

DIN EN ISO 14644-3

ICS 13.040.35

Entwurf

Einsprüche bis 2017-03-13
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 14644-3:2006-03

**Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche –
Teil 3: Prüfverfahren (ISO/DIS 14644-3:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 14644-3:2016**

Cleanrooms and associated controlled environments –
Part 3: Test methods (ISO/DIS 14644-3:2016);
German and English version prEN ISO 14644-3:2016

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés –
Partie 3: Méthodes d'essai (ISO/DIS 14644-3:2016);
Version allemande et anglaise prEN ISO 14644-3:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-01-13 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nhrs@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRs), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 150 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRs)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 14644-3:2017) 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 vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 041-02-21 AA „Reinraumtechnik (SpA CEN/TC 243 und ISO/TC 209)“ im DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 14644-3 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfs gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 7726	siehe DIN EN ISO 7726
ISO 14644-1	siehe DIN EN ISO 14644-1
ISO 14644-2	siehe DIN EN ISO 14644-2
ISO 14644-4	siehe DIN EN ISO 14644-4
ISO 14644-7	siehe DIN EN ISO 14644-7
ISO 14644-8	siehe DIN EN ISO 14644-8
ISO 14644-9	siehe DIN EN ISO 14644-9
ISO 14644-10	siehe DIN EN ISO 14644-10

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 14644-3:2006-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Technisch und redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7726, *Umgebungsklima — Instrumente zur Messung physikalischer Größen*

DIN EN ISO 14644-1, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 1: Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration*

DIN EN ISO 14644-2, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 2: Überwachung zum Nachweis der Reinraumleistung bezüglich Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration*

DIN EN ISO 14644-4, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 4: Planung, Ausführung und Erst-Inbetriebnahme*

DIN EN ISO 14644-7, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 7: SD-Module (Reinlufthauben, Handschuhboxen, Isolatoren und Minienvironments)*

DIN EN ISO 14644-8, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 8: Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Chemikalienkonzentration (ACC)*

DIN EN ISO 14644-9, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 9: Klassifizierung der partikulären Oberflächenreinheit*

DIN EN ISO 14644-10, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 10: Klassifizierung der chemischen Oberflächenreinheit*

— Leerseite —

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 3: Prüfverfahren (ISO/DIS 14644-3:2016)

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés — Partie 3 : Méthodes d'essai (ISO/DIS 14644-3:2016)

Cleanrooms and associated controlled environments — Part 3: Test methods (ISO/DIS 14644-3:2016)

ICS:

Deskriptoren:

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Durchführung der Prüfungen	14
5 Prüfberichte	17
Anhang A (informativ) Auswahl von Hilfsprüfungen und Checkliste	18
A.1 Allgemeines	18
A.2 Checkliste für die Prüfung	18
A.3 Vorprüfungsbedingungen	22
A.4 Leitfaden zu typischen Zeitintervallen für wiederkehrende Prüfungen	22
Anhang B (informativ) Hilfsprüfverfahren	24
B.1 Prüfung des Differentialdrucks	24
B.2 Strömungsprüfung	25
B.3 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung	29
B.4 Prüfung der Erholzeit	32
B.5 Temperaturprüfung	35
B.6 Prüfung der Luftfeuchte	37
B.7 Leckprüfung am eingebauten Filtersystem	38
B.8 Leckprüfung der Abschließung	51
B.9 Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren	52
B.10 Prüfung der Partikelsedimentation	54
B.11 Entmischungsprüfung	57
Anhang C (informativ) Messgeräte	60
C.1 Prüfung des Differentialdrucks	61
C.2 Strömungsprüfung	61
C.3 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung	62
C.4 Prüfung der Erholzeit	63
C.5 Temperaturprüfung	64
C.6 Prüfung der Luftfeuchte	64

C.7	Leckprüfung am eingebauten Filtersystem	65
C.8	Leckprüfung der Abschließung	65
C.9	Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren	65
C.10	Prüfung der Partikelsedimentation	66
C.11	Mitrisprüfung.....	68
	Literaturhinweise.....	69

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 14644-3:2016) 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 vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 14644-3:2005-12 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 14644-3:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 14644-3:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen 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. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien 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 empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der WTO-Grundsätze zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: Foreword - Supplementary information.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 209.

ISO 14644-3 wurde vom Technischen Komitee ist ISO/TC 209, *Cleanrooms and associated controlled environments*, erarbeitet.

ISO 14644 besteht unter dem allgemeinen Titel, *Cleanrooms and associated controlled environments*, aus den folgenden Teilen:

- *Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*
- *Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration*
- *Part 3: Test methods*
- *Part 4: Design, construction and start-up*
- *Part 5: Operations*
- *Part 6: Vocabulary*
- *Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments)*
- *Part 8: Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC)*
- *Part 9: Classification of surface cleanliness by particle concentration*
- *Part 10: Classification of air cleanliness by chemical concentration*

Einleitung

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche sorgen für eine Regelung der luftgetragenen 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 Nahrungsmittel-industrie.

Dieser Teil von ISO 14644 stellt geeignete Prüfverfahren dar zur Messung der Leistung von Anlagen, Reinräumen oder zugehörigen Reinraumbereichen.

ANMERKUNG Es werden in diesem Teil von ISO 14644 nicht alle Prüfverfahren für Reinraumparameter aufgezeigt. Verfahren und Geräte für die Prüfung der Luftreinheitsklassen anhand der Partikelkonzentration finden sich in ISO 14644-1, und Spezifikationen für die Überwachung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentrationen im Nanobereich finden sich in ISO 14644-12(20XX). 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 [ISO 14698], Prüfung der Funktionstüchtigkeit von Reinräumen [ISO 14644-4] und Prüfung von SD-Modulen [ISO 14644-7]). Darüber hinaus können andere Normen als anwendbar betrachtet werden.

In den Angaben in diesem Teil von ISO 14644 wird auf Normen von ASTM, CEN, DIN, IEST, JACA, JIS und SEMI Bezug genommen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 14644 umfasst Prüfverfahren zur Unterstützung des Betriebs für Reinnräume und reine Bereiche, im Hinblick auf die Erfüllung von Luftreinheitsklassifizierungen und zugehörigen geregelten Bedingungen. Prüfungen zur Reinheitsklassifizierung sind beschrieben in ISO 14644-1 (Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration und für Nanopartikel). Weitere zugehörige Attributebenen können bestimmt werden anhand von ISO 14644-8 (Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Chemikalienkonzentration), ISO 14644-9 (Klassifizierung der partikulären Oberflächenreinheit) und ISO 14644-10 (Klassifizierung der chemischen Oberflächenreinheit). Es werden Leistungsprüfungen für zwei Arten von Reinnräumen und reinen Bereichen festgelegt, solche mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung und solche mit turbulenter Mischströmung. Es werden drei Betriebszustände betrachtet: Bereitstellung, Leerlauf, Fertigung. In den Prüfverfahren werden Prüfgeräte und Prüfverfahren zur Bestimmung von Kenngrößen für die Leistung empfohlen. An Stellen, an denen das Prüfverfahren durch die Art des Reinnraums 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, dürfen auch alternative, nicht in diesem Teil von ISO 14644 beschriebene Verfahren angewendet werden. Solche Verfahren liefern nicht zwingend gleichwertige Messungen.

Dieser Teil von ISO 14644 ist nicht auf die Messung von Produkten oder Prozessen in Reinnräumen, reinen Bereichen oder SD-Modulen anwendbar.

