

B.7 Leckprüfung am eingebauten Filtersystem

WARNUNG — Bei einigen Anlagen kann die Aerosolbeaufschlagung Ursache einer untragbaren Kontamination mit Partikeln oder Molekülen sein. Einige Prüfaerosole können unter bestimmten Bedingungen eine Gefährdung darstellen. Dieses Dokument befasst sich nicht mit Sicherheitsaspekten, die mit diesen Verfahren zusammenhängen. Das Konsultieren und die Anwendung geeigneter Sicherheitspraktiken, Risikobeurteilungen und etwaiger gesetzmäßig festgelegter Einschränkungen vor der Anwendung dieses Dokuments liegen in der Verantwortung des Anwenders.

B.7.1 Allgemeines

B.7.1.1 Verfahren

Diese Prüfungen dienen der Bestätigung, dass eingebaute Filtersysteme mit einem integralen Wirkungsgrad von 99,95 % oder höher bei Partikelgröße im Abscheidegradminimum (en: most penetrating particle size, MPPS) ordnungsgemäß eingebaut wurden, indem der Nachweis erbracht wird, dass in der Anlage keine Lecks durch Luft-Nebenwege vorhanden und die Filter defektfrei sind (kleine Löcher oder sonstige Beschädigungen an Filtermedium, Rahmen, Dichtung und Lecks am Filterrahmen). Teile der in B.7 angegebenen Prüfverfahren sind aus IEST-RP-CC034.4 [21] angepasst worden.

Diese Prüfungen dienen nicht der Bestimmung des Wirkungsgrades des Filtermediums. Die Dichtheitsprüfung ermittelt die Leckrate, die für die Reinheit der Anlage wesentlich ist. Zur Prüfung werden rohluftseitig von den Filtern ein Aerosol aufgegeben und unmittelbar reinluftseitig der Filter und Halterahmen oder in einer reinluftseitig gelegenen Luftleitung Proben genommen. Die Prüfung wird bei Reinräumen und reinen Bereichen im Betriebszustand „Bereitstellung“ oder „Leerlauf“ angewendet und bei der Inbetriebnahme von neuen Reinräumen und reinen Bereichen oder bei existierenden Anlagen dann vorgenommen, wenn diese eine erneute Prüfung erfordern oder wenn die Hochleistungs-Schwebstofffilter ausgetauscht wurden.

In B.7.2 und B.7.3 werden zwei Verfahren für an Decken, Wänden oder Geräten angebrachte Filtersysteme beschrieben, in B.7.4 ein Verfahren für in Luftleitungen eingebaute Filter. Die Geräte und Verfahren unterscheiden sich: Bei dem in B.7.2 beschriebenen Verfahren wird mithilfe eines Aerosolphotometers eine Massenkonzentration gemessen und bei dem in B.7.3 beschriebenen Verfahren wird mithilfe eines LSAPC die Anzahl der Partikel gemessen.

B.7.1.2 Verfahren unter Verwendung eines Aerosolphotometers

Das Verfahren unter Verwendung eines Aerosolphotometers (B.7.2) darf verwendet werden zur Prüfung von:

- a) Reinräumen und reinen Bereichen mit allen Arten luftführender Systeme;
- b) Anlagen, bei denen das Verdunsten des auf den Filtern und in den Leitungen abgelagerten flüchtigen Prüfaerosols auf Ölgrundlage nicht als schädlich für Produkte und/oder Prozesse und/oder Personal im Reinraum oder reinen Bereich angesehen wird.

ANMERKUNG Das Verfahren unter Verwendung eines Aerosolphotometers kann im Vergleich zum Verfahren unter Verwendung eines LSAPC eine höhere rohluftseitige Aerosolkonzentration erfordern.

B.7.1.3 Verfahren bei Verwendung eines Streulicht-Einzelpartikelzählers (LSAPC)

Das LSAPC-Verfahren (B.7.3) darf verwendet werden zur Prüfung von:

- a) Reinräumen und reinen Bereichen mit allen Arten luftführender Systeme;
- b) Anlagen, bei denen das Verdunsten des auf den Filtern und in den Leitungen abgelagerten flüchtigen Prüfaerosols auf Ölgrundlage nicht geduldet werden kann oder bei denen die Verwendung eines festen Aerosols empfohlen wird.

ANMERKUNG 1 Für die Einrichtung dieses Verfahrens sind eine Reihe von Berechnungen erforderlich und das Verfahren kann zudem die Verwendung einer Verdünnungseinrichtung (siehe C.5.4) erfordern. Die Berechnungen können manuell, über unabhängige Computer, über mit Instrumenten verbundene Computer oder durch automatisierte angepasste Streulicht-Einzelpartikelzähler erfolgen.

ANMERKUNG 2 Dieses Verfahren kann auch bei Aerosol auf Ölgrundlage eingesetzt werden, bei dem Verdunsten geduldet werden kann.

B.7.2 Verfahren für die Leckprüfung der eingebauten Filtersysteme mit kontinuierlicher Abtastung durch ein Aerosolphotometer

B.7.2.1 Allgemeines

Vorbereitende Schritte sind in B.7.2.2, B.7.2.3, B.7.2.5 und B.7.2.6 enthalten, Abnahmekriterien in B.7.2.4, das Prüfverfahren selbst in B.7.2.7 und Wiederherstellungsmaßnahmen sind in B.7.6 enthalten [17], [18], [21].

B.7.2.2 Festlegung der Sondengröße

Es wird empfohlen, eine Sonde mit rechteckigem Einlass in den Größen $D_p = 1$ cm und $W_p = 8$ cm oder eine kreisförmige Sonde mit einem Durchmesser von $D_p = 3,6$ cm zu wählen. D_p ist die Sondenabmessung parallel zur Abtastrichtung, ausgedrückt in Zentimeter; W_p ist die Sondenabmessung senkrecht zur Abtastrichtung, ausgedrückt in Zentimeter.

B.7.2.3 Bestimmung der Abtastgeschwindigkeit

Die Abtastgeschwindigkeit S_r der Sonde sollte etwa 5 cm/s [21] betragen.

B.7.2.4 Abnahmekriterien

Während des Ab tastens sollte jeder Hinweis auf ein Leck, das gleich groß wie oder größer als der Grenzwert für ein Nominalleck ist, dazu führen, dass die Sonde am Ort des Lecks gehalten wird. Der Ort des Lecks sollte durch die Lage der Sonde festgestellt werden, bei der die Höchstanzeige am Aerosolphotometer aufrechterhalten wird.

Ein erkanntes Leck von über 0,01 % der rohluffseitigen Massenkonzentration gilt als über die maximal zulässige Penetration hinausgehend. Das Abnahmekriterium bei Filtersystemen mit einem integralen Wirkungsgrad bei MPPS $\geq 99,95$ % und weniger als 99,995 % ist jedoch 0,1 %.

Wenn Filtersysteme mit einem integralen Wirkungsgrad von weniger als 99,95 % bei MPPS geprüft werden sollen, ist ein anderes Abnahmekriterium auf Grundlage einer Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten erforderlich.

Zu Maßnahmen zur Beseitigung erkannter Lecks siehe B.7.6.

B.7.2.5 Auswahl des rohluftseitig aufzugebenden Aerosols

Zur Erreichung der geforderten homogenen Beaufschlagungskonzentration sollte rohluftseitig der Filter ein mittels Laskin-Düse, Thermogenerator o. ä. künstlich erzeugtes Aerosol zugegeben werden. Bei dieser Art der Erzeugung liegt der Partikeldurchmesser üblicherweise bei einem Massenmedianwert zwischen 0,3 µm und 0,7 µm, wobei die geometrische Standardabweichung bis zu 1,7 beträgt.

ANMERKUNG Eine Anleitung zu Ausgangssubstanzen für Aerosole findet sich in C.8.4.

B.7.2.6 Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig und deren Nachprüfung

Die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters sollte zwischen 1 mg/m³ und 100 mg/m³ liegen.

ANMERKUNG Nicht alle Photometer sind für eine rohluftseitige Beaufschlagung von 1 mg/m³ ausgelegt.

Es sollten geeignete Messungen zur Überprüfung einer homogenen Mischung des zugegebenen Aerosols zum Zuluftstrom vorgenommen werden. Bei der ersten Prüfung eines Systems sollte festgestellt werden, ob eine hinreichende Durchmischung des Aerosols stattfindet. Zum Zweck einer solchen Validierung sollten alle Aufgabe- und Probenahmeorte festgelegt und aufgezeichnet werden.

Es sollte zwischen Messungen der Aerosolkonzentration unmittelbar rohluftseitig der Filter keine Abweichung der Konzentrationen um mehr als ±15 % gegenüber dem über die Zeit gemessenen Mittelwert auftreten. Konzentrationen unterhalb des Mittelwerts vermindern die Empfindlichkeit der Prüfung bei der Entdeckung kleiner Lecks, höhere Konzentrationen erhöhen diese Empfindlichkeit. Weitere Einzelheiten hinsichtlich der Prüfung der Durchmischung von Luft und Aerosol sollten zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

B.7.2.7 Verfahren für die Leckprüfung an eingebauten Filtersystemen mittels kontinuierlicher Abtastung

Vor diesem Verfahren sollte die Prüfung der Luftstromgeschwindigkeit (B.2) durchgeführt werden. Werden die Anlagen mit unterschiedlichen Luftstromgeschwindigkeiten betrieben, sollte für die Leckprüfung an Filtersystemen mittels kontinuierlicher Abtastung der höchste Wert gewählt werden. Die Prüfung wird durch Aufgabe des jeweils beaufschlagenden Aerosols rohluftseitig des Filters (der Filter) und durch Lecksuche mittels kontinuierlicher Abtastung der reinluftseitig gelegenen Seite des Filters (der Filter) und des Gitters oder Halterahmensystems mit der Photometersonde wie folgt vorgenommen:

- a) Messung der Aerosolkonzentration rohluftseitig der Filter nach B.7.2.6. Diese Aerosolkonzentration sollte als rohluftseitige 100 %-Referenz für das Photometer verwendet werden. Messungen reinluftseitig werden dann als prozentuale Penetration der Konzentration rohluftseitig angezeigt;
- b) die Sonde sollte dann mit einer Abtastgeschwindigkeit bewegt werden, die 5 cm/s nicht überschreitet. Die jeweils mit einer Bewegung überstrichenen Flächen sollten überlappen (empfohlen wird 1 cm). Die Sonde sollte in einem Abstand von 3 cm oder weniger vor der reinluftseitig gelegenen Filterfläche oder der Rahmenstruktur geführt werden;
- c) die kontinuierliche Abtastung sollte bei jedem Filter die gesamte reinluftseitig gelegene Filterfläche, den Umfang jedes Filters, die Dichtung zwischen Filterrahmen und Gitterstruktur sowie deren Fugen erfassen;
- d) Messungen des Aerosols rohluftseitig der Filter sollten in geeigneten Zeitabständen während und nach der Leckabtastung wiederholt werden, um zu bestätigen, dass die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung stabil ist (siehe B.7.2.6).

B.7.3 Verfahren für die Leckprüfung der eingebauten Filtersysteme mittels kontinuierlicher Abtastung durch einen LSAPC

B.7.3.1 Allgemeines

Vorbereitende Schritte sind in B.7.3.2 bis B.7.3.7 enthalten, das Prüfverfahren in B.7.3.8 und B.7.3.9, die Abnahmekriterien in B.7.3.4 und die Wiederherstellungsmaßnahmen in B.7.6. Ein Beispiel einer Anwendung mit Auswertung ist in B.7.3.10 enthalten.