ANMERKUNG Dieser Teil von ISO 14644 nimmt nicht in Anspruch, mit seiner Anwendung verbundene Sicherheitsprobleme zu behandeln (z. B. beim Einsatz gefährlicher Stoffe, Arbeitsgänge und Geräte). Es liegt in der Verantwortlichkeit des Anwenders dieses Teils von ISO 14644, geeignete Verhaltensregeln für den Arbeits- und Gesundheitsschutz festzulegen und vor der Anwendung zu klären, ob einschränkende Vorschriften zu berücksichtigen sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

ISO 7726:1998, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*

ISO 14644-1:2015, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*

ISO 14644-2:2015, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration*

ISO 14644-4:2001, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 4: Design, construction and start-up*

ISO 14644-7:2004, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and minienvironments)*

ISO 14644-8:2013, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 8: Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC)*

ISO 14644-9:2012, *Cleanrooms and associate controlled environments — Part 9: Classification of surface cleanliness by particle concentration*

ISO 14644-10:2013, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 10: Classification of surface cleanliness by chemical concentration*

3 Begriffe

3.1 Allgemeines

3.1.1

Reinraum

Raum, in dem die Anzahlkonzentration luftgetragener Partikel 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 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

definierter Raum, in dem die zahlenmäßige Konzentration luftgetragener Partikel kontrolliert und klassifiziert wird und der so konstruiert ist und entsprechend betrieben wird, dass die Anzahl der in den Raum eingeschleppten bzw. in ihm entstehenden und abgelagerten Verunreinigungen geregelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klasse der Konzentration der luftgetragenen Partikel 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: Ein reiner Bereich (reine Bereiche) kann (können) ein festgelegter Bereich (festgelegte Bereiche) in einem Reinraum 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 oder ein oder mehrere reine(r) Bereich(e) 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)

Ausrüstungsgegenstand, der konstruktive und dynamische Mittel einsetzt, um zugesicherte Grade der Abgrenzung zwischen den Bereichen innerhalb und außerhalb eines fest umschriebenen Volumens zu erzeugen

Anmerkung 1 zum Begriff: Einige industriespezifische Beispiele von SD-Modulen sind Reinlufthauben, Abgrenzungsumschließungen, Handschuhboxen, Isolatoren und Minienvironments.

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.

3.1.6

Messfehlergrenze

Extremwert eines Messfehlers, bezogen auf einen bekannten Bezugsgrößenwert, der aufgrund von Spezifikationen oder Regulierungen für eine bestimmte Messung, ein Messgerät oder Messsystem zulässig ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Ausdruck Fehlergrenze wird in der Regel dann benutzt, wenn zwei Extremwerte vorliegen.

3.1.7

Empfindlichkeit

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

3.2 Schwebstoffe

3.2.1

luftgetragenes Partikel

flüssiges oder festes in der Luft schwebendes lebensfähiges oder nicht lebensfähiges Teilchen, (für die Anwendung dieses Teils von ISO 14644) 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

CMD

(en: count median particle diameter)

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

MMD

(en: mass median particle diameter)

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, dargestellt als Funktion der Partikelgröße

[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 Luftfilter und Luftfiltersysteme

3.3.1

Aerosolbeaufschlagung

Beaufschlagung eines Filters oder eines eingebauten Filtersystems durch ein Prüfaerosol

3.3.2

Nominalleck

höchstzulässige Penetration, bestimmt nach Absprache zwischen Kunde und Lieferant, durch ein Leck, das durch kontinuierliche Abtastung einer Anlage unter Verwendung von Einzelpartikelzählern (DPC) oder Aerosolphotometern 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 dem sonstigen Haltesystem oder sonstigem Gehäuse bestehendes System

3.3.5

endständiges Filter

Filter in einer endständigen Einbaulage vor dem Eintritt der Luft in den Reinraum oder reinen Bereich

3.3.6

eingebautes Filtersystem

in der Decke, der Wand, in einem Gerät oder einer Luftleitung eingebautes Filtersystem

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 gelangt und dass Filter und gegebenenfalls das Gittersystem frei von Beschädigungen und Lecks 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 in Filtern und Teilen von Filtereinheiten, wobei die Einlassöffnung der Sonde eines Aerosolphotometers oder Einzelpartikelzählers (DPC) mit überlappenden Bewegungen über den festgelegten zu prüfenden Bereich geführt wird

3.3.10

Standard-Leckpenetration

Leckpenetration, wie sie mittels eines Einzelpartikelzählers oder Aerosolphotometers mit genormtem Probenahmefluss aufgenommen wird, während die Sonde über der Leckstelle auf einer Stelle gehalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Penetration ist der Quotient der Partikelkonzentrationen reinluftseitig und rohluftseitig vom Filter.

3.4 Luftströmung und andere physikalische Zustandsgrößen

3.4.1

Luftwechselzahl

Rate des Luftaustauschs, beschrieben durch die Anzahl der Luftwechsel je Zeiteinheit und berechnet durch Division des je Zeiteinheit zugeführten Luftvolumenstroms durch das Volumen des Reinraums oder des reinen Bereichs

3.4.2

Messebene

Querschnittsfläche zur Prüfung oder Messung einer Leistungskenngröße wie der Strömungsgeschwindigkeit

3.4.3

turbulente Mischströmung

Luftverteilung, bei der die in den Reinraum oder reinen Bereich eintretende Zuluft mit der Innenraumluft durch Induktion vermischt wird

[QUELLE: ISO 14644-4:2001, 3.6]

3.4.4

Zuluftvolumenstrom

Luftvolumen, das einer Anlage über endständige Filter oder Luftleitungen je Zeiteinheit zugeführt wird

3.4.5

Gesamtluftvolumenstrom

Luftvolumen, das je Zeiteinheit durch den Querschnitt einer Anlage strömt

3.4.6

turbulenzarme Verdrängungsströmung

geordnete Luftströmung mit gleichförmiger Geschwindigkeit und nahezu parallelen Strömungslinien über den gesamten Querschnitt des Reinraums oder reinen Bereichs

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine solche Strömung bewirkt einen gerichteten Transport von Partikeln aus dem Reinraum oder reinen Bereich.

[QUELLE: ISO 14644-4:2001, 3.11]

3.4.7

Gleichförmigkeit der Strömung

turbulenzarmes Strömungsprofil, bei dem die Messwerte der Luftgeschwindigkeit von Punkt zu Punkt um nicht mehr als den festgelegten Prozentsatz von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit abweichen

3.5 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 Oberflächenpotenzial

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

3.6 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 bestimmt

3.6.3

anisokinetische Probenahme

Probenahmebedingung, bei der die mittlere Geschwindigkeit der Luft beim Eintritt in die Sonde signifikant von der mittleren Geschwindigkeit der turbulenzarmen Verdrängungsströmung an diesem Ort abweicht

3.6.4

Zählwirkungsgrad

Quotient aus der gemessenen Konzentration von Partikeln innerhalb eines gegebenen Größenbereichs und der tatsächlichen Konzentration solcher Partikel

3.6.5

Einzelpartikelzähler

DPC

(en: discrete-particle counter)

Messgerät mit Anzeigevorrichtung und Speicher für Anzahl und Größe einzelner Partikel (mit Größenunterscheidung) in einem festgelegten Luftvolumen

3.6.6

Fehlzählung

Zählung des Hintergrundrauschens

Nullzählung

Zählergebnis, das ein Einzelpartikelzähler (DPC) aufgrund von unerwünschtem Eigenrauschen oder äußerem Rauschen anzeigt, wenn keine Partikel vorliegen

3.6.7

Volumenstrommesshaube

Haube mit Gerät zur direkten Messung des Luftvolumenstroms an jedem endständigen Filter oder Luftdiffusor in einer Anlage, die das Filter oder den Diffusor vollständig abdeckt

3.6.8

iso-axiale Probenahme

Probenahmebedingung, bei der die Eintrittsrichtung des Luftstroms in die Sonde mit der Richtung der gemessenen turbulenzarmen Verdrängungsströmung übereinstimmt

3.6.9

isokinetische Probenahme

Probenahmebedingung, bei der die mittlere Geschwindigkeit der in die Sonde eintretenden Luft mit der mittleren Geschwindigkeit der turbulenzarmen Verdrängungsströmung an dieser Stelle übereinstimmt

3.6.10

Partikelgrößenfilter

Vorrichtung, die in der Lage ist, Partikel zu entfernen, deren Größe kleiner ist als die der interessierenden Partikel, und die vor den Einlass eines DPC oder CPC gesetzt wird

3.6.11

Nachweisgrenze

kleinste ausgewählte Partikelgröße, die bei der Bestimmung der Partikelkonzentration von Partikeln mindestens dieser Größe verwendet wird

3.6.12

Vergleichsplatte

kontaminationsempfindliches 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 Betriebszustände

3.7.1

Bereitstellung

Zustand des vollständig angeschlossenen und in Funktion befindlichen Reinraums oder reinen Bereichs, 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 oder reinen Bereichs, jedoch ohne Personal

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

3.7.3

Fertigung

vereinbarter Zustand des in der festgelegten Betriebsart betriebenen Reinraums oder reinen Bereichs 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 Attributprüfungen für Reinräume und reine Bereiche

Im Hinblick auf die Klassifizierung von Reinräumen und reinen Bereichen sind eine oder mehrere Prüfungen zur Reinheitsklassifizierung durchzuführen. Die angewandte(n) Prüfung(en) werden durch die betreffenden Reinheitsattribute bestimmt. Es können die folgenden Reinheitsattribute gewählt werden (siehe Tabelle 1).

ANMERKUNG Jede Norm enthält Spezifikationen für das Prüfverfahren, Hinweise zur Bewertung der Prüfdaten im Hinblick auf die Klassifizierung sowie Spezifikationen für Prüfgeräte.

Tabelle 1 — Attributprüfungen für Reinräume und reine Bereiche

Attributprüfungen für Reinräume und reine Bereiche	in Bezug genommen in
Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration (ACP)	ISO 14644-1 und ISO 14644-2
Klassifizierung der partikulären Oberflächenreinheit (SCP)	ISO 14644-9
Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Chemikalienkonzentration (ACC)	ISO 14644-8
Klassifizierung der chemischen Oberflächenreinheit (SCC)	ISO 14644-10

4.1.2 Hilfsprüfungen

Tabelle 2 führt weitere geeignete Prüfungen auf, die zur Messung der Leistung einer Anlage verwendet werden können. Diese Prüfungen können in jedem der drei genannten Betriebszustände angewendet werden. Die Prüfungen sind nicht notwendigerweise umfassend, noch mögen für ein bestimmtes zu zertifizierendes Projekt 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 sollten spezifische Verfahren entwickelt werden.

Tabelle 2 — Hilfsprüfungen

Hilfsprüfungen^b	in Bezug genommen in ISO 14644-3:20XX		
	Prinzip	Verfahren	Geräte
Prüfung des Differentialdrucks der Luft ^a	4.2.1	B.1	C.1
Strömungsprüfung ^a	4.2.2	B.2	C.2
Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung	4.2.3	B.3	C.3
Prüfung der Erholzeit	4.2.4	B.4	C.4
Temperaturprüfung	4.2.5	B.5	C.5
Prüfung der Luftfeuchte	4.2.6	B.6	C.6
Leckprüfung am eingebauten Filtersystem	4.2.7	B.7	C.7
Leckprüfung der Abschließung	4.2.8	B.8	C.8
Elektrostatische Prüfung und Überprüfung von Ionengeneratoren	4.2.9	B.9	C.9
Prüfung der Partikelsedimentation	4.2.10	B.10	C.10
Entmischungsprüfung	4.2.11	B.11	C.11
^a Dies ist eine erforderliche Prüfung auf der Grundlage von ISO 14644-2.			
^b Diese Hilfsprüfungen werden nicht in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit aufgeführt. Grundlage der Prüfungsabfolge können die Anforderungen eines speziellen Schriftstücks oder eine Vereinbarung zwischen Kunden und Lieferanten sein.			

4.2 Kurzbeschreibung

4.2.1 Prüfung des Differentialdrucks der Luft

Zweck der Prüfung des Differentialdrucks der Luft ist die Nachprüfung der Fähigkeit des Reinraumsystems, den festgelegten Differenzdruck zwischen der Anlage und ihrer Umgebung zu halten. Die Prüfung des Differentialdrucks der Luft sollte durchgeführt werden, nachdem die Anlage die Abnahmekriterien hinsichtlich Luftströmungsgeschwindigkeit oder Luftvolumenstrom, Gleichförmigkeit der Strömung 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 Bestimmung des Volumenstroms der Zuluftströmung in einem Reinraum mit turbulenter Mischströmung und der Verteilung der Luftgeschwindigkeiten in einem Reinraum mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung durchgeführt. Im typischen Fall wird entweder die Luftströmungsgeschwindigkeit oder der Luftvolumenstrom geprüft, und die Ergebnisse dürfen nur in jeweils einem dieser Formate vorliegen: mittlere Geschwindigkeit oder Gesamtluftvolumenstrom. Der Gesamtluftvolumenstrom darf seinerseits zur Bestimmung der Luftwechselzahl (Luftwechsel je Stunde) bei einer Anlage mit turbulenter Mischströmung verwendet werden. Die Luftgeschwindigkeit wird in Reinräumen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung bestimmt. Die Verfahren für die Strömungsprüfung werden in B.2 angegeben.

4.2.3 Prüfung der Luftströmungsrichtung und Sichtbarmachung der Strömung

Diese Prüfung dient der Bestätigung der Luftströmungsrichtung oder des Strömungsmusters oder beider hinsichtlich der Festlegungen für Gestaltung und Leistung. Falls erforderlich, können auch räumliche Merkmale der Luftströmung in der Anlage überprüft 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 die Anlage 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 Anlagen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung nicht empfohlen. Das Verfahren für diese Prüfung wird in B.4 angegeben. Bei Verwendung eines künstlichen Aerosols sollte das Risiko einer Restkontamination der Anlage berücksichtigt werden.

4.2.5 Temperaturprüfung

Diese Prüfung dient dem Nachweis der Fähigkeit des luftführenden Systems des Reinraums, die Lufttemperatur innerhalb des geprüften Bereichs über den vom Kunden festgelegten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen konstant zu halten. Verfahren für diese Prüfungen werden in B.5 angegeben.

4.2.6 Prüfung der Luftfeuchte

Diese Prüfung dient dem Nachweis der Fähigkeit des luftführenden Systems des Reinraums, die Luftfeuchte (angegeben als relative Feuchte oder Taupunkt) innerhalb des jeweiligen geprüften Bereichs über den vom Kunden festgelegten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen konstant zu halten. 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 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). 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. Zwei verschiedene Techniken 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 Potenzials an Gegenständen, der antistatischen Eigenschaften von Werkstoffen und der Leistungsfähigkeit von Ionengeneratoren (d.h. Ionisatoren), die in Anlagen 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 Messung der Oberflächenkonzentration (Partikelverteilung), der Menge (Anzahl oder Masse) oder der Auswirkungen (Lichtstreuung oder Flächenbedeckung) von Partikeln, die auf Oberflächen mit beliebiger Ausrichtung abgelagert werden. Einige 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) Nummer und Veröffentlichungsjahr dieses Teils von ISO 14644, d. h. ISO 14644-3: Datum der aktuellen Ausgabe;
- 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) 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

Die in diesem Teil von ISO 14644 beschriebenen Prüfverfahren dürfen zum Nachweis der Übereinstimmung mit den Leistungskriterien einer vom Nutzer festgelegten Anlage sowie zur regelmäßigen Überprüfung angewendet werden.

Die Auswahl und Abfolge von Prüfungen sollte im Voraus zwischen dem Kunden und dem Lieferanten abgestimmt werden und so sein, dass vergebliche Bemühungen bei Auftreten einer Nichterfüllung der Anforderungen auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden.

A.2 Checkliste für die Prüfung

Tabelle A.1 ist eine Checkliste für Prüfverfahren und Geräte. Einzelheiten der Abfolge der Prüfungen sollten nach Absprache zwischen Kunden und Lieferanten entschieden werden.