Dieses Verfahren umfasst zwei Stufen:

- Stufe 1: Die saubere Seite des Filters sollte auf ein mögliches Leck abgetastet werden. Während des Ab tastens mit dem LSAPC zeigt der Nachweis einer höheren als der akzeptablen Zahl für die jeweiligen Prüfbedingungen N_a in der Probenaufnahmezeit T_s das mögliche Vorhandensein eines Lecks an. In diesem Fall sollte die zweite Stufe durchgeführt werden. Falls es dabei keine Hinweise auf mögliche Lecks gibt, sind weitere Untersuchungen nicht erforderlich. Die Bestimmung von N_a ist in B.7.3.5 beschrieben und die von T_s in B.7.3.8.2. Das Verfahren für die Ab tastprüfung Stufe 1 wird in B.7.3.8 beschrieben.
- Stufe 2: Die Sonde sollte zum Ort mit der größten Partikelzahl unter jedem möglichen Leck zurückgeführt und es sollte eine Nachmessung mit ruhender Sonde vorgenommen werden. Während der Nachmessung mit ruhender Sonde des LSAPC zeigt der Nachweis einer höheren als der akzeptablen Zahl für die jeweiligen Prüfbedingungen N_{ar} in der verlängerten Verweilzeit T_r das Vorhandensein eines Lecks an. Die Bestimmung von N_{ar} und T_r ist in B.7.3.9.2 beschrieben. Das Verfahren für die Nachmessung mit ruhender Sonde Stufe 2 wird in B.7.3.9 beschrieben.

B.7.3.2 Festlegung der Sondengröße

Die Fläche der Sonde sollte so groß sein, dass sichergestellt wird, dass die Luftgeschwindigkeit in die Sonde genauso hoch ist wie an der Filterfläche (mit Schwankungen von $\pm 20\%$). Die Fläche der Einlasssonde kann mit Gleichung (B.7) berechnet werden:

$$D_p \times W_p = \frac{Q_{va}}{U} \quad (\text{B.7})$$

Dabei ist

D_p die Sondenabmessung parallel zur Abtastrichtung, in cm;

Q_{va} die Probenahmegeschwindigkeit des LSAPC, in cm^3/s ;

U die Geschwindigkeit an der Filterfläche, in cm/s ;

W_p die Sondenabmessung senkrecht zur Abtastrichtung, in cm.

Es wird empfohlen, eine Sonde mit rechteckigem Einlass in den Größen $D_p = 1\text{ cm}$ und $W_p = 8\text{ cm}$ oder eine kreisförmige Sonde mit einem Durchmesser von $D_o = 3,6\text{ cm}$ zu wählen. Die empfohlenen Sondenabmessungen basieren auf einem Probenahmestrom, Q_{vs} , von $0,000\,472\text{ m}^3/\text{s}$ ($= 472\text{ cm}^3/\text{s}$, $28,3\text{ l}/\text{min}$ oder 1 CFM).

Falls die Geschwindigkeit an der Filterfläche ungewöhnlich hoch ist ($>1\text{ m}/\text{s}$), kann eine kleinere Abmessung für die Sonde, D_p , mithilfe von Gleichung (B.7) errechnet werden.

Bei einer kreisförmigen Sonde kann Gleichung (B.8) verwendet werden, um den Wert für D_p zu berechnen.

$$D_p = 2 \times \sqrt{D_0 \times W_s - W_s^2} \quad (\text{B.8})$$

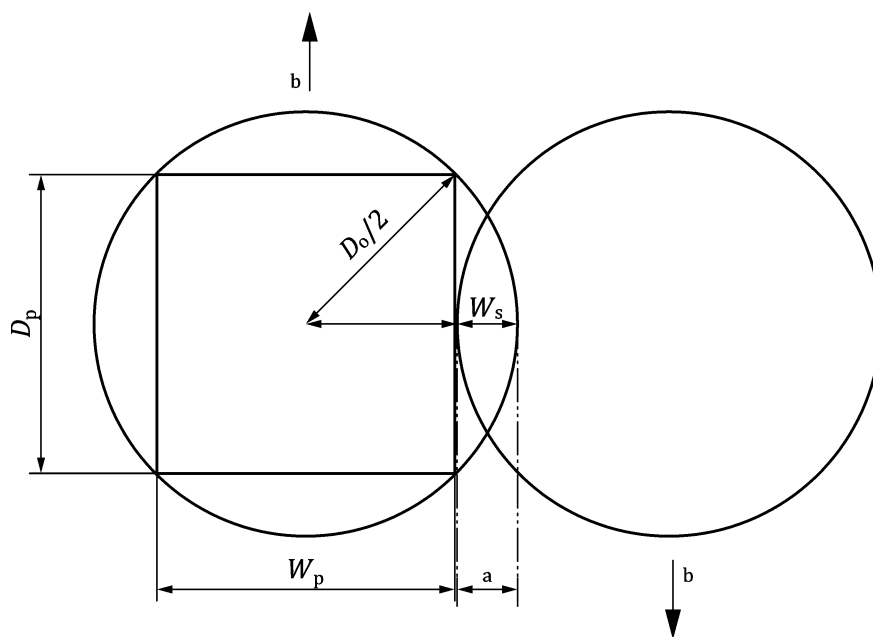
Dabei ist

D_p die Sonden-Nennabmessung parallel zur Abtastrichtung, in cm;

D_0 die tatsächliche Sondenabmessung (Durchmesser), in cm;

W_s die überlappende Sondenabmessung senkrecht zur Abtastrichtung, in cm.

Bei einer kreisförmigen Sonde mit 3,6 cm beträgt der Durchmesser D_p 2,54 cm.



Legende

- a Überlappung
- b Abtastrichtung

Bild B.1 — Graphische Darstellung der Abmessungen kreisförmiger Sonden

ANMERKUNG Zur effizientesten Abtastung der Zielfläche ist es erforderlich, W_s zu wählen, da D_p gleich W_p wird. Bei einer kreisförmigen Sonde mit einem Durchmesser von 3,6 cm beträgt das effizienteste D_p gleich 2,54 cm.

B.7.3.3 Bestimmung der Abtastgeschwindigkeit

Bei einer rechteckigen Sondereinlassgröße von $D_p = 1$ cm und $W_p = 8$ cm ist die Abtastgeschwindigkeit S_r kleiner gleich 5 cm/s.

Bei einem kreisförmigen Sondereinlassdurchmesser von 3,6 cm ist die Abtastgeschwindigkeit S_r kleiner gleich 12 cm/s.

Wenn die Aerosolkonzentrationen rohluftseitig nicht erreicht werden können, ist es erforderlich, die Abtastgeschwindigkeit zu ändern. Die Abtastgeschwindigkeit S_r in cm/s kann bestimmt werden, indem eine

Probenahmegeschwindigkeit des LSAPC von 0,000 472 m³/s angenommen und Gleichung (B.9) verwendet wird.

$$S_r = C_c \times P_l \times 0,000\,472 \times \frac{D_p}{N_p} \quad (\text{B.9})$$

Dabei ist

C_c die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters, in Partikel je m³;

N_p der erwartete Medianwert der Anzahl der gezählten Partikel, die ein Nominalleck kennzeichnen, in Partikel;

P_l die maximal zulässige Penetration der zu prüfenden Filteranlage bei 0,3 µm.

B.7.3.4 Für Zählungen zu berücksichtigende Partikelgröße und Abnahmekriterien

Die für die Zählung zu berücksichtigende Partikelgröße sollte größer oder gleich 0,3 µm sein.

Während des Ab tastens sollte jeder Hinweis auf ein Leck dazu führen, dass die Sonde am Ort des Lecks gehalten wird. Der Ort des Lecks sollte durch die Lage der Sonde festgestellt werden.

Ein erkanntes Leck von über 0,01 % der rohluftseitigen Konzentration gilt als über die maximal zulässige Penetration hinausgehend. Das Abnahmekriterium bei Filtersystemen mit einem integralen Wirkungsgrad bei MPPS $\geq 99,95$ % und weniger als 99,995 % ist jedoch 0,1 %.

Wenn Filtersysteme mit einem integralen Wirkungsgrad von weniger als 99,95 % bei MPPS geprüft werden sollen, ist ein anderes Abnahmekriterium auf Grundlage einer Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten erforderlich.

B.7.3.5 Erwartete Anzahl der gezählten Partikel

Die annehmbare Anzahl der während des Ab tastens (Stufe 1) gezählten Partikel ist N_a und es wird empfohlen, für N_a den Wert 0 oder den Wert 1 zu wählen.

N_a wird durch die untere Vertrauensgrenze bestimmt. Diese kann mit Gleichung (B.10) berechnet werden.

$$N_a = N_p - 2\sqrt{N_p} \quad (\text{B.10})$$

Dabei ist N_p der erwartete Medianwert der Anzahl der gezählten Partikel, die ein Nominalleck von Partikeln kennzeichnen.

Der Wert N_p wird in Gleichung (B.9) übertragen und Gleichung (B.11) kann zur Berechnung von N_p verwendet werden:

$$N_p = (N_a + 2) + 2\sqrt{1 + N_a} \quad (\text{B.11})$$

Wenn $N_a = 0$ ist, ist N_p gleich 4, und wenn $N_a = 1$ ist, ist N_p gleich 5,83.

ANMERKUNG Höhere Werte für N_a und N_p können gewählt werden, wenn es Bedenken gibt, dass durch ein „Durchschlagen“ von Partikeln in unbeschädigten Filtermedien falsch-positive Ergebnisse verursacht werden.

B.7.3.6 Auswahl des rohluftseitig aufzugebenden Aerosols

Zur Erreichung der geforderten homogenen Beaufschlagungskonzentration sollte rohluftseitig der Filter ein künstlich erzeugtes polydisperses Aerosol zugegeben werden. Bei dieser Art der Erzeugung liegt der Partikeldurchmesser üblicherweise bei einem Mediandurchmesser der gezählten Partikel zwischen 0,1 µm und 0,5 µm, wobei die geometrische Standardabweichung bis zu 1,7 beträgt. Bei dieser Art der Erzeugung liegt der Partikeldurchmesser üblicherweise bei einem Medianwert zwischen 0,3 µm und 0,7 µm, wobei die geometrische Standardabweichung bis zu 1,7 beträgt.

Alternativ können Mikrosphären mit einem geeigneten Durchmesser und eine Aerosolbeaufschlagung eingesetzt werden.

Wenn kein künstliches Aerosol zugegeben werden kann, sollte atmosphärisches Aerosol für die Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig verwendet werden.

ANMERKUNG Eine Anleitung zu Ausgangssubstanzen für Aerosole findet sich in C.8.4.

B.7.3.7 Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig und deren Nachprüfung

Die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig sollte hinreichend hoch sein, um vertretbare Abtastgeschwindigkeiten nach B.7.3.3 zu erzielen. Die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters wird mit Gleichung (B.12) bestimmt:

$$C_c \geq N_p \times \frac{S_r}{(Q_{Vs} \times D_p \times P_L)} \quad (\text{B.12})$$

Dabei ist

C_c die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters, in Partikel je m³;

D_p die Sondenabmessung parallel zur Abtastrichtung, in cm;

P_L die maximal zulässige Penetration der zu prüfenden Filteranlage bei 0,3 µm.