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.1.1	
				Schrägrohrmanometer	C.1.2	
				mechanisches Differentialdruckmessgerät	C.1.3	
	Luftströmung	B.2			C.2	
	Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit innerhalb des Reinsraums oder reinen Bereichs (in einer Anlage mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.2		Hitzdrahtanemometer	C.2.1.1	
				Ultraschallanemometer , dreidimensional oder gleichwertig	C.2.1.2	
				Flügelrad-Anemometer	C.2.1.3	
				Rohranordnung	C.2.1.4	
	Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms (in einer Anlage mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.3		Hitzdrahtanemometer	C.2.1.1	
				Ultraschallanemometer , dreidimensional oder gleichwertig	C.2.1.2	
				Flügelrad-Anemometer	C.2.1.3	
				Rohranordnung	C.2.1.4	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Messung des Zuluftvolumenstroms aus der Geschwindigkeit an der Filterfläche (in einer Anlage mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.4		Hitzdrahtanemometer	C.2.1.1	
				Ultraschallanemometer , dreidimensional oder gleichwertig	C.2.1.2	
				Flügelrad-Anemometer	C.2.1.3	
				Rohranordnung	C.2.1.5	
	Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen (in einer Anlage mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung)	B.2.2.5		Lochplatten-Messgerät	C.2.2.2	
				Venturi-Messgerät	C.2.2.3	
				Pitot-Rohre und Manometer	C.2.1.4	
				Hitzdrahtanemometer	C.2.1.1	
	Messung des Zuluftvolumenstroms am Einlass (in einer Anlage mit turbulenter Mischströmung)	B.2.3.2		Volumenstrommesshaube mit Messgerät	C.2.2.1	
	Messung des Zuluftvolumenstroms durch die Geschwindigkeit an der Filterfläche (in einer Anlage mit turbulenter Mischströmung)	B.2.3.3		Hitzdrahtanemometer	C.2.1.1	
				Ultraschallanemometer , dreidimensional oder gleichwertig	C.2.1.2	
				Flügelrad-Anemometer	C.2.1.3	
	Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen (in einer Anlage mit turbulenter Mischströmung)	B.2.3.4		Lochplatten-Messgerät	C.2.2.2	
				Venturi-Messgerät	C.2.2.3	
				Pitot-Rohre und Manometer	C.2.1.4	
				Hitzdrahtanemometer	C.2.1.1	
	Luftströmungsrichtung und Strömungssichtbarmachung	B.3		Tracersubstanzen	C.3.1	
				Hitzdrahtanemometer	C.3.2	
				Ultraschallanemometer , dreidimensional	C.3.3	
				Aerosolgenerator	C.3.4	
				Ultraschallvernebler	C.3.4.1	
				Vernebler	C.3.4.2	
	Erholzeit	B.4		Streulicht-Einzelpartikelzähler (DPC)	C.4.1	
				Aerosolgenerator	C.4.2	
				Ausgangssubstanzen für Aerosole	C.4.3	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.4.4	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Temperatur	B.5			C.5	
	Temperaturprüfung, allgemein	B.5.2.1		Ausdehnungsthermometer	C.5	
				elektrisches Thermometer	C.5	
				Thermomanometer	C.5	
	umfassende Temperaturprüfung	B.5.2.2		Ausdehnungsthermometer	C.5	
				elektrisches Thermometer	C.5	
				Thermomanometer	C.5	
	Feuchte	B.6		Taupunkthygrometer	C.6	
				Hygrometer für Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit	C.6	
	Leckprüfung am eingebauten Filtersystem	B.7			C.7	
	Leckprüfung der eingebauten Filtersysteme mit kontinuierlicher Abtastung durch ein Aerosolphotometer	B.7.2		Aerosolphotometer	C.7.1	
				Aerosolgenerator	C.7.3	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.7.4	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.7.5	
	Leckprüfung der eingebauten Filtersysteme mittels kontinuierlicher Abtastung durch einen DPC	B.7.3		Streulicht-Einzelpartikelzähler (DPC)	C.7.2	
				Aerosolgenerator	C.7.3	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.7.4	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.7.5	
	Gesamtprüfung von Lecks der in Luftleitungen oder luftführenden Geräten eingebauten Filter	B.7.4		Aerosolphotometer	C.7	
				Streulicht-Einzelpartikelzähler (DPC)	C.7.2	
				Aerosolgenerator	C.7.3	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.7.4	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.7.5	
	Leckprüfung der Abschließung	B.8			C.8	

Auswahl und Abfolge von Prüfungen ^a	Prüfverfahren	Prüfverfahren beschrieben in Abschnitt	Wahl des Prüfgeräts ^b	Gerät	Gerät beschrieben in Abschnitt	Bemerkungen
	Verfahren bei Verwendung eines Streulicht-Einzelpartikelzählers (DPC)	B.8.2.1		Streulicht-Einzelpartikelzähler (DPC)	C.8.1	
				Aerosolgenerator	C.8.2	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.8.3	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.8.4	
	Verfahren bei Verwendung eines Photometers	B.8.2.2		Aerosolgenerator	C.8.2	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.8.3	
				Photometer	C.8.5	
	elektrostatische Prüfung und Ionengenerator	B.9			C.9	
	elektrostatische Prüfung	B.9.2.1		elektrostatisches Voltmeter	C.9.1	
				Ohmmeter für große Widerstände	C.9.2	
				Plattenkondensator	C.9.3	
	Ionengenerator	B.9.2.2		elektrostatisches Voltmeter	C.9.1	
				Ohmmeter für große Widerstände	C.9.2	
				Plattenkondensator	C.9.3	
	Partikelsedimentation	B.10		Material der Vergleichsplatten	C.10.1	
				Wafer-Oberflächen-scanner	C.10.2	
				Partikelniederschlags-photometer	C.10.3	
				Zählgerät für Oberflächenpartikel	C.10.4	
				Partikelsedimentationsmessgerät	C.10.5	
				optischer Partikelsedimentationsmonitor	C.10.6	
	Mitrissprüfung	B.11		Streulicht-Einzelpartikelzähler (DPC)	C.11.1	
				Aerosolgenerator	C.11.2	
				Ausgangssubstanzen für Prüfaerosole	C.11.3	
				Verdünnungssystem, Apparat	C.11.4	

^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 Vorprüfungsbedingungen

Bei der Festlegung der Prüfreihefolge für die Leistung von Reinräumen sollte auf besondere Sorgfalt geachtet werden.

Die Ergebnisse jeder Reinraumprüfung können von der Einhaltung weiterer Vorbedingungen abhängig sein. Einige Vorbedingungen für die Prüfung des Differentialdrucks sind beispielsweise in B1.2 angegeben.

A.4 Leitfaden zu typischen Zeitintervallen für wiederkehrende Prüfungen

Die Auswahl der anwendbaren Prüfungen sollte auf Basis des Entwurfskonzepts und der Parameter zur quantitativen Bestimmung der konzeptionellen Effizienz erfolgen.

Folgende Prüfzeiträume sind definiert:

- a) bei der Installation: während des Inbetriebnahmeprozesses;
- b) bei der Neuqualifizierung:
 - 1) nach Erkennen und Beheben von Störungen;
 - 2) nach einer Modifikation: bei Änderungen an der Anlage, dem Reinraum und/oder bei Nutzungsänderungen oder im Fall geänderter Sollwerte für den Betrieb;
- c) wiederkehrende Nachprüfung (aufgeführt in Tabelle A.2).

ANMERKUNG 1 Im Rahmen einer Neuqualifizierung sollten die entsprechenden Prüfungen vor der Klassifizierung erfolgen, als Nachweis der Betriebsfähigkeit der Anlage gemäß Entwurf.

ANMERKUNG 2 Nach dem Austausch eingebauter Filter mit einem Wirkungsgrad $\geq 99,95\%$ (MPPS) sollte eine Prüfung des Zuluftvolumenstroms und eine Leckprüfung am eingebauten Filtersystem durchgeführt werden.

Zur Festlegung geeigneter Intervalle für wiederkehrende Prüfungen wird die Ausarbeitung einer Risikoanalyse empfohlen.

Mithilfe von Überwachungsdaten können die Zeitabstände für die anwendbaren Prüfungen geprüft werden.

Beim Festlegen der Zeitabstände für wiederkehrende Prüfungen wird die Orientierung an wiederkehrenden Klassifizierungsprüfungen nach ISO 14644-2 empfohlen.