Q_{Vs} der tatsächliche Probenahmestrom des Messgeräts, in m³/s;

S_r die Abtastgeschwindigkeit der Sonde, in cm/s.

Auf Grundlage der empfohlenen Sondengröße und Abtastgeschwindigkeit nach B.7.3.2 und B.7.3.3 kann die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters unter Verwendung von Gleichung (B.12) bestimmt werden.

In den meisten Fällen sollte zur Erzeugung der notwendigen hohen Belastungskonzentration künstlich erzeugtes Aerosol der Aerosolbelastung rohluftseitig vom Filter zugesetzt werden. Zur Überprüfung solcher hoher Konzentrationen kann ein Verdünnungssystem erforderlich werden, um nicht den Konzentrationsbereich des LSAPC (Koinzidenzfehler) zu überschreiten.

Die Konzentrationen der Aerosolbeaufschlagung können angepasst werden, indem die Abtastgeschwindigkeit der Probe geändert wird. Hierfür wird Gleichung (B.9) verwendet.

Es sollten geeignete Messungen zur Überprüfung einer homogenen Mischung des zugegebenen Aerosols zum Zuluftstrom vorgenommen werden. Bei der ersten Prüfung eines Systems sollte festgestellt werden, ob eine hinreichende Durchmischung des Aerosols stattfindet. Zum Zweck einer solchen Validierung sollten alle Aufgabe- und Probenahmeorte festgelegt und aufgezeichnet werden.

Es sollte zwischen Messungen der Aerosolkonzentration unmittelbar rohluftseitig der Filter keine Abweichung der Konzentrationen um mehr als $\pm 15\%$ gegenüber dem über die Zeit gemessenen Mittelwert auftreten. Konzentrationen unterhalb des Mittelwerts vermindern die Empfindlichkeit der Prüfung bei der Entdeckung kleiner Lecks, höhere Konzentrationen erhöhen diese Empfindlichkeit. Weitere Einzelheiten hinsichtlich der Prüfung der Durchmischung von Luft und Aerosol sollten zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

Schwankt die Aerosolkonzentration rohluftseitig innerhalb der Messzeit erheblich, sollten diese Messungen während der kontinuierlichen Abtastung der Filter auf Lecks fortgesetzt werden, um Daten für Berechnungen auf der Basis der reinluftseitig ermittelten Messreihen zu sammeln.

B.7.3.8 Verfahren für die Abtastprüfung auf Lecks am eingebauten Filtersystem, Abtastprüfung Stufe 1

B.7.3.8.1 Allgemeines

Vor diesem Verfahren sollte die Prüfung der Luftstromgeschwindigkeit (siehe B.2) durchgeführt werden. Werden die Anlagen mit unterschiedlichen Luftstromgeschwindigkeiten betrieben, sollte für die Leckprüfung an Filtersystemen mittels kontinuierlicher Abtastung der höchste Wert gewählt werden. Die Prüfung wird durch Aufgabe des jeweils beaufschlagenden Aerosols rohluftseitig des Filters (der Filter) und durch Lecksuche mittels kontinuierlicher Abtastung der reinluftseitig gelegenen Seite des Filters (der Filter) und des Gitters oder Halterahmensystems mit der LSAPC-Sonde wie folgt vorgenommen:

- a) es sollten zuerst Messungen am Aerosol rohluftseitig der Filter nach B.7.3.7 vorgenommen werden, um die Aerosolkonzentration nachzuprüfen;
- b) die Sonde sollte dann mit einer Abtastgeschwindigkeit bewegt werden, die den in B.7.3.3 angegebenen Wert S_r nicht überschreitet. Die jeweils mit einer Bewegung überstrichenen Flächen sollten leicht überlappen. Die Sonde sollte in einem Abstand von etwa 3 cm vor der reinluftseitig gelegenen Filterfläche oder der Rahmenstruktur geführt werden;
- c) die kontinuierliche Abtastung sollte bei jedem Filter die gesamte reinluftseitig gelegene Filterfläche, den Umfang jedes Filters, die Dichtung zwischen Filterrahmen und Gitterstruktur sowie deren Fugen erfassen;
- d) Messungen des Aerosols rohluftseitig der Filter sollten in geeigneten Zeitabständen während und nach der Leckabtastung wiederholt werden, um zu bestätigen, dass die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung stabil ist (siehe B.7.3.7).

B.7.3.8.2 Messparameter für zwei Abtasttypen

LSAPC sind in der Regel ausgelegt für die Zählung von Partikeln in einem bestimmten Volumen der als Probe genommenen Luft. Viele LSAPC sind nicht zur Datenausgabe von Partikelzählungen in der Lage, wenn diese während sehr kurzer Zeiträume bei kontinuierlicher Messung erfolgen.

Bei der Abtastprüfung auf Lecks am eingebauten Filtersystem mittels DPC sollten daher die Bedingungen für $N_a = 0$ oder $N_a = 1$ (N_a ist ein akzeptabler Zählwert für die jeweiligen Prüfbedingungen) gewählt werden.

Bei Auswahl dieser Bedingung erfolgt eine Prüfung auf Lecks bei jeder Zählung während der Prüfung oder im Zeitraum zwischen den Zählungen.

Besitzt das Gerät eine Vorrichtung zur Ausgabe eines Zähltons bei jeder Zählung, kann eine Prüfung auf Lecks mithilfe dieses Tons erfolgen.

Ist das Gerät zur Datenausgabe von Partikelzählungen in der Lage, wenn diese während sehr kurzer Zeiträume bei kontinuierlicher Messung erfolgen, so ist jeder Wert N_a anwendbar. Ein Nichtvorhandensein von Lecks gilt als nachgewiesen, falls die festgestellte Partikelzahl kleiner oder gleich N_a zum Zeitpunkt (D_p / S_r) ist.

Für angemessene Prüfbedingungen können die folgenden beiden Abtasttypen gewählt werden:

- a) Abtasttyp (a): Auswahl von $N_a = 0$ für Partikel mit einer Größe von $0,3 \mu\text{m}$;
- geeignet bei voraussichtlich sehr niedriger Häufigkeit einer Nachmessung mit ruhender Sonde;
 - eine Prüfung mit Typ (a) erfordert eine niedrigere Konzentration rohluftseitig als Typ (b);
 - ein Nichtvorhandensein von Lecks gilt als nachgewiesen, falls der Zählwert gleich 0 ist; die Abtastprüfung kann fortgesetzt werden.
- b) Abtasttyp (b): Auswahl von $N_a = 1$ für Partikel mit einer Größe von $0,3 \mu\text{m}$;
- geeignet, wenn eine Nachmessung mit ruhender Sonde voraussichtlich erforderlich ist;
 - eine Prüfung mit Typ (b) erfordert eine höhere Konzentration rohluftseitig als Typ (a), der Einfluss von LSAPC-Zählfehlern ist jedoch geringer;
 - falls der festgestellte Zählwert gleich 0 oder 1 ist, gilt ein Nichtvorhandensein von Lecks als nachgewiesen. Die Abtastprüfung kann fortgesetzt werden.

B.7.3.9 Verfahren für die Nachmessung mit ruhender Sonde

B.7.3.9.1 Allgemeines

Die Feststellung einer Partikelzahl größer als N_a ist ein Hinweis auf ein mögliches Vorhandensein eines Lecks, und die Stelle sollte anhand einer Nachmessung mit ruhender Sonde geprüft werden.

B.7.3.9.2 Nachweis eines Lecks durch Nachmessung mit ruhender Sonde

- a) Festgestellte Partikelzahlen kleiner als N_{ar} [Partikel]: Im Zeitraum T_r , gleich oder kleiner als N_{ar} festgestellte Partikelzahlen bestätigen das Nichtvorhandensein von Lecks.
- b) Festgestellte Partikelzahlen größer als N_{ar} [Partikel]: Falls die festgestellten Partikelzahlen den Wert N_{ar} überschreiten, darf das Nachmessen mit ruhender Sonde erwogen werden. Falls die festgestellten Partikelzahlen weiterhin N_{ar} überschreiten, sollte das Filter als mit einem Leck behaftet angesehen werden.

B.7.3.9.3 Bestimmung von Messparametern für die Nachmessung mit ruhender Sonde

Die empfohlene verlängerte Verweilzeit, T_r , beträgt 10 s.

Die Anzahl der gezählten Partikel, die ein Nominalleck kennzeichnen, N_{pr} , und die annehmbare Zählung bei Nachmessung mit ruhender Sonde, N_{ar} , werden mit Gleichung (B.13) und Gleichung (B.14) berechnet:

$$N_{pr} = C_c \times P_l \times Q_{VS} \times T_r \quad (\text{B.13})$$

$$N_{ar} = N_{pr} - 2\sqrt{N_{pr}} \quad (\text{B.14})$$

Dabei ist

C_c die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters, in Partikel je m^3 ;

D_p die Sondenabmessung parallel zur Abtastrichtung, in cm;

N_{ar} die annehmbare Zählung bei Nachmessung mit ruhender Sonne;

N_{pr} die Anzahl der gezählten Partikel, die das Nominalleck kennzeichnen;

P_1 die maximal zulässige Penetration der zu prüfenden Filteranlage bei $0,3 \mu\text{m}$;

Q_{VS} der tatsächliche Probenahmestrom des Messgeräts, in m^3/s ;

T_r die empfohlene verlängerte Verweilzeit.

B.7.3.10 Beispiel einer Anwendung mit Auswertung

Beispiele für Messparameter sind in Tabelle B.3 aufgeführt. Diese Tabellen liefern Beispielparameter für $D_p = 1 \text{ cm}$ und $W_p = 8 \text{ cm}$ bei einer Abtastgeschwindigkeit $S_r = 5 \text{ cm/s}$, und für eine kreisförmige Sonde mit einem Durchmesser von $3,6 \text{ cm}$ und einer Abtastgeschwindigkeit $S_r = 12 \text{ cm/s}$.

Tabelle B.3 — Beispiel einer Anwendung mit Auswertung

Messparameter	Abtasttyp	Rechteckige Sonde (1 cm × 8 cm)		Kreisförmige Sonde (Durchmesser 3,6 cm)	
		Typ (a)	Typ (b)	Typ (a)	Typ (b)
P_1	maximal zulässige Gesamtpenetration durch das zu prüfende Filtersystem	0,000 1 (0,01%)		0,000 1 (0,01%)	
D_p	Sonden-Nennabmessung parallel zur Abtastrichtung [cm]	1		2,54	
S_r	Abtastgeschwindigkeit der Sonde [cm/s]	5		12	
Q_{vs}	Probenahmevolumenstrom des Messgeräts [m ³ /s]	0,000 472		0,000 472	
N_p	erwartete Anzahl der gezählten Partikel, die das Nominalleck kennzeichnen, entsprechend N_a [Zählwerte] – Stufe 1	4,0	5,83	4,0	5,83
N_a	akzeptabler Zählwert während T_s bei Abtastprüfung [Zählwerte] – Stufe 1	0	1	0	1
C_c	Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters [Partikel je m ³]	423 728 814	617 584 746	400 373 682	583 544 642
N_{pr}	erwartete Anzahl der gezählten Partikel während $T_r = 10$ s in der verlängerten Verweilzeit, die das Nominalleck kennzeichnet, entsprechend N_{ar} [Zählwerte] – Stufe 2	200,00	291,50	188,98	275,43
N_{ar}	akzeptabler Zählwert während $T_r = 10$ s in der verlängerten Verweilzeit [Zählwerte] – Stufe 2 (gerundet)	171,72 (171)	257,35 (257)	161,48 (161)	242,24 (242)

B.7.4 Verfahren für die Gesamtprüfung von Lecks der in Luftleitungen oder luftführenden Geräten eingebauten Filter

Dieses Verfahren darf für die Beurteilung der Gesamtleckage von in Luftleitungen eingebauten Filtern angewendet werden. Dieses Verfahren darf auch zur Bestimmung der Gesamtleckage von mehrstufigen Filterreihen ohne Prüfung der einzelnen Filterstufen angewendet werden. Zu beachten ist, dass dieses Verfahren eine deutlich geringere Empfindlichkeit beim Auffinden von Lecks aufweist als die in B.7.2 und B.7.3 beschriebenen Verfahren. Das Ergebnis der Gesamtprüfung von Lecks wird beeinflusst durch den Gesamt-Luftvolumenstrom im System, denn je größer der Luftvolumenstrom ist, desto mehr wird die Leckluft verdünnt. Daher sollte dieses Prüfverfahren verwendet werden, wenn in Luftleitungen eingebaute Filteranlagen für weniger kritische Reinraumbereiche verwendet werden und eine Abtastprüfung dieser Filteranlagen nicht zweckmäßig ist. Für kritische Bereiche sollte das Abtastverfahren verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Diese Prüfung ist nicht ausgelegt für HEPA-Abluftfiltersysteme.

Die Prüfung wird durch Einbringung des beaufschlagten Aerosols rohluftseitig der entfernt vom Reinraum oder reinen Bereich eingebauten Filter durchgeführt. Die Partikelkonzentration rohluftseitig wird zuerst

gemessen. Anschließend wird die Partikelkonzentration der gefilterten Luft gemessen und zur Ermittlung der Gesamtleckage oder Penetration der Filteranlage mit der Konzentration rohluftseitig verglichen. [19]

Die Prüfung der Luftstromgeschwindigkeit (siehe B.2) bei der Erstbeurteilung sollte vor Durchführung dieser Prüfung erfolgen. Es sollten zuerst Messungen der Aerosolkonzentration rohluftseitig nach B.7.2.6 (Aerosolphotometerverfahren) oder B.7.3.7 (LSAPC-Verfahren) erfolgen, um die Aerosolkonzentration und deren Homogenität zu überprüfen.

Die Messung der Aerosolkonzentration reinluftseitig sollte an Stellen durchgeführt werden, an denen eine gleichmäßige Vermischung stattgefunden hat. Findet keine gleichmäßige Vermischung statt, sollte an in gleichmäßigem Abstand voneinander entfernten Stellen auf einer vereinbarten Fläche eine Reihe von Messungen durchgeführt werden, in einem Abstand von 30 cm bis 100 cm reinluftseitig vom Filter. Hierbei handelt es sich um ein Rasterprobenahmeverfahren, wobei Ort und Anzahl der Messungen zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden sollten.

Messungen der Gesamt-Aerosolbeaufschlagung oder der Partikelkonzentrationen rohluftseitig der Filter sollten in geeigneten Zeitabständen wiederholt werden, um zu bestätigen, dass die Quelle der Aerosolbeaufschlagung stabil ist (siehe B.7.2.6 und B.7.3.7).

Aus der gemessenen Gesamtbeaufschlagung oder Konzentration wird die örtliche Penetration mithilfe eines Photometers als Penetration in Prozent für jede an einem reinluftseitig gelegenen Ort durchgeführte Messung gemessen. Aus der gemessenen Partikelbeaufschlagungskonzentration sollten für die verwendete Partikelgröße die örtlichen Penetrationen in Prozent für jede an einem reinluftseitigen Ort durchgeführte Messung berechnet werden. Jede reinluftseitige Konzentration in Prozent sollte geringer sein als die festgelegte Konzentration in Prozent oder diejenige nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten.

Reparaturen oder Instandsetzungen von Lecks dürfen nach B.7.6 oder nach zwischen Kunden und Lieferanten vereinbarten Verfahren vorgenommen werden.

ANMERKUNG 2 Die Verfahren für Anwendungen, wo Filter in Luftleitungen einer Leckprüfung durch kontinuierliche Abtastung unterzogen werden müssen, werden in B.7.2 und B.7.3 beschrieben.

B.7.5 Messgeräte und Materialien für die Leckprüfung des eingebauten Filtersystems

B.7.5.1 Aerosolphotometer (siehe C.8.1), begrenzt auf die Anwendung in Fällen, in denen die Hintergrundzählwerte oder -konzentrationen geringer sind als 10 % dessen, was ein Nominalleck kennzeichnet.

B.7.5.2 Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC) (siehe C.8.2), begrenzt auf die Anwendung in Fällen, in denen die Hintergrundzählwerte oder -konzentrationen geringer sind als 10 % dessen, was ein Nominalleck kennzeichnet.

B.7.5.3 Ein oder mehrere geeignete pneumatische oder thermische Aerosolgeneratoren zur Erzeugung einer geeigneten Konzentration der Aerosolbeaufschlagung von Partikeln geeigneter Größe (siehe C.8.3).

B.7.5.4 Verdünnungssystem (siehe C.5.4).

B.7.5.5 Ausgangssubstanzen zur Aerosolerzeugung (siehe C.8.4).

Für die in B.7.5.1 bis B.7.5.3 festgelegten Geräte sollte ein gültiger Kalibrierschein vorliegen.

B.7.6 Reparaturen und Reparaturverfahren

Die Reparatur von Lecks sollte ausschließlich entsprechend einer Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten akzeptabel sein. Das Reparaturverfahren sollte den jeweiligen Anweisungen des Geräteherstellers oder des Kunden Rechnung tragen.

Bei der Auswahl von bei der Reparatur zu verwendenden Materialien sollte deren Verhalten hinsichtlich Gasfreisetzung und molekularer Sedimentation auf Produkten und Prozessen berücksichtigt werden.

Nachgewiesene Lecks in Filtern, Dichtungen oder Haltegittern sollten repariert werden.

Die Reparatur von Filtern oder Haltegittern darf nach den jeweiligen Verfahren vorgenommen werden, die zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart wurden.

Nach Ausführung der Reparatur und Verstreichen einer angemessenen Zeit für die Aushärtung sollte die Leckstelle erneut unter Anwendung des festgelegten Verfahrens nach Lecks abgetastet werden.

B.7.7 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten nach Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Prüfverfahren: Aerosolphotometer oder Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC);
- b) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- c) Filterspezifikation;
- d) jegliche Sonderbedingungen und/oder Abweichungen von diesem Prüfverfahren sowie jegliche besonderen Verfahren, die zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart wurden;
- e) rohluftseitig gemessene Aerosolkonzentrationen einschließlich der jeweiligen Probenahmeorte und Messzeiten;
- f) Probenahmenvolumenstrom sowie bei Messungen mittels eines LSAPC der Partikelgrößenbereich;
- g) berechnete durchschnittliche Aerosolkonzentration rohluftseitig und deren Verteilung;
- h) berechnete Abnahmekriterien, angewandt auf Messungen reinluftseitig;
- i) Ergebnis der Messung reinluftseitig eines jeden eindeutig gekennzeichneten Filters, Flächenbereichs oder Messpunkts;
- j) Endergebnis der Messung für jeden definierten Ort;
- k) liegen keine Lecks vor, gilt die Prüfung als bestanden. Im Fall des Vorhandenseins eines Lecks sind dessen Ort, Reparaturmaßnahmen und das Ergebnis der Nachprüfung der Leckstelle anzugeben.

B.8 Leckprüfung der Abschließung

B.8.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Überprüfung, ob aus umgebenden nicht kontrollierten Bereichen kontaminierte Luft in die reinen Bereiche eindringt und ob unter Druck stehende Deckensysteme Lecks aufweisen.

B.8.2 Verfahren für die Leckprüfung der Abschließung

B.8.2.1 Verfahren bei Verwendung eines Streulicht-Einzelpartikelzählers (LSAPC)

Die Partikelkonzentration außerhalb der Reinraumumgrenzung ist in der unmittelbaren Nähe der zu beurteilenden Oberfläche oder des zu beurteilenden Durchgangs zu messen. Diese Konzentration sollte die Reinraumkonzentration um den Faktor 10^3 übersteigen und bei der zu messenden Partikelgröße mindestens $(3,5 \times 10^6)$ Partikel/m³ betragen. Falls die Konzentration unter diesem Wert liegt, ist zur Erhöhung der Konzentration ein Aerosol zu erzeugen.

Zur Überprüfung auf Leckagen an baulich bedingten Fugen, an Rissen oder Versorgungsleitungen ist innerhalb der Umfassung in einem Abstand von nicht mehr als 5 cm von der Fuge, Dichtung oder Verbindungsstelle zweier Flächen mit einer Abtastgeschwindigkeit von ungefähr 5 cm/s zu messen.

Zur Überprüfung des Eindringens an offenen Durchgängen werden Verfahren der Sichtbarmachung der Strömung empfohlen.

Alle Anzeigen, die ein Hundertstel (das 10^{-2} -Fache) der gemessenen äußeren Aerosolpartikelkonzentration bei der geeigneten Partikelgröße überschreiten, sind aufzuzeichnen und im Prüfbericht anzugeben.

ANMERKUNG Die Anzahl und Anordnung der Messorte für diese Messung entsprechen einer Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten.

B.8.2.2 Verfahren bei Verwendung eines Aerosolphotometers

Außerhalb des Reinraums oder Geräts ist nach B.7.2.2 ein Aerosol zu erzeugen, dessen Konzentration hinreichend groß ist, sodass am Aerosolphotometer ein Anzeigewert von 0,1 % überschritten wird.

Eine Anzeige von mehr als 0,01 % zeigt ein Leck an.

Zur Überprüfung auf Leckagen an baulich bedingten Fugen, an Rissen oder Verbindungen ist innerhalb der Umfassung in einem Abstand von nicht mehr als 5 cm von der Fuge oder zur prüfenden Dichtfläche mit einer Abtastgeschwindigkeit von ungefähr 5 cm/s zu messen.

Zur Überprüfung des Eindringens an offenen Durchgängen ist die Konzentration innerhalb der Umfassung in einem Abstand von 0,3 m bis 1 m vom offenen Durchgang zu messen.

Alle Anzeigen, die 0,01 % des Anzeigebereichs des Photometers übersteigen, sind aufzuzeichnen und im Prüfbericht anzugeben.

B.8.3 Geräte für die Leckprüfung der Abschließung

B.8.3.1 Aerosolquelle zur künstlichen Erzeugung eines Aerosols nach B.7.5, mit einem gültigen Kalibrierschein;

B.8.3.2 Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC) nach der Festlegung in C.8.2 (oder **Photometer** nach der Festlegung in C.8.1) mit einem gültigen Kalibrierschein und mit der Fähigkeit, im unteren Größenbereich Partikelgrößen von 0,5 µm oder kleiner zu unterscheiden.

B.8.4 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;

- b) Datenerfassungstechnik;
- c) Lage der Messpunkte;
- d) Betriebszustand oder -zustände;
- e) Messergebnis.