Der folgende Leitfaden dient als Vorschlag für typische maximale Zeitabstände für wiederkehrende Prüfungen wichtiger Leistungsparameter für Reinräume oder reine Bereiche (sofern zutreffend), für den Fall, dass keine anderslautenden Überlegungen vorliegen.

Tabelle A.2 — Typische Prüfhäufigkeit

Art der gewählten Prüfung	Typischer Zeitraum für Nachprüfung
Druckdifferenzen	12 Monate
Zuluftvolumenstrom in turbulenter Mischströmung	12 Monate
Luftgeschwindigkeit in turbulenzarmer Verdrängungsströmung	12 Monate
Leck am eingebauten Filtersystem - Reinraum mit turbulenter Mischströmung	24 Monate
Leck am eingebauten Filtersystem - Reinraum mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung	12 Monate
Luftströmungsrichtung und Strömungssichtbarmachung	—
Reinheitserholungsrate	—
Leckprüfung der Abschließung	—
Partikelsedimentationsraten	—
Entmischungsprüfungen	—
Temperatur und Luftfeuchte	12 Monate
elektrostatische Prüfung und Ionengenerator	—
ANMERKUNG 1 Bei ausgewählten Prüfungen, die von einem kontinuierlichen Überwachungsprogramm überwacht werden, kann der Nachprüfungszeitraum neu bewertet werden.	
ANMERKUNG 2 Der typische Nachprüfungszeitraum beschränkt sich auf die Industrieanwendung.	
ANMERKUNG 3 Bei der Installation und Neuqualifizierung sollten alle Prüfungen (nach Bedarf) durchgeführt 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 der Anlage und ihrer Umgebung sowie zwischen den einzelnen Reinräumen und reinen Bereichen der Anlage aufrechtzuerhalten [15]. Diese Prüfung ist in allen drei genannten Betriebszuständen anwendbar und kann auch als Teil eines Routineüberwachungsprogramms der Einrichtung nach ISO 14644-2 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 innerhalb der Anlage 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;
- die Luftaufbereitungsanlage war in Betrieb, und die Bedingungen haben sich stabilisiert.

Die Druckdifferenzen zwischen jedem einzelnen Reinraum, reinen Bereich und dem/den verbundenen Nachbarraum (-räumen) sollte 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.1 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 Kunde und Lieferant 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) 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 die Reinraumanlage gelieferte Luftvolumen zu ermitteln, und dieser Wert kann auch verwendet werden, um die Luftwechselzahl je Zeiteinheit zu bestimmen. 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 Kunde und Lieferant vereinbart werden.

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

- a) unter Berücksichtigung der Luftstromgeschwindigkeit sollte die Sondenrichtung entsprechend gewählt werden;
- b) es sollte ein geeignetes Messgerät mit ausreichendem Ansprechvermögen gewählt werden, welches mindestens den Bereich zwischen minimaler und maximaler Augenblicksgeschwindigkeit der Luftströmungsturbulenz abdeckt;
- c) 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 [15].

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 und der Konstruktion der eingebauten Filterzelle ab. Die Mindestanzahl der Messpunkte (Rasterzellen) sollte unter Anwendung der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$N = \sqrt{10 \times A}$$

Dabei ist

- N die Mindestanzahl der Messpunkte (Rasterzellen; N sollte auf eine Ganzzahl aufgerundet werden);
 A die gemessene Fläche (m^2).

Wird die Durchschnittsgeschwindigkeit für eine Anlage (Reinraum oder reiner Bereich) benötigt, ist die Durchschnittsgeschwindigkeit für die Anlage anhand der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$V_a = \left(\sum V_n \right) / N$$

Dabei ist

- V_a die Durchschnittsgeschwindigkeit für die Anlage 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).

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

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

ANMERKUNG 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 Wird die Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms zu nahe an der Quelle gemessen, besteht das Risiko eines Messfehlers aufgrund der veränderlichen Verteilung der Luftströmung, verursacht durch Faltung der Filtermedien. Wird die Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms zu weit entfernt von der Quelle gemessen, scheint sich die Geschwindigkeit aufgrund von Turbulenzen zu verringern.

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

Die Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit kann gemäß B.2.2.2 oder wie zwischen Kunde und Lieferant vereinbart gemessen werden.

ANMERKUNG Wenn Produktionseinrichtungen und Arbeitstische installiert sind, ist es wichtig, das Auftreten bedeutsamer Schwankungen der Strömung festzustellen. Deshalb sollte die Messung der Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit nicht an Orten erfolgen, die nahe bei diesen Hindernissen liegen.

Es ist möglich, dass die gemessenen Daten nicht die Kennwerte der Reinraumanlage oder des reinen Bereichs selbst widerspiegeln. Die für die Bestimmung der Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit zu verwendenden Daten, d. h. Geschwindigkeit und entsprechende Schwankungen, sollten zwischen Kunde und Lieferant vereinbart werden.

$$\text{Uniformity} = [1 - (\text{SD}/\text{Ave})] \times 100[\%]$$

Dabei ist

- SD die Standardabweichung (en: standard deviation);
- Ave der Durchschnittswert aller Ablesungen (en: average);
- Max Dev gleich $[(V_d - \text{Ave})/\text{Ave}] \times 100 [\%]$;
- V_d die Ablesung mit der größten Abweichung gegenüber dem Mittelwert.

B.2.2.4 Zuluftvolumenstrom, berechnet mittels Geschwindigkeitsmessung

Die Ergebnisse der nach B.2.2.2 durchgeführten Prüfung der Geschwindigkeit der Luftströmung können verwendet werden, um den Gesamt-Zuluftvolumenstrom wie folgt zu berechnen:

$$Q = \sum (U_c \times A_c) \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

- Q der Gesamtluftvolumenstrom [m^3/s];
- U_c die Strömungsgeschwindigkeit im Zentrum jeder Zelle [m/s];
- A_c die Fläche der Zelle, definiert als Fläche der Anlage dividiert durch die Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) [m^2];
- $\sum$ 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. Diese möglichen Abweichungen sollten beim Durchführen dieser Prüfung berücksichtigt werden.

B.2.2.5 Berechnung des Zuluftvolumenstrom aus der Geschwindigkeitsmessung in Luftleitungen

Der Zuluftvolumenstrom in Luftleitungen kann mit volumetrischen Durchflussmessgeräten wie Lochplatten-Messgeräte, Venturi-Messgeräte und Anemometer gemessen werden, die in ISO 5167-1 bis ISO 5167-4 dargestellt sind [19], [20], [21], [22].

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 Kunde und Lieferant vereinbart, z. B. 9 oder 16. 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 EN 12599-2012 [10] 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. Dieser Unterschied ist bedingt durch Reinraumbedingungen, wie z. B. Turbulenzen, Verteilung der Geschwindigkeitsdaten im Falle der Geschwindigkeit an der Filterfläche, und Leitungsbedingungen, wie z. B. Druckpegel im Falle der Messung in Leitungen.

B.2.3 Verfahren zur Prüfung einer Anlage mit turbulenter Mischströmung

B.2.3.1 Allgemeines

Bei Anlagen mit turbulenter Strömung sind die wichtigsten zu beurteilenden Kennwerte der Zuluftvolumenstrom und die Luftwechselzahl. In einigen Fällen ist die Messung der Geschwindigkeit des Zuluftvolumenstroms an einzelnen Auslässen erforderlich, um den Luftvolumenstrom jedes Auslasses zu bestimmen [15].

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 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.

ANMERKUNG Eine Volumenstrommesshaube sollte zur Erzielung exakter Strömungswerte für den Auslastyp überprüft werden, da eine Vielzahl von Faktoren die mittels Volumenstrommesshaube erfassten Werte beeinflussen kann. Die Anwendung eines Korrekturfaktors sollte in Erwägung gezogen werden. Im Falle eines Luftauslasses mit (Drall-)Diffusoren kann die Volumenstrommesshaube an den Strömungstyp des Diffusors angepasst werden.