B.9 Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren

B.9.1 Allgemeines

Diese Prüfung besteht aus zwei Teilen. Einer ist die elektrostatische Prüfung, der zweite die Prüfung des Ionengenerators (Ionisators). Zweck der elektrostatischen Prüfung ist die Beurteilung des Potentials elektrostatischer Aufladung auf Arbeits- und Produktoberflächen und die Bestimmung der Ableitfähigkeit des Bodens, der Oberfläche der Arbeitstische oder anderer Komponenten von Reinräumen oder reinen Bereichen für elektrostatische Aufladungen. Die antistatischen Eigenschaften werden durch eine Messung des Oberflächenwiderstands und Ableitwiderstands der Oberflächen beurteilt. Die Prüfung des Ionengenerators wird durchgeführt, um die Leistung von Ionengeneratoren zu beurteilen, indem die Entladungszeit von anfänglich aufgeladenen Messplatten und die Spannungserhöhung von isolierten Messplatten bestimmt werden. Die Ergebnisse der Prüfungen zeigen, wie wirkungsvoll statische Aufladungen und der fehlende Ausgleich zwischen erzeugten positiven und negativen Ionen beseitigt (oder neutralisiert) werden.

B.9.2 Verfahren für die elektrostatische Prüfung und die Prüfung des Ionengenerators

B.9.2.1 Verfahren für die elektrostatische Prüfung

B.9.2.1.1 Messung des elektrischen Oberflächenpotentials

Das Vorhandensein von positiven oder negativen elektrostatischen Ladungen auf Arbeits- und Produkt-oberflächen wird mittels eines elektrostatischen Voltmeters oder Feldmessgeräts gemessen.

Während die Sonde vor eine geerdete Metallplatte gehalten wird, ist der Ausgabewert des elektrostatischen Voltmeters oder Feldmessgeräts auf null abzugleichen. Die Sonde sollte so gehalten werden, dass die Sensoröffnung in einer Entfernung nach Vorgabe des Herstellers parallel zur Platte ausgerichtet ist. Die für den Nullabgleich verwendete Metallplatte sollte eine für die erforderliche Sondenöffnung und den geeigneten Abstand zwischen Sonde und Oberfläche ausreichende Größe aufweisen.

Zur Messung der Spannung auf der Oberfläche ist die Sonde nahe an der Oberfläche des Gegenstandes zu halten, dessen Ladung gemessen werden soll. Die Sonde sollte in der gleichen Weise gehalten werden wie beim Nullabgleich. Für eine gültige Messung sollte die Oberfläche des Gegenstandes im Vergleich zur Sondenöffnung und im Hinblick auf den Abstand zwischen Sonde und Oberfläche ausreichend groß sein.

Die Anzeige des elektrostatischen Voltmeters ist aufzuzeichnen.

Der Messpunkt oder der für die Messung ausgewählte Gegenstand sollte nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten festgelegt werden.

B.9.2.1.2 Messung der antistatischen Eigenschaften

Die antistatischen Eigenschaften werden durch Messung des Oberflächenwiderstands (Widerstand zwischen zwei Punkten auf der Oberfläche) und Ableitwiderstands (Widerstand zwischen Oberfläche und Erde) beurteilt. Diese Werte werden mittels eines Messgeräts für hohe Widerstände bestimmt.

Oberflächen- oder Ableitwiderstand werden unter Verwendung von Elektroden mit geeignetem Gewicht und geeigneten Maßen gemessen. Diese Elektroden sollten während der Messung des Oberflächenwiderstands im richtigen Abstand von der Oberfläche angebracht werden.

Spezifische Einzelheiten der Prüfbedingungen sollten zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

B.9.2.2 Verfahren für die Prüfung des Ionengenerators

B.9.2.2.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient zur Beurteilung der Leistung von bipolaren Ionengeneratoren. Die Prüfung besteht aus Messungen der Entladungszeit und Nullpunktspannung. Die Messung der Entladungszeit wird vorgenommen, um zu beurteilen, wie wirkungsvoll Ionengeneratoren statische Aufladungen beseitigen. Die Messung der Nullpunktspannung wird vorgenommen, um einen eventuell fehlenden Ausgleich zwischen positiven und negativen Ionen im ionisierten Luftstrom zu beurteilen, der vom Ionengenerator ausgeht. Nicht ausgeglichene Ionenladungen können zu unerwünschten Restspannungen führen.

Diese Messungen werden unter Verwendung von leitenden Messplatten, eines elektrostatischen Voltmeters, einer Uhr und einer Spannungsquelle durchgeführt. (Eine Einheit, die aus diesen Geräten besteht, wird mitunter als aufgeladene Messplatte (Plattenkondensator) bezeichnet.)

B.9.2.2.2 Messung der Entladungszeit

Diese Messung wird unter Verwendung leitender Messplatten (isolierten leitenden Platten) mit bekannter Kapazität (z. B. 20 pF) durchgeführt. Die Messplatte wird zunächst durch eine Spannungsquelle auf eine bekannte positive oder negative Spannung aufgeladen.

Die Änderung der statischen Ladung auf der Platte wird gemessen, während die Platte dem Luftstrom ausgesetzt wird, der durch die zu untersuchenden bipolaren Ionengeneratoren ionisiert wird. Die Änderung der an der Platte anliegenden Spannung als Funktion der Zeit sollte unter Verwendung eines elektrostatischen Voltmeters und einer Uhr bestimmt werden.

Die Entladungszeit ist definiert als die Zeit, die verstrichen ist, wenn die Platte sich bis auf 10 % der Anfangsspannung entladen hat.

Die Entladungszeit sollte für positiv wie für negativ geladene Platten gemessen werden.

Messorte und Ergebnisse für Abnahmekriterien sollten zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

B.9.2.2.3 Messung der Nullpunktspannung

Die Nullpunktspannung wird unter Verwendung einer aufgeladenen Messplatte (Plattenkondensator) gemessen, die auf einem Isolator angebracht ist. Die Ladung auf der isolierten Platte wird durch ein elektrostatisches Voltmeter überwacht.

Anfangs sollte die Platte geerdet werden, um jedwede Restladung zu entfernen, und es sollte bestätigt werden, dass die Ladung auf der Platte null ist.

Die Nullpunktspannung wird gemessen, indem die Platte dem ionisierten Luftstrom ausgesetzt wird, bis sich die Anzeige des Voltmeters stabilisiert hat.

Die Höhe der akzeptablen Nullpunktspannung hängt davon ab, wie empfindlich die Gegenstände im Arbeitsbereich auf elektrostatische Ladungen reagieren, und sollte zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart werden.

B.9.3 Messgeräte für die elektrostatische Prüfung und die Prüfung des Ionengenerators

B.9.3.1 Elektrostatisches Voltmeter oder elektrostatisches Feldmessgerät zur Messung des elektrostatischen Potentials auf Oberflächen bei der elektrostatischen Prüfung;

B.9.3.2 Messgerät für hohe Widerstände zur Messung der antistatischen Eigenschaften bei der elektrostatischen Prüfung;

B.9.3.3 Elektrostatisches Voltmeter oder elektrostatisches Feldmessgerät mit leitender Messplatte oder Plattenkondensator zur Prüfung des Ionengenerators.

Diese Geräte werden in C.10 beschrieben. Für die Geräte sollte ein gültiger Kalibrierschein vorliegen.

B.9.4 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Art der Prüfungen und Messungen sowie Messbedingungen;
- b) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- c) Temperatur, Feuchte und weitere Umgebungsdaten, falls relevant;
- d) Lage der Messpunkte;
- e) Betriebszustand oder -zustände;
- f) Messergebnis;
- g) sonstige für die Messung wesentliche Daten.

B.10 Prüfung der Partikelsedimentation

B.10.1 Allgemeines

Diese Prüfung beschreibt Verfahren und Geräte zur Messung der Partikelsedimentation von Partikeln, die sich aus der Luft auf Produkt- oder andere kritische Arbeitsoberflächen in einem Reinraum oder reinen Bereich ablagern. Die Anzahl der Partikel, die sich in einer festgelegten Zeit auf einer gegebenen Prüffläche wie einer Vergleichsplatte ablagern, werden durch unter Verwendung von optischen Mikroskopen, Elektronenmikroskopen, Geräten zur Oberflächenabtastung oder Echtzeit-Detektionsgeräten zur Bestimmung der Partikel-Ablagerungsrate hinsichtlich ihrer Partikelgröße bestimmt und gezählt, um die Partikel-Ablagerungsrate zu bestimmen. Die Partikel-Ablagerungsrate sollte als Masse, Partikelbereich oder Partikelzahl je Flächeneinheit und Zeiteinheit angegeben werden.

B.10.2 Verfahren für die Prüfung der Partikelsedimentation

B.10.2.1 Sammeln von Partikeln auf Vergleichsplatten

Die Vergleichsplatte, die sich auf dem gleichen elektrischen Potential wie die Prüffläche befinden sollte, wird im Betriebszustand „Fertigung“ in derselben Ebene und angrenzend an die gefährdete Oberfläche angebracht. Die gefährdete Oberfläche befindet sich am interessierenden Ort. Die folgenden Verfahren sollten bei der Handhabung von und beim Sammeln von Partikeln auf Vergleichsplatten oder einer anderen Prüffläche befolgt werden:

- a) es ist sicherzustellen, dass alle Reinraumlüftungssysteme ordnungsgemäß, nach den betriebstechnischen Anforderungen, funktionieren;
- b) jede Vergleichsplatte ist zu kennzeichnen und zu reinigen, um die Konzentration von Partikeln auf der Oberfläche so weitgehend wie möglich zu reduzieren. Es ist die Hintergrundkontamination jeder Vergleichsplatte vor Aussetzung zu ermitteln;
- c) 10 % der Vergleichsplatten sind als Blindproben zurückzubehalten. Diese sollten in genau der gleichen Weise gehandhabt werden wie die geprüften Vergleichsplatten;
- d) alle Vergleichsplatten sind so an ihre Verwendungsorte zu transportieren, dass eine Kontamination durch Partikel aus der Luft oder durch Oberflächenkontakt ausgeschlossen ist;
- e) die Vergleichsplatte ist angrenzend an eine gefährdete Oberfläche im Reinraum zur Sammlung aufzustellen, so dass das Produkt luftgetragener Kontamination ausgesetzt ist;
- f) die Zeiträume, in denen die Vergleichsplatten zur Sammlung aufgestellt sind, sind auf Grundlage der Luftreinheit des Reinraums und der zur Partikelzählung verwendeten Geräte zu bestimmen. Die Sammelzeit sollte zwischen etwa einer Stunde und der erforderlichen Zeit bis zu einer hinreichenden Partikelsedimentation betragen, um statistisch aussagefähige Daten zu erhalten;
- g) die Vergleichsplatten sind während des Betriebszustands „Fertigung“ zur Sammlung aufzustellen; es ist möglicherweise erforderlich, sie während mehrerer Fertigungsgänge zur Sammlung aufzustellen, um sicherzustellen, dass die Platten nicht unter unbesetzten reinen Bedingungen verwendet werden, bei denen kein Produkt Kontamination ausgesetzt ist.
- h) nach der Sammlung sind die verwendeten Vergleichsplatten abzudecken und einzusammeln und in geschlossenen Behältern so aufzubewahren, dass eine weitere Kontamination ausgeschlossen ist.