B.2.3.3 Berechnung des Zuluftvolumenstrom 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 Austrittsfläche bestimmt. Es darf eine Abschirmung verwendet werden, um Störungen der turbulenzarmen Verdrängungsströmung auszuschließen.

Betreffs der Anzahl der Messpunkte (Rasterzellen) und der Berechnung des Zuluftvolumenstroms wird auf B.2.2.3 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.

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. 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.2. 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 Kunde und Lieferant 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 Nennabstand 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 der Bestätigung, dass Luftströmungsrichtung und ihre Gleichmäßigkeit den Festlegungen für Gestaltung und Leistung entsprechen und, falls erforderlich, der Bestätigung der räumlichen und zeitlichen Kenngrößen der Luftströmung in der Anlage.

ANMERKUNG Rechnergestützte Fluiddynamik (en: Computational Fluid Dynamics, CFD) wird in diesem Teil von ISO 14644 nicht als Werkzeug zur Prognose oder Analyse berücksichtigt.

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 in der Anlage tatsächlich durch die Verwendung von faserförmigen Tracerfäden oder Tracerpartikeln sichtbar gemacht. Die Profile werden auf Vorrichtungen wie Videokameras, chemisch zu bearbeitenden Filmen, Speicherplatten oder -bändern 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 in der Anlage 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 Die Luftströmung wird durch andere Parameter wie Luftdruckunterschiede, Luftgeschwindigkeit und Temperatur beeinflusst.

ANMERKUNG Techniken zur Strömungssichtbarmachung wie Tracerinjektionsverfahren können zur Beurteilung der Luftverteilungseffektivität in Reinnräumen und reinen Bereichen mit turbulenter Mischströmung herangezogen 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, Wimpeln 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. Die Ablenkung der Luftströmung wird zwischen zwei Punkten (Beispiel 2 m bis 0,5 m) gemessen, um den Ablenkungswinkel zu berechnen.

B.3.3.2 Tracerinjektionsverfahren

Diese Prüfung geschieht durch Beobachtung oder Abbildung des Verhaltens von Tracerpartikeln, die durch hoch intensive Lichtquellen beleuchtet werden. Sie gibt Aufschluss über die Richtung und Gleichmäßigkeit der Luftströmung in Anlagen. 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, dürfen 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 Strömungssichtbarmachung 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 in der untersuchten Anlage 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.3, Tabelle B.1 und 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, die Anlage erneut zu reinigen.

Tabelle B.2 — Beleuchtungsquellen für die Strömungssichtbarmachung

Posten	Beschreibung
Verschiedene Lichtquellen zur kontrastreichen Beobachtung oder Abbildung von Luftströmungen	Glühlampe, Leuchtstofflampe, Halogenlampe, Quecksilberdampflampe, Laserlichtquellen (He-Ne-, Argon-Ionen-, YAG-Laser usw.) mit oder ohne Stroboskopvorrichtung oder Synchronisation an den Aufzeichnungsgeräten
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 Kunde und Lieferant sollten entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 5 die folgenden Angaben und Daten aufgezeichnet werden:

- a) Art der Prüfungen, Verfahren zur Strömungssichtbarmachung und Prüfbedingungen;
- b) Typbezeichnungen jedes verwendeten Messgeräts und dessen Kalibrierstatus;
- c) Lage der Punkte zur Strömungssichtbarmachung;

- d) 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 ist nur bei Anlagen mit turbulenter Mischströmung wichtig und wird nur für solche Anlagen empfohlen, denn die Aufreinigungsleistung ist eine Funktion des Umluftanteils, der geometrischen Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen, der thermischen Bedingungen und der Kenngrößen der Luftverteilung in einem Reinraumbereich. In einem System mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung hingegen wird die Kontamination durch die geregelte Luftströmung verdrängt, und die Erholzeit ist eine Funktion der örtlichen Bedingungen und des Abstands. Diese Messung sollte im Betriebszustand „Bereitstellung“ oder „Leerlauf“ an einer Anlage durchgeführt werden.

Bei der Verwendung von künstlich erzeugtem Aerosol sollte das Risiko einer Restverunreinigung der Anlage 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 die Partikelkonzentration im Reinraum oder reinen Bereich oder nachdem der Reinraum oder reine Bereich ursprünglich mit der Bereitstellung sauberer Luft begonnen hatte. Das ausgewertete Ergebnis sollte jeden Faktor berücksichtigen, der sich auf das Zeitintervall auswirken kann.

Zweck einer Bewertung anhand der Erholungsrate ist die Wiederherstellung der lokalen Fähigkeit zur Wiederherstellung der Reinheit, im Anschluss an einen vorübergehenden Anstieg die Partikelkonzentration in der Nähe des Messpunkts. Die Steigung einer abfallenden Kurve auf einer semilogarithmischen Aufzeichnung ist ein Hinweis auf eine derartige lokale Fähigkeit, und diese Einflussfaktoren auf die Aufreinigungsleistung lassen sich durch Auswertung der Steigung an jedem Kurvenpunkt analysieren.

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

B.4.3 Verfahren für die Prüfung der Erholzeit

B.4.3.1 Auswahl von Messpunkten

Die DPC-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 Kunde und Lieferant festgelegt werden. Ungünstig kann sich die Auswahl von Messorten in extrem sauberen Bereichen und/oder einer Ecklage erweisen.

B.4.3.2 Verfahren für die Prüfung der Erholzeit

Es sollte sorgfältig vorgegangen werden, um Koinzidenzfehler und eine mögliche Verunreinigung der Optik des DPC zu vermeiden. Vor der Prüfung ist die erforderliche Partikelkonzentration für die Erholzeitmessung zu berechnen. Falls die Konzentration die Höchstleistungsfähigkeit des verwendeten DPC überschreitet, so dass eine Koinzidenz auftritt, bieten sich folgende Möglichkeiten an: 1) Verdünnungssystem wird verwendet; oder 2) Konzentration wird zur Vermeidung einer Koinzidenz verringert; oder 3) Prüfung der Erholzeit wird durch Ermittlung der Reinheitserholungsrate (B.4.3.4) ersetzt.

Prüfverfahren:

- a) der Partikelzähler ist nach Anweisung des Herstellers und Kalibrierschein einzurichten;
- b) die für diese Prüfung verwendete Partikelgröße sollte nicht größer als $0,5\ \mu\text{m}$ sein. Es wird empfohlen, dass der vom DPC 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.

ANMERKUNG Das Ziel-Reinheitsniveau kann das Entwurfs-Reinheitsniveau sein oder aber ein Niveau, welches durch Prüfungen nach ISO 14644-1 im Betriebszustand „Leerlauf“ ermittelt wurde.

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 oder $100 \times$ Zielkonzentration erreicht (t_{10n} oder t_{100n});
- b) die Zeit und Konzentration werden aufgezeichnet, zu der die Partikelkonzentration das Ziel-Reinheitsniveau, (t_n) erreicht;
- 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 folgender Gleichung berechnet:

$$r = 2,3 \times \frac{1}{t_1} \log \left(\frac{C_1}{C_0} \right)$$

Dabei ist

r die Reinheitserholungsrate;

t_1 die verstrichene Zeit zwischen dem Durchlaufen der Konzentration von Punkt C_0 und C_1 ;

C_0 die höhere Konzentration;

C_1 die niedrigere Konzentration bei t_1 ;

- e) ist eine Messung der Konzentration an verschiedenen Zeitpunkten bis zur Wiederherstellung der Reinheit möglich, kann die Reinheitserholungsrate unter Anwendung des Verfahrens der kleinsten Quadrate ermittelt werden:
 - bei einer Messung werden durchschnittlich fünf bis zehn Werte für die Reinheitserholungsrate erhalten;
 - die Reinheitserholungsrate und die 100:1-Erholzeit können wie folgt zueinander in Beziehung gesetzt werden:

$$r = -2,3 \times \frac{1}{t_{0,01}} \log_{10} \left(\frac{1}{100} \right) = -2,3 \times \frac{1}{t_{0,01}} (-2) = 4,6 \times \frac{1}{t_{0,01}}$$

Dabei ist

r die Reinheitserholungsrate;

$t_{0,01}$ die 100:1-Erholzeit.