B.10.2.2 Zählung und Größenbestimmung der gesammelten Partikel

Die Zählung und Größenbestimmung der auf Prüfflächen gesammelten Partikel sollten vorgenommen werden, um reproduzierbare Daten zu erhalten, die verwendet werden können, um die Reinheit des geprüften Orts zu bestimmen.

Wenn eine Vergleichsplatte verwendet wird, können die Anzahl der Partikel und ihre Größen mithilfe eines der folgenden Geräte bzw. Verfahren bestimmt werden:

- a) optisches Lichtmikroskop mit einem kalibrierten linearen oder kreisförmigen Okularmikrometer;
- b) Elektronenmikroskop mit kalibriertem Gitter mit bekanntem Linienabstand;
- c) Oberflächenabtastung unter Verwendung von Herstellerangaben zur Größenkalibrierung.

Bei Verwendung einer Vergleichsplatte kann die Partikelsedimentationsrate (en: particle deposition rate, PDR) wie folgt berechnet werden:

- a) es sind die Anzahlen und Größen der Partikel auf der Messfläche der Vergleichsplatten einschließlich der Blindproben zu bestimmen und nach dem Gesamtpartikeldurchmesser in geeignete Größenbereiche einzuordnen;
- b) von jedem Prüfergebnis sind die Werte für die anfängliche Reinheit der Vergleichsplatte zu subtrahieren;
- c) die Nettokonzentration ist in einer festgelegten Maßeinheit für die Oberfläche zu berechnen und die Anzahl der Partikel, die sich in einer festgelegten Zeit ablagern, ist zu berechnen. Wenn geeignete

Maßeinheiten verwendet werden, liefert diese Berechnung eine PDR als Anzahl von abgelagerten Partikeln je Quadratmeter und Sekunde.

Wenn mehrere Prüfergebnisse erhalten werden, sind der Mittelwert und ggf. die Standardabweichung der PDR aufzuzeichnen.

B.10.3 Geräte für die Prüfung der Partikelsedimentation

Zur Zählung und Größenbestimmung von auf einer Prüffläche abgelagerten Partikeln dürfen verschiedene Geräte verwendet werden. Diese gehören zu folgenden Klassen:

- a) Lichtmikroskope (für Partikel von 2 µm und größer);
- b) Elektronenmikroskope (für Partikel von 0,02 µm und größer);
- c) Wafer-Oberflächenscanner (für Partikel von 0,01 µm und größer);
- d) Gerät zur Bestimmung der Partikelsedimentationsrate (für Partikel von 5 µm und größer);
- e) Gerät zur Echtzeitmessung der Partikelsedimentationsrate (für Partikel größer als 15 µm).

Bei der Auswahl der Geräte zur Zählung und Größenbestimmung sollte die Eignung zum Nachweisen von Partikeln im relevanten Größenbereich beachtet werden. Als einer von weiteren Faktoren ist die für die Sammlung und Auswertung der Proben erforderliche Zeit zu bedenken. Für die verwendeten Geräte sollten gültige Kalibrierscheine vorliegen.

B.10.4 Bestimmung von Probenahmezeit und Oberfläche

Je geringer die PDR, desto größer die erforderliche exponierte Oberfläche A und die Sammelzeit T . Das Produkt $A \times T$ sollte groß genug sein, um eine genaue Bestimmung der PDR zu ermöglichen. Für das größte interessierende Partikel wird ein Wert von 20 empfohlen [siehe Gleichung (B.15)]:

$$A \times T \geq 20 \quad (\text{B.15})$$

Dabei ist

A die Fläche der exponierten Oberfläche;

T die Sammelzeit.

B.10.5 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Art der Prüfungen und Messungen, Messbedingungen und Betriebszustand;
- b) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- c) Lage der Messpunkte;
- d) Messergebnis.

B.11 Entmischungsprüfung

B.11.1 Allgemeines

Diese Prüfung beschreibt erforderliche Verfahren und Geräte zur Beurteilung der Schutzwirkung eines bestimmten trennenden Luftstroms. Prüfungen können entweder über einem Durchgang durchgeführt werden oder über der äußeren Begrenzung eines Bereichs mit einer höheren Klassifizierung oder einem anderen spezifischen Zweck als der umgebende Bereich. Zur Durchführung der Prüfung wird ein luftgetragenes Aerosol im Bereich mit der niedrigeren Klassifizierung erzeugt und dieses als Referenzkonzentration gemessen. Außerdem wird die Partikelkonzentration über die äußere Begrenzung im geschützten Bereich erfasst. Die Prüfung kann an verschiedenen ausgewählten Stellen entlang des zu beurteilenden Randbereichs durchgeführt werden.

Dieser Prüfung sollte eine Klassifizierung der Luft mittels Partikelprüfung – sowohl in der Umgebung als auch im geschützten Bereich – vorangehen, zwecks Ermittlung des Basisniveaus der Partikelkonzentration. Die beaufschlagende Partikelkonzentration sollte ein ausreichendes Niveau zur Beurteilung des Schutzfaktors aufweisen.

ANMERKUNG Eine Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung kann durchgeführt werden, um die äußere Begrenzung des geschützten Bereichs zu ermitteln.

B.11.2 Verfahren

B.11.2.1 Erzeugung einer Referenzkonzentration

Zwecks Beaufschlagung des schützenden Luftstroms in der Umgebung sollte eine ausreichende Anzahl von Partikeln erzeugt werden. Empfohlene Prüfaerosolpartikel werden in C.5.3 beschrieben. Die durchschnittliche Partikelgröße sollte größer oder gleich 0,5 µm sein, sofern keine abweichende Größe zwischen Kunden und Lieferanten vereinbart wurde.

Zur Sicherstellung der Angemessenheit sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- a) es ist sicherzustellen, dass alle Reinraumsysteme ordnungsgemäß, in Übereinstimmung mit einem vereinbarten Betriebszustand, funktionieren;
- b) zur Herstellung der beaufschlagenden Konzentration sollte anhand der zu überprüfenden Schutzwirkung die Anzahl der Beaufschlagungspartikel errechnet werden, basierend auf der voraussichtlichen Partikelkonzentration innerhalb des geschützten Bereichs. Diese voraussichtliche Konzentration sollte mindestens das Zehnfache der Basisanzahl an der zu prüfenden Stelle betragen.

B.11.2.2 Einrichtungsgeometrie

Die Geometrie der Prüfeinrichtung sollte festgelegt werden. Die Sonde(n) im geschützten Bereich sollte(n) nicht mehr als 0,1 m von der festgelegten Luftbarriere entfernt sein. Die Sonde mit der Beaufschlagungskonzentration im Bereich mit der niedrigeren Klassifizierung sollte nicht mehr als 1 m von der festgelegten Luftbarriere entfernt sein (zwischen Aerosolgenerator und Luftbarriere). Der Aerosolgenerator sollte in einem Abstand von ungefähr 1 m bis 1,5 m zur Sonde mit der Beaufschlagungskonzentration platziert werden.

ANMERKUNG Die Anzahl der Stellen, an denen die Schutzwirkung bestimmt wird, ist abhängig vom Umfang, von der Form des geschützten Bereichs und einer Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten.

B.11.2.3 Messverfahren

- a) Die Festlegung der Probenahmezeiten sollte auf Basis von ISO 14644-1:2015, A.4.4, erfolgen.

- b) Bei Beginn der Partikelerzeugung auf der Seite der Luftbarriere mit der niedrigeren Klassifizierung ist sicherzustellen, dass der Impuls der aus dem Prüfgerät austretenden Beaufschlagung die Luftbarriere nicht überwindet.
- c) Die Partikelkonzentration im Bereich mit der niedrigeren Klassifizierung an jeder Sonde ist aufzuzeichnen. Mindestens drei Messungen à 1 Minute sollten genommen werden.

ANMERKUNG Beim Messen der hohen Konzentration kann eine Verdünnungsvorrichtung erforderlich sein.

- d) Die Partikelkonzentration im geschützten Bereich an jeder Sonde ist aufzuzeichnen. Mindestens drei Messungen à 1 Minute sollten genommen werden.

B.11.2.4 Berechnung des Schutzindex

Der Schutzindex wird mit Gleichung (B.16) berechnet:

$$PI_X = -\log\left(\frac{C_X}{C_{Ref}}\right) \quad (B.16)$$

Dabei ist

C_{Ref} die Referenzpartikelkonzentration in p/m^3 für Partikel $\geq 0,5 \mu m$ (Beaufschlagungskonzentration) des nächstgelegenen Referenzpartikelzählers, (Richtwert: $> 5 \times 10^6/m^3$);

C_X die durchschnittliche Partikelkonzentration am Messpunkt x in p/m^3 für Partikel $\geq 0,5 \mu m$;

PI_X der Schutzindex.

B.11.3 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sollten nach Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Typbezeichnung jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- b) Datenerfassungstechnik;
- c) Lage der Messpunkte;
- d) Betriebszustand oder -zustände;
- e) Messergebnis.

Anhang C (informativ)

Messgeräte

C.1 Allgemeines

Anhang C beschreibt die Messgeräte, die für die in diesem Dokument empfohlenen Prüfungen verwendet werden sollten.

Die in Tabelle C.1 bis Tabelle C.9 angegebenen Daten stellen die Mindestanforderungen für jedes einzelne Gerät dar. Die einzelnen Posten sind parallel zu Anhang B aufgeführt und nummeriert. Die für die Planung von Prüfungen Verantwortlichen können sich auf Anhang C zur Auswahl von Prüfgeräten beziehen und auf Anhang A als Checkliste für die für eine Anlage empfohlenen Prüfungen und deren Abfolge. Messgeräte sollten in Abstimmung zwischen Kunden und Lieferanten ausgewählt werden.

Dieser Anhang steht nicht der Anwendung verbesserter Geräte im Wege, sofern solche zur Verfügung stehen. Alternative Prüfgeräte können geeignet sein und dürfen nach Absprache zwischen Kunden und Lieferanten verwendet werden.

Das Prüfgerät sollte entsprechend ausgewählt werden, so dass Messgrenzen und -bereich für die jeweilige Anwendung geeignet sind. Außerdem sollte das Gerät so kalibriert werden, dass die Kalibrierpunkte den Bereich des bestimmungsgemäßen Gebrauchs abdecken. Alle Prüfgeräte sollten Empfindlichkeitsstufe 1 (3.1.6) aufweisen.

Mindestanforderungen an Prüfgeräte sind in diesem Anhang aufgeführt; dabei sind auch Anforderungen hinsichtlich der Fehlergrenze festgelegt. Nachstehend folgt eine Erklärung zur Abschätzung der Fehlergrenze für Luftgeschwindigkeitsmessgeräte.

Mindestens drei Einflussfaktoren haben Auswirkungen auf die Fehlergrenze:

- die erweiterte Kalibrierunsicherheit (angegeben im Kalibrierschein);
- die Summe der absoluten Werte der zufälligen Messabweichungen (nach Korrektur der systematischen Fehler bleiben noch die Zufallsfehler [29] übrig. Jeder von ihnen verursacht Variationen bei wiederholter Beobachtung der zu messenden Größe);
- jährliche Drift.

Für das vorliegende Beispiel wurde die erweiterte Kalibrierunsicherheit angegeben mit 0,025 m/s, die Summe der zufälligen Messabweichungen ist 0,03 m/s, und die jährliche Drift beträgt 0,005 m/s.

Die Addition dieser drei Einflussfaktoren ergibt 0,06 m/s. Ausgehend von der Annahme, dass die Fehler symmetrisch um den Wert 0 angeordnet sind, ergibt dies $\pm 0,06$ m/s als Werte für die Fehlergrenzen (maximal zulässige Fehler).