ANMERKUNG Da die Erholungsrate an einem bestimmten Messpunkt tatsächlich mit der Luftwechselrate (Anzahl der Luftwechsel pro Zeiteinheit) übereinstimmt, können durch mehrere Messorte für die Erholungsrate Daten gesammelt werden, mit denen eine Effizienz der Luftwechselrate für das System im gesamten Reinraum oder reinen Bereich bewertet werden kann.

Daher sollte im Hinblick auf die Erzielung vergleichbarer Werte für diesen Parameter während der Prüfung diese Differenz (ΔT) gemessen und der Wert im Prüfbericht angegeben 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.4 beschrieben;
- Einzelpartikelzähler (DPC) mit Zählwirkungsgrad wie in C.7 beschrieben;
- Verdünnungssystem, falls erforderlich, wie in C.4.3 beschrieben.

B.4.5 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunde und Lieferant 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 dem Nachweis der Fähigkeit des luftführenden Systems der Anlage, die Lufttemperatur innerhalb des jeweiligen geprüften Bereichs über den zwischen Kunde und Lieferant vereinbarten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen konstant zu halten. Teile der in B.5 angegebenen Prüfverfahren sind aus IEST-RP-CC006.3 [15] angepasst worden. Es werden zwei Stufen von Prüfungen dargestellt. Bei der ersten, in B.5.2.1 beschriebenen, Prüfung handelt es sich um eine allgemeine Prüfung, die Abläufe festlegt, die sich für eine Vorprüfung einer Anlage im Zustand „Bereitstellung“ eignen. Weiterhin wird in B.5.2.2 eine umfassende Prüfung beschrieben, die in den Betriebszuständen „Leerlauf“ oder „Fertigung“ angewendet werden kann. Diese zweite Prüfung eignet sich für Bereiche mit genauer einzuhaltenden Temperaturanforderungen.

B.5.2 Verfahren für die Temperaturprüfung

B.5.2.1 Allgemeine Temperaturprüfung

Diese Prüfung wird nach Abschluss der Prüfungen der Gleichförmigkeit der Strömung und Einstellung der Regler des Luftaufbereitungssystems durchgeführt. Die Prüfung sollte bei voll funktionsfähiger Luftaufbereitungsanlage durchgeführt werden, wenn stabile Bedingungen vorliegen.

Der Temperatursensor sollte in jedem Bereich mit Temperaturregelung an mindestens einem Punkt angebracht werden, und es sollte ein ausreichender Zeitraum abgewartet werden, innerhalb dessen sich der Sensor stabilisieren kann.

Jeder Sensor sollte am vorgegebenen Ort in Höhe der Arbeitsfläche angebracht werden.

Nach Verstreichen ausreichender Zeit bis zur Stabilisierung des Sensors sollte die Temperaturablesung an jedem Ort aufgezeichnet werden.

Die Messungen sollten je nach Eignung für den Anwendungszweck durchgeführt werden.

B.5.2.2 Umfassende Temperaturprüfung

Diese Prüfung wird für Bereiche mit strengen Anforderungen an die Umgebungskontrolle empfohlen.

Die Prüfung sollte durchgeführt werden, wenn die Luftaufbereitungsanlage mindestens 1 h lang in Betrieb gewesen ist und sich die Bedingungen stabilisiert haben.

Der Arbeitsbereich sollte in ein Raster von gleichen Flächen aufgeteilt werden. Die einzelnen zu prüfenden Bereiche sollten zwischen Kunde und Lieferant vereinbart werden.

Es sollte an wenigstens zwei Punkten pro Reinraum oder reinem Bereich gemessen werden.

Die Temperatursonde sollte in Höhe der Arbeitsfläche in einem Abstand von mindestens 300 mm von Decke, Wänden oder Boden der Anlage angebracht werden.

Bei der Auswahl des Aufstellungsortes der Sonden sollten vorhandene Wärmequellen berücksichtigt werden.

Die Messungen sollten je nach Eignung für den Anwendungszweck durchgeführt werden und die Messzeit sollte zwischen Kunde und Lieferant vereinbart werden.

Es kann auch eine gleichzeitige Messung der Punkte erforderlich sein (wie zwischen Kunde und Lieferant vereinbart).

B.5.3 Messgeräte für die Temperaturprüfung

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

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

Für das Gerät sollte ein gültiger Kalibrierschein vorliegen.

B.5.4 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunde und Lieferant 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) Lage der Messpunkte;
- d) Betriebszustand oder -zustände;
- e) Messergebnis und
- f) sonstige für die Messung wesentliche Daten.

B.6 Prüfung der Luftfeuchte

B.6.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient dem Nachweis der Fähigkeit des luftführenden Systems der Anlage, die Luftfeuchte (angegeben als relative Feuchte oder Taupunkt) innerhalb des jeweiligen geprüften Bereichs über den zwischen Kunde und Lieferant vereinbarten Zeitraum innerhalb der Regelgrenzen konstant zu halten. Teile des in B.6 angegebenen Prüfverfahrens sind aus IEST-RP-CC006.3 [15] angepasst worden.

B.6.2 Vorgehensweise zur Prüfung der relativen Feuchte

Die Prüfung wird nach Abschluss der Prüfungen der Gleichförmigkeit der Strömung und Einstellung der Regler des Luftaufbereitungssystems durchgeführt.

Die Prüfung sollte bei voll funktionsfähiger Luftaufbereitungsanlage durchgeführt werden, wenn stabile Bedingungen vorliegen.

Der Feuchtesensor sollte in jedem Bereich mit Feuchteregelung an mindestens einem Punkt angebracht werden, und es sollte ein ausreichender Zeitraum abgewartet werden, innerhalb dessen sich der Sensor stabilisieren kann.

Die Messungen sollten je nach Eignung für den Anwendungszweck durchgeführt werden und die Messzeit sollte zwischen Kunde und Lieferant vereinbart werden.

ANMERKUNG Die Prüfung der relativen Feuchte sollte gleichzeitig mit der Temperaturprüfung durchgeführt werden.

B.6.3 Geräte für die Feuchteprüfung

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

Typische Sensoren sind:

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

B.6.4 Prüfberichte

Nach Vereinbarung zwischen Kunde und Lieferant 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;
- d) Lage der Messpunkte;
- e) Betriebszustand oder -zustände;
- f) Messergebnis;
- g) sonstige für die Messung wesentliche Daten.

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. Dieser Teil von ISO 14644 befasst sich nicht mit Sicherheitsaspekten, die mit diesen Verfahren zusammenhängen. Das Konsultieren und die Anwendung geeigneter Sicherheitspraktiken, Risikobeurteilungen und etwaiger gesetztmäßig festgelegter Einschränkungen vor der Anwendung dieses Teils von ISO 14644 liegen in der Verantwortung des Anwenders.

B.7.1 Allgemeines

B.7.1.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Bestätigung des korrekten Einbaus des Filtersystems und dass während des Betriebs keine Lecks entstanden sind. Teile der in B.7 angegebenen Prüfverfahren sind aus IEST-RP-CC034.4 [18] angepasst worden. Die Dichtheitsprüfung verifiziert das Nichtvorhandensein von Lecks, das für die Reinheit der Anlage wesentlich ist. Sie kann angewendet werden für Filter in Anlagen mit einem Mindest-Gesamtwirkungsgrad größer oder gleich 99,95 % (MPPS). Zur Prüfung wird rohluftseitig von den Filtern ein Prüfaerosol aufgegeben, und unmittelbar reinluftseitig der Filter und Halterahmen oder in reinluftseitig gelegenen Luftleitungen werden Proben genommen. Bei dieser Prüfung handelt es sich um eine Dichtheitsprüfung des gesamten eingebauten Filtersystems einschließlich der Filtermedien, des Rahmens, der Dichtung und des Gittersystems. Die Dichtheitsprüfung für eingebaute Filtersysteme sollte nicht verwechselt werden mit der Prüfung des Wirkungsgrades einzelner Filter am Herstellungsort. 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 endständigen Filter 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 nachstehend beschriebenen Prüfungen dürfen entweder unter Verwendung eines Aerosolphotometers (B.7.2) oder eines DPC (B.7.3) durchgeführt werden. Die nach diesen zwei Verfahren ermittelten Ergebnisse sind nicht unmittelbar vergleichbar.

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 und/oder mit Aerosolinjektionspunkten im Luftleitungsverteilsystem, die die Erreichung der geforderten hohen beaufschlagenden Aerosolkonzentrationen ermöglichen;
- 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 Bekanntermaßen erzeugt das Verfahren unter Verwendung eines Aerosolphotometers im Vergleich mit dem Verfahren unter Verwendung eines DPC das 100- bis 1 000fache der Aerosolkonzentration.

B.7.1.3 Verfahren bei Verwendung eines Einzelpartikelzählers (DPC)

Das DPC-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.

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 bis B.7.2.5 enthalten, das Prüfverfahren selbst in B.7.2.6 Abnahmekriterien und Wiederherstellungsmaßnahmen sind in B.7.2.7 und B.7.6 enthalten [14], [15] [18].

B.7.2.2 Auswahl des rohluftseitig aufzugebenden Aerosols

Zur Erreichung der geforderten homogenen Beaufschlagungskonzentration sollte zu dem natürlich vorliegenden Aerosol rohluftseitig der Filter ein mittels Laskin-Düse, Thermogenerator o. ä. künstlich erzeugtes Aerosol zugegeben werden. Bei dieser Art der Erzeugung wird der Partikeldurchmesser üblicherweise bei einem Massenmedianwert (MMD) zwischen $0,5\ \mu\text{m}$ und $0,7\ \mu\text{m}$ liegen, wobei die geometrische Standardabweichung bis zu 1,7 beträgt.

ANMERKUNG Eine Anleitung zu Ausgangssubstanzen für Aerosole findet sich in C.7.4.

B.7.2.3 Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig und deren Nachprüfung

Die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig des Filters sollte zwischen $10\ \text{mg}/\text{m}^3$ und $100\ \text{mg}/\text{m}^3$ liegen.

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 Kunde und Lieferant vereinbart werden.

ANMERKUNG Die Berücksichtigung von Veröffentlichungen wie ASME N510-1989 [1] und IEST-RP-CC034.4.2016 [18] kann auch sinnvoll sein.

B.7.2.4 Festlegung der Sondengröße

Die Einlassgröße der Probenahmesonde sollte unter Berücksichtigung des Probenahmenvolumenstrom des Messgeräts und der Luftströmungsgeschwindigkeit am Filterauslass in der Weise berechnet werden, dass die Luftgeschwindigkeit am Sondereinlass der Luftströmungsgeschwindigkeit am Filterauslass nahe kommt. Die zur Probenahme verwendete Sonde sollte quadratisch oder rechteckig sein. Die Verteilung der Einlassgeschwindigkeit sollte sorgfältig berücksichtigt werden [18].

$$D_p = \frac{q_{va}}{U \times W_p}$$

Dabei ist

- D_p die Sondenabmessung parallel zur Abtastrichtung, in Zentimeter [cm];
 q_{va} der tatsächliche Probenahmevervolumenstrom des Messgeräts, in Kubikzentimeter je Sekunde [cm³/s];
 U die Luftströmungsgeschwindigkeit am Filterauslass, in Zentimeter je Sekunde [cm/s];
 W_p die Sondenabmessung senkrecht zur Abtastrichtung, in Zentimeter [cm].

ANMERKUNG Die Luftgeschwindigkeit sollte betragen:

$$(U + 20 \%) \geq U_s \geq (U - 20 \%)$$

auch ausgedrückt als:

$$1,2 U \geq U_s \geq 0,8 U$$

Dabei ist

- U die Luftstromgeschwindigkeit am Filterauslass;
 $U_s = \frac{q_{va}}{D_p \times W_p}$ die Luftgeschwindigkeit am Sondereinlass.

B.7.2.5 Bestimmung der Abtastgeschwindigkeit

Die Abtastgeschwindigkeit S_r der Sonde sollte etwa $15/W_p$ cm/s [18] betragen. So ist zum Beispiel bei Verwendung einer quadratischen Sonde von $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ $S_r = 5 \text{ cm/s}$.

B.7.2.6 Verfahren für die Leckprüfung an eingebauten Filtersystemen mittels kontinuierlicher Abtastung

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) die Prüfung auf Luftstromgeschwindigkeit (B.2) für die Erstbeurteilung sollte vor Durchführung dieser Prüfung erfolgen;

ANMERKUNG Wird die Anlage an Orten mit anderen Volumenstrombedingungen betrieben, sollte für diese Prüfung der höchste Wert gewählt werden.

- b) es sollten zuerst Messungen am Aerosol rohluftseitig der Filter nach B.7.2.3 vorgenommen werden, um die Aerosolkonzentration und auch die Homogenität seiner Verteilung nachzuprüfen;
- c) die Sonde sollte dann mit einer Abtastgeschwindigkeit bewegt werden, die den in B.6.2.5 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;
- d) 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;

- e) Messungen des Aerosols rohluftseitig der Filter sollten in geeigneten Zeitabständen während und nach der Leckabastung wiederholt werden, um zu bestätigen, dass die Konzentration der Aerosolbeaufschlagung stabil ist (siehe B.7.2.3).

B.7.2.7 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 Photometer aufrechterhalten wird.

Nominallecks werden als vorhanden angesehen, wenn eine Anzeige von mehr als 0,01 % der Konzentration der Aerosolbeaufschlagung rohluftseitig auftritt. Es dürfen zwischen Kunde und Lieferant alternative Abnahmekriterien vereinbart werden.

Zu Maßnahmen zur Beseitigung erkannter Lecks siehe B.7.6.

ANMERKUNG Unterschiedliche Kriterien für Nominallecks für das Durchtreten durch Filter und/oder die Ansprechzeit des Photometers müssen möglicherweise berücksichtigt werden, siehe IEST-RP-CC034.4 [18].

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

B.7.3.1 Allgemeines

Vorbereitende Schritte sind in B.7.3.2 bis B.7.3.5 enthalten, das Prüfverfahren selbst in B.7.3.6. Abnahmekriterien und Wiederherstellungsmaßnahmen sind in B.7.3.6, B.7.3.7 und B.7.6 enthalten.

Das Herangehen dieses In-situ-Prüfverfahrens für Lecks in Filtern in zwei Stufen bietet Genauigkeit und Schnelligkeit:

- a) die saubere Seite des Filters sollte auf ein mögliches Leck abgetastet werden. Während des Ab tastens mit dem DPC zeigt der Nachweis einer höheren als der akzeptablen Zahl für die jeweiligen Prüfbedingungen C_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 C_a und T_s ist in B.7.3.5 beschrieben;
- b) 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 DPC zeigt der Nachweis einer höheren als der akzeptablen Zahl für die jeweiligen Prüfbedingungen (C_{ar}) in der verlängerten Verweilzeit T_r das Vorhandensein eines Lecks an. Die Bestimmung von C_{ar} und T_r ist in B.7.3.6 beschrieben.

B.7.3.2 Auswahl des rohluftseitig aufzugebenden Aerosols

Zur Erreichung der geforderten homogenen Beaufschlagungskonzentration sollte zu dem natürlich vorliegenden Aerosol rohluftseitig der Filter ein künstlich erzeugtes polydisperses oder atmosphärisches Aerosol zugegeben werden. Bei dieser Art der Erzeugung wird der Partikeldurchmesser üblicherweise bei einem Mediandurchmesser der gezählten Partikel (CMD) zwischen 0,1 µm und 0,5 µm liegen, wobei die geometrische Standardabweichung bis zu 1,7 beträgt.

ANMERKUNG Eine Anleitung zu Ausgangssubstanzen für Aerosole findet sich in C.7.4.