ANMERKUNG Dieser Wert von 0,06 m/s stellt keine Messunsicherheit dar. Vielmehr geben die Fehlergrenzen den zulässigen Intervallbereich für den Messfehler an [29].

C.2 Prüfung des Differentialdrucks

C.2.1 Allgemeines

Die Mindestanforderungen an Prüfgeräte zur Prüfung des Differentialdrucks sind in Tabelle C.1 angegeben.

Tabelle C.1 — Geräte für die Prüfung des Differentialdrucks

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	nicht zutreffend
Auflösung	0,5 Pa (0 Pa – 49,9 Pa) 1,0 Pa (≥ 50 Pa)
Fehlergrenze	2 Pa oder 5 % des Ablesewertes, jeweils der größere Wert (Aufgrund potentieller Fehler können mechanische Messgeräte als Referenz bei kontinuierlicher Überwachung verwendet werden, jedoch nicht zu Prüfzwecken.)

C.2.2 Elektronisches Manometer zur Anzeige oder Ausgabe der Luftdruckdifferenz zwischen einem Reinraum oder reinen Bereich und seiner Umgebung durch Registrierung der Änderung der elektrostatischen Kapazität oder des elektrischen Widerstands aufgrund der Verschiebung einer Membran.

C.2.3 Schrägrohrmanometer zur Messung der Luftdruckdifferenz zwischen zwei Punkten durch Ablesung schräg stehender Skalen, die die geringe Druckhöhe in einem mit Flüssigkeit wie Wasser oder Alkohol gefüllten Messrohr als Höhe des Flüssigkeitsspiegels anzeigen. Bei Verwendung von Messgeräten dieser Art ist Vorsicht geboten. Das Gerät sollte gerade stehen und bei Verwendung fest platziert sein.

C.2.4 Mechanisches Differenzdruckmessgerät zur Messung der Luftdruckdifferenz zwischen zwei Bereichen durch Beobachtung des Ausschlags einer Anzeigenadel, auf die mittels einer mechanischen oder magnetischen Übertragung die Auslenkung einer Membran übertragen wird. Bei Verwendung von Messgeräten dieser Art ist Vorsicht geboten. Das Gerät sollte gerade stehen und bei Verwendung fest platziert sein.

Bei Verwendung dieses Geräts sollte die Auswahl eines geeigneten Messbereichs sorgfältig geprüft werden.

C.3 Strömungsprüfung

C.3.1 Luftgeschwindigkeitsmessgeräte

C.3.1.1 Allgemeines

Die Mindestanforderungen an Prüfgeräte zur Prüfung der Luftgeschwindigkeit sind in Tabelle C.2 angegeben.

Tabelle C.2 — Geräte für die Prüfung der Luftgeschwindigkeit

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	nicht zutreffend
Auflösung	0,01 m/s (0,20 m/s – 0,99 m/s) 0,1 m/s (\geq 1,00 m/s)
Fehlergrenze	0,1 m/s (0,20 m/s – 1,00 m/s) 10 % des Ablesewertes ($>$ 1,00 m/s)

C.3.1.2 Hitzdrahtanemometer zur Berechnung der Luftgeschwindigkeit durch Messung der Wärmeleistung, die erforderlich ist, um den elektrisch beheizten Sensor im Luftstrom auf einer festgelegten Temperatur zu halten.

C.3.1.3 Dreidimensionales Ultraschallanemometer oder gleichwertig zur Messung der Luftgeschwindigkeit durch Registrierung der Verschiebung der Schallfrequenz (oder Schallgeschwindigkeit) zwischen auseinander liegenden Punkten in der gemessenen Strömung.

C.3.1.4 Flügelradanemometer zur Messung der Luftgeschwindigkeit durch Zählung der Drehzahl des Flügelrads in der Luftströmung.

C.3.1.5 Pitotrohre und Manometer zur Messung der Luftgeschwindigkeit anhand der Differenzen zwischen Gesamtdruck und statischem Druck an einem Punkt in der Luftströmung.

C.3.1.6 Rohrfeld zur Messung der Luftgeschwindigkeit anhand der Differenzen zwischen Gesamtdruck und statischem Druck an einem Punkt in der Luftströmung. Mittelwertbildende Luftströmungsraster verwenden Rohrfelder zur gleichzeitigen Messung einer Luftströmung auf einem Raster und liefern eine Durchschnittsgeschwindigkeit mittels eines elektrischen Multimeter-Manometers.

C.3.2 Messgeräte für den Volumenstrom

C.3.2.1 Allgemeines

Die Mindestanforderungen an Prüfgeräte zur Prüfung des Volumenstroms sind in Tabelle C.3 angegeben.

Tabelle C.3 — Geräte für die Prüfung des Luftvolumenstroms

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	nicht zutreffend
Auflösung	0,001 m ³ /s
Fehlergrenze	0,01 m ³ /s (0 m ³ /s – 0,1 m ³ /s) 10 % des Ablesewertes ($>$ 0,1 m ³ /s)

C.3.2.2 Volumenstrommesshaube mit Messgerät zur Messung des Luftvolumenstroms aus einer Fläche, über der die Luftströmung veränderlich sein kann, wodurch sich ein zusammengefasstes Luftvolumen aus diesem Bereich ergibt. Die Gesamtluftströmung wird gebündelt, so dass die Geschwindigkeit am Messpunkt den Mittelwert über die gesamte Fläche darstellt.

C.3.2.3 Lochplatten-Messgerät, es wird auf ISO 5167-2 [22] verwiesen.

C.3.2.4 Venturi-Messgerät, es wird auf ISO 5167-4 [23] verwiesen.

C.4 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung

C.4.1 Geräte, Materialien und Zubehör zur Prüfung der Luftströmungsrichtung und Strömungssichtbarmachung, siehe Tabelle B.1 und Tabelle B.2.

C.4.2 Hitzdrahtanemometer, siehe C.3.1.2.

C.4.3 Dreidimensionales Ultraschallanemometer, oder gleichwertig, siehe C.3.1.3.

C.4.4 Aerosolgenerator.

C.4.4.1 Allgemeines

Hinsichtlich Aerosolgeneratoren zur Strömungssichtbarmachung kann ebenfalls auf B.3.4 verwiesen werden. Einige Anwendungsbeispiele wie Partikelerzeuger und Ultraschallvernebler werden im Folgenden beschrieben.

C.4.4.2 Ultraschallvernebler zur Erzeugung von Aerosolen (Nebeln) durch gebündelte Schallwellen, die eine Flüssigkeit (z. B. DI-Wasser) in feiner Tröpfchenform vernebeln.

C.4.4.3 Vernebler zur Erzeugung von Aerosolen (Nebeln). Ein thermisch erzeugtes Aerosol aus DI-Wasser/Glykolen/Alkoholen.

C.5 Prüfung der Erholzeit

C.5.1 Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC), Gerät, das in der Lage ist, einzelne luftgetragene Partikel zu zählen und deren Größe zu bestimmen und Größendaten als optische Äquivalentdurchmesser auszugeben.

Siehe ISO 14644-1 [1].

C.5.2 Aerosolgenerator, der in der Lage ist, Partikel innerhalb des Größenbereichs $0,1\ \mu\text{m}$ – $1,0\ \mu\text{m}$ bei konstanter Konzentration zu erzeugen, die nach thermischen, hydraulischen, pneumatischen, akustischen, chemischen oder elektrostatischen Verfahren erzeugt werden können.

C.5.3 Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole. Typischerweise werden die folgenden Substanzen zur Erzeugung von Prüfaerosolen verwendet; Prüfaerosole mit festen oder flüssigen Inhaltsstoffen werden durch Versprühen oder Vernebeln in die Atmosphäre erzeugt:

- a) Poly-Alpha-Olefin-(PAO)-Öl, 4 Zentistokes PAO;
- b) Dioktylsebazat (DOS);
- c) Di-2-ethyl-hexyl-Sebazat (DEHS);
- d) Dioctyl(2-ethyl-hexyl)phthalat (DOP¹) (z. B. CAS-Nr. 117-81-7²);
- e) Mineralöl in Lebensmittelqualität (z. B. CAS-Nr. 8042-47-5);

1 In bestimmten Ländern wird von der Verwendung von DOP zur Filterprüfung aus Sicherheitsgründen abgeraten.

2 CAS-Nr., Chemical Abstract Service Registry Number, die Substanzen sind registriert in Chemical Abstract, herausgegeben von der American Chemical Society [14].

- f) Paraffinöl (z. B. CAS-Nr. 64742-46-7);
- g) Mikrosphären mit geeignetem Durchmesser.

Falls die erforderliche Konzentration erreicht werden kann, darf auch atmosphärisches Aerosol verwendet werden.

C.5.4 Verdünnungssystem, ein System, in dem Aerosol mit Reinluft in einem bekannten Volumenverhältnis gemischt wird, um die Konzentration zu verringern.

C.6 Temperaturprüfung

Die Temperaturprüfung sollte unter Verwendung eines Sensors mit einer Genauigkeit, wie in ISO 7726 [28] definiert, durchgeführt werden. Beispiele sind

- a) Ausdehnungsthermometer;
 - 1) Flüssigkeitsthermometer;
 - 2) Festkörperthermometer;
- b) elektrische Thermometer;
 - 1) Widerstandsthermometer, einschließlich
 - Platinwiderstand;
 - Thermistor;
 - 2) Thermometer auf Basis der Erzeugung einer elektromotorischen Kraft (Thermoelement);
- c) Thermomanometer (temperaturabhängige Druckschwankung einer Flüssigkeit).

Die Mindestanforderung an die Auflösung des Messgeräts beträgt 20 % des zulässigen Temperaturbereichs für die Differenz zwischen der Solltemperatur und dem zulässigen Streubereich um diesen Sollwert.

ANMERKUNG Die Anforderung hinsichtlich Bereich, Genauigkeit usw. ist abhängig vom Verwendungszweck des Reinraums oder reinen Bereichs. ISO 7726 [28] ist für eine allgemeine Verwendung bestimmt.

C.7 Prüfung der Luftfeuchte

Die Feuchteprüfungen sollten unter Verwendung eines Sensors mit einer Genauigkeit, wie in ISO 7726 [28] definiert, durchgeführt werden.

Typische Sensoren sind:

- a) Taupunkthygrometer (z. B. Psychrometer);
- b) Hygrometer für Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit;
 - 1) Lithiumchlorid-Hygrometer;
 - 2) kapazitives Hygrometer.

Die Mindestanforderung an die Auflösung des Messgeräts sollte 20 % des zulässigen relativen Feuchtebereichs für die Differenz zwischen der Sollfeuchte und dem zulässigen Streubereich um diesen Sollwert betragen.

ANMERKUNG Die Anforderung hinsichtlich Bereich, Genauigkeit usw. ist abhängig vom Verwendungszweck des Reinraums oder reinen Bereichs. ISO 7726 ist für eine allgemeine Verwendung bestimmt.

C.8 Leckprüfung am eingebauten Filtersystem

C.8.1 Aerosolphotometer zur Messung der Massenkonzentration von Aerosolen in Milligramm je Kubikmeter (mg/m^3). Das Aerosolphotometer verwendet eine optische Kammer für vorwärts gestreutes Licht zur Durchführung dieser Messung. Dieses Gerät darf zur unmittelbaren Messung der Filterleckpenetration verwendet werden.

Die Mindestanforderungen für das Aerosolphotometer sind in Tabelle C.4 angegeben.

Tabelle C.4 — Aerosolphotometer

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	0,000 1 mg/m^3 bis 100 mg/m^3
Auflösung	0,000 1
Fehlergrenze	10 % für den ausgewählten Bereich

Schlauchgrößen (Länge und Innendurchmesser) der Probenahmesonde sollten den Herstellerempfehlungen entsprechen.

ANMERKUNG Einlassabmessungen der Probenahmesonde werden in B.7.2.2 detailliert ausgeführt.

C.8.2 Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC), siehe C.5.1.

C.8.3 Aerosolgenerator, siehe C.5.2.

C.8.4 Ausgangssubstanzen zur Prüfaerosolerzeugung, siehe C.5.3.

C.8.5 Verdünnungssystem, Apparat, siehe C.5.4.

C.9 Leckprüfung der Abschließung

C.9.1 Streulicht-Einzelpartikelzähler, siehe C.5.1.

C.9.2 Aerosolgenerator, siehe C.5.2

C.9.3 Ausgangssubstanzen zur Aerosolerzeugung, siehe C.5.3.

C.9.4 Verdünnungssystem, siehe C.5.4.

C.9.5 Aerosolphotometer, siehe C.8.1.

C.10 Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren

C.10.1 Elektrostatisches Voltmeter zur Messung der mittleren Spannung (Potential) auf einer kleinen Fläche durch Messung des elektrischen Feldes an einer Elektrode, die durch eine kleine Öffnung in einer Sonde angebracht ist.

Die Mindestanforderungen für ein elektrostatisches Voltmeter sind in Tabelle C.5 angegeben.

Tabelle C.5 — Spezifikation für elektrostatisches Voltmeter

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	$\pm(1 - 20)$ kV
Auflösung	10 V (1 kV – 20 kV)
Fehlergrenze	10 % des Ablesewertes

C.10.2 Ohmmeter für große Widerstände zur Messung des Widerstands von Isolationsmaterialien und -komponenten durch Messung des Ableitstroms, indem an ein zu prüfendes Gerät eine hohe Spannung angelegt wird.

Die Mindestanforderungen an das Ohmmeter für große Widerstände sind in Tabelle C.6 angegeben.

Tabelle C.6 — Spezifikationen für das Ohmmeter für große Widerstände

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	1 000 Ω bis 20 G Ω
Auflösung	0,01 M Ω
Fehlergrenze	5 % Vollausschlag in jedem Messbereich
Prüfspannung	Gleichstrom 100 V bis 1 000 V

C.10.3 Plattenkondensator zur Messung der neutralisierenden Wirkung eines Ionisators oder eines Ionisationssystems.

Die Mindestanforderungen an den Plattenkondensator sind in Tabelle C.7 angegeben.

Tabelle C.7 — Spezifikationen für den Plattenkondensator

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	± 5 kV
Auflösung	0,1 V (< 100 V) 1,0 V (> 99 V)
Fehlergrenze	5 % Vollausschlag

C.11 Prüfung der Partikelsedimentation

C.11.1 Material der Vergleichsplatten. Je nach nachzuweisender Partikelgröße und verwendetem Messgerät dürfen die folgenden Werkstoffe verwendet werden:

- a) mikroporöse Membranfilter;
- b) doppelseitiges Klebeband;
- c) Petrischalen;
- d) Petrischalen mit einem Polymer, z. B. Polyesterharz, in kontrastierender Farbe (schwarz);
- e) fotografischer Film (Planfilm);
- f) Mikroskop-Objektträger (einfach oder mit Metallbedampfung);
- g) Glas- oder Metallspiegeloberflächen;
- h) Halbleiter-Waferrohlinge;
- i) Glasträger für Fotomasken;
- j) transparente Kunststoffplatte.

Um sicherzustellen, dass die gesammelten Partikel gut sichtbar sind, sollte die Oberflächenglätte der Vergleichsplatte eine der Größe der Partikel angemessene Güte aufweisen. Das gewählte Material der Vergleichsplatten sollte elektrostatisch neutral sein. Das verwendete Messmittel sollte ein Auflösungsvermögen aufweisen, das es gestattet, Partikel der kleinsten zu zählenden Größe zu erfassen. Vergleichsplatten, die transparent sein müssen, sollten defektfrei sein.

Die Bestimmung der Partikelsedimentation ist möglich durch Messung der Flächenbedeckung abgelagerter Partikel oder durch Zählung (und Bemessung) der während der Sammelzeit auf der Vergleichsplatte abgelagerten Partikel. Bei der Messung der Partikelsedimentation ist eine Unterteilung möglich in Partikelgrößen innerhalb des Luftreinheits-Pegelbereichs (0,1 µm bis 5,0 µm) und Makropartikel (größer oder gleich 5 µm).

Tabelle C.8 — Messung der Partikelsedimentation mit Oberflächen-Analysator

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	Oberflächenzahl-Konzentration: 1/cm ² bis 10 ⁶ /cm ² Partikelgröße: 0,1 µm bis 5 µm
Auflösung	Partikelgröße: 0,1 µm
Fehlergrenze	Partikelgröße: 1 µm

Tabelle C.9 — Messung der Partikelsedimentation mit Prüfgerät für Makropartikel

Posten	Mindestanforderungen
Messbereichsgrenzen	Flächenabdeckung: $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ bis $5\,000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}^2$ Partikelgröße: ≥ 5 bis $\geq 500 \text{ }\mu\text{m}$
Auflösung	Flächenabdeckung: $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}^2$ Partikelgröße: $10 \text{ }\mu\text{m}$
Fehlergrenze	Flächenabdeckung: $20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}^2$ Partikelgröße: $20 \text{ }\mu\text{m}$

C.11.2 Wafer-Oberflächenscanner zur Messung von Partikeln mit einem Laserscanner und bildgebenden Geräten (Mikroskop, Elektronenmikroskop) zwecks Größenbestimmung der erfassten Partikel.

C.11.3 Partikelniederschlagsaerosolphotometer zur Messung des gesamten von auf dunklen Glas-sammelplatten abgelagerten Partikeln gestreuten Lichts und Lieferung dieser Daten als Sedimentationsfaktor, bezogen auf die Konzentration sich ablagernder Partikel, die sich auf kritischen Oberflächen ablagern würden.

Die Kalibrierung erfolgt durch fluoreszierende Partikel von $4 \text{ }\mu\text{m}$ und $10 \text{ }\mu\text{m}$ oder Polystyrol-Mikrosphären von $90 \text{ }\mu\text{m}$ und $45 \text{ }\mu\text{m}$ nominell. Die gemessene Fläche ist $< 2 \text{ cm}^2$.

C.11.4 Oberflächenpartikelzähler zur Messung durch Streulicht der Anzahl (und Größe) von Einzelpartikeln, die sich auf einer Oberfläche abgelagert haben.

Die gemessene Fläche ist $0,2 \text{ cm}^2$ bis 3 cm^2 . Die gemessene Fläche kann durch Abtasten vergrößert werden. Die Größenauflösung beträgt $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ bis $25 \text{ }\mu\text{m}$, je nach gewähltem optischen System.

C.11.5 Partikelsedimentationsmessgerät zur Bestimmung der Anzahl und Größe von Partikeln auf einer Vergleichsplatte aus Glas. Das Glas wird von unten beleuchtet. Zum Abtasten einer relevanten Fläche wird eine Koordinatentabelle verwendet. Die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung kann mittels Bildverarbeitungssoftware erfolgen. Anhand der Partikelgrößenverteilung, der Messoberfläche und der Sammelzeit kann die Partikelsedimentationsrate bestimmt werden.

C.11.6 Optischer Partikelsedimentationsmonitor

Ein optisches System erkennt Partikel auf einer schiefen Ebene durch Prüfen der Veränderung des Interferenzmusters eines Laserstrahls mit großem Strahldurchmesser. Es können Messoberflächen in einem Bereich von 10 cm^2 bis 100 cm^2 erreicht werden. Ein Gerät für gewerbliche Nutzung kann beispielsweise eine Erfassungsoberfläche von 60 cm^2 aufweisen. Die Erfassung von Partikeln mit einer Größe von $\geq 20 \text{ }\mu\text{m}$ ist möglich. Das Partikelsedimentationsergebnis erfolgt auf der projizierten horizontalen Oberfläche.

C.12 Entmischungsprüfung

C.12.1 Streulicht-Einzelpartikelzähler, siehe C.5.1.

C.12.2 Aerosolgenerator, siehe C.5.2.

C.12.3 Ausgangssubstanzen zur Aerosolerzeugung, siehe C.5.3.

C.12.4 Verdünnungssystem, siehe C.5.4.

Literaturhinweise

- [1] ISO 14644-1:2015, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*
- [2] ISO 14644-2, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration*
- [3] ISO 14644-4, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 4: Design, construction and start-up*
- [4] ISO 14644-7:2004, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments)*
- [5] ISO 14644-8, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 8: Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC)*
- [6] ISO 14644-9, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 9: Classification of surface cleanliness by particle concentration*
- [7] ISO 14644-10, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 10: Classification of surface cleanliness by chemical concentration*
- [8] ISO 14644-12, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 12: Specifications for monitoring air cleanliness by nanoscale particle concentration*
- [9] ASME N510-1989, *Testing of Nuclear Air-Treatment Systems*
- [10] ASTM F24-00, *Standard Method for Measuring and Counting Particulate Contamination on Surfaces*
- [11] ASTM F50-92, *Standard Practice for Continuous Sizing and Counting of Airborne Particles in Dust-Controlled Areas and Clean Rooms Using Instrument Capable of Detecting Single Sub-Micrometre and Larger Particles*
- [12] ASTM F312-97, *Standard Test Methods for Microscopical Sizing and Counting Particles from Aerospace Fluids on Membrane Filters*
- [13] ASTM F1471-93, *Standard Test Method for Air Cleaning Performance of a High-Efficiency Particulate Air-Filter System*
- [14] Chemical Abstracts Service Registry, Columbus, Ohio, US: American Chemical Society
- [15] EN 1822-2, *Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) — Teil 2: Aerosolerzeugung, Messgeräte, Partikelzählstatistik*
- [16] EN 1822-4, *Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) — Teil 4: Leckprüfung des Filterelementes (Scan-Verfahren)*
- [17] IEST-RP-CC001.6:2016, *HEPA and ULPA Filters*
- [18] IEST-RP-CC006.3:2004, *Testing Cleanrooms*
- [19] IEST-RP-CC007.3:2016, *Testing ULPA Filters*

- [20] IEST-RP-CC021.4:2016, *Testing HEPA and ULPA Filter Media*
- [21] IEST-RP-CC034.4:2016, *HEPA and ULPA Filter Leak Tests*
- [22] ISO 5167-2, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 2: Orifice plates*
- [23] ISO 5167-4, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 4: Venturi tubes*
- [24] ISO 5167-5, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 5: Cone meters*
- [25] JACA No.24:1989, *Standardization and Evaluation of Clean Room Facilities*
- [26] JIS B 9921, *Light scattering automatic particle counter. Japanese Industrial Standards Committee*
- [27] SEMI E14-93, *Measurement of particle contamination contributed to the product from the process or support tool*
- [28] ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*
- [29] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:200, corrected version 2010, (GUM)