

---

## **Prüfung von Schwebstofffiltern beim Hersteller und in situ beim Anwender**

**Dipl.-Ing. Thomas Schroth  
Dr.-Ing. Thomas Caesar**

**Vortrag anlässlich  
4. CLEANROOMS Europe  
Internationale Konferenz für Reinraumtechnologie  
26. – 27. Juni 2001, Frankfurt  
Veröffentlicht in  
GIT ReinRaumTechnik, Oktober 2001, Seiten 24 - 31**

## ■ 1. Einleitung

Mit Inkrafttreten der neuen Norm EN 1822 "Schwebstofffilter" wurde auf europäischer Ebene ein für die Reinraumtechnik wichtiger Schritt vollzogen. Die fünf Teile umfassende EN 1822 definiert für Schwebstofffilter wesentliche Charakteristika wie Klassifikation, Leistungsprüfung, Lecksuche und Abscheidegradbestimmung. Mit geeigneten Meßgeräten und Prüfaerosolen ist es gemäß EN 1822 möglich, die wichtigsten Parameter eines Schwebstofffilters (Druckdifferenz bei Nennvolumenstrom, Abscheidegrad im Abscheideminimum sowie ggfs. Leckfreiheit) unter definierten Bedingungen reproduzierbar zu messen. Sie leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur Beseitigung einer unübersichtlichen Vielfalt bei der Angabe des Abscheidegrades von Schwebstofffiltern.

Für viele Anwender von Schwebstofffiltern ist es darüber hinaus von großer Bedeutung, die Integrität und Eignung der eingesetzten Schwebstofffilter in eingebautem Zustand, also in situ, zu überprüfen. Während eine In-Situ-Prüfung der Schwebstofffilter in Industriezweigen wie Mikroelektronik, Lebensmittelherstellung, Mikrosystemtechnik u.a. für die Sicherstellung der gewünschten Produktqualität durchgeführt wird, ist eine Prüfung in der pharmazeutischen Industrie häufig sogar behördlich vorgeschrieben, um eine Gefährdung von Menschen auszuschließen. In vielen Praxisfällen hat sich herausgestellt, daß bei den Filteranwendern Informationsbedarf besteht, welche Filtereigenschaften in-situ sinnvoll nachgemessen werden können bzw. in welchen Fällen auf die nach EN 1822 ermittelten Werte des Filterherstellers zurückgegriffen werden sollte.

## ■ 2. Die Schwebstofffilterprüfung beim Hersteller

Die Leistungsdaten eines Schwebstofffilters werden in einem speziell für diese Messungen geeigneten Prüfstand gemäß EN 1822 ermittelt. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um

- ▶ Druckdifferenz bei Nennvolumenstrom,
- ▶ Gesamt-Abscheidegrad (integraler Abscheidegrad) gegenüber der Partikelgröße mit der höchsten Penetration (MPPS = Most Penetrating Particle Size) bei Nennvolumenstrom,
- ▶ Lokale Abscheidegrade gegenüber der Partikelgröße mit der höchsten Penetration (MPPS) bei Nennvolumenstrom,
- ▶ Leckfreiheit ab Filterklasse H13

Daraus resultiert die Zuordnung in eine Filterklasse von H10 bis U17 (siehe Tabelle 1). Die neue EN 1822 ersetzt nach europäischem Recht alle nationalen Prüfnormen für Schwebstofffilter wie beispielsweise BS 3928, DIN 24184 oder AFNOR NF X44-013. Wesentliche Neuerungen der EN 1822 sind der Einsatz moderner Partikelzähltechnik sowie die Bestimmung des Abscheidegrades im Abscheidegradminimum.

Alle Messungen werden im Neuzustand des Filters bei einem stets anzugebenden Nennvolumenstrom durchgeführt. Nachfolgend ist beispielhaft ein Prüfprotokoll zum Filtertest nach EN 1822 dargestellt (siehe Abbildung 2). Der zu prüfende Filter wird mittels verfahrbaren Aerosolaufgabedüsen und Meßsonden abgescannt, wobei eine Vielzahl lokaler Abscheidegrade bestimmt wird. Die lokalen Abscheidegrade sind aus der im Prüfprotokoll abgedruckten Grafik zu entnehmen. Insbesondere bei der Bestimmung des Abscheidegradminimums bzw. der Most Penetrating Particle Size (MPPS) handelt es sich um einen meßtechnisch sehr komplexen Vorgang. Für die Filterklassen H13 und H14 erlaubt die Norm alternativ die Durchführung des sogenannten Ölfadentests zur Leckprüfung, d. h. der Filter wird nicht abgescannt.

Ab Filterklasse U15 ist die Bestimmung lokaler Abscheidegrade (Scan-Test) vorgeschrieben. Häufig wird zwischen Anwender und Filterhersteller auch schon für Filter der Klasse H14 ein solcher Scan-Test vereinbart. Für die anspruchsvollen Messungen sind bestimmte Rahmenbedingungen zwingend einzuhalten. Dies sind im Wesentlichen ein konstanter Prüfvolumenstrom, ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil der Luft über die Filteranströmfläche und eine zeitlich

Filterklasse	Integralwert		Lokalwert <sup>1)</sup>	
	Abscheidegrad [%]	Durchlaßgrad [%]	Abscheidegrad [%]	Durchlaßgrad [%]
H10	85	15	—	—
H11	95	5	—	—
H12	99,5	0,5	—	—
H13	99,95	0,05	99,75 <sup>2)</sup>	0,25 <sup>2)</sup>
H14	99,995	0,005	99,975 <sup>2)</sup>	0,025 <sup>2)</sup>
U15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
U16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025
U17	99,999995	0,000005	99,99999	0,0001

<sup>1)</sup> Zwischen Lieferer und Käufer können niedrigere Lokalwerte als die in der Tabelle angegebenen vereinbart werden.

<sup>2)</sup> Die Bewertung auf Leckfreiheit ist ggf. auch durch Anwendung des Ölfadentests möglich.

Tabelle 1 Filterklassen und Abscheidegrade nach EN 1822

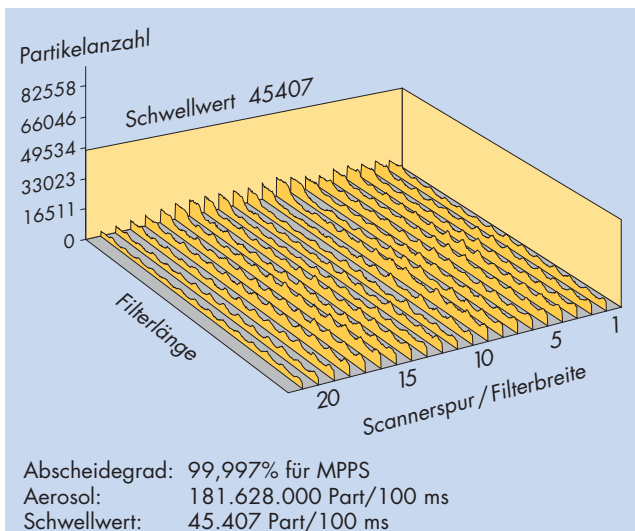


Abb. 2 Multi-Scan-Prüfprotokoll eines Schwebstofffilters Klasse H14 nach EN 1822.

und örtlich konstante Konzentration der Prüfpartikelgröße (MPPS). Aus statistischen Gründen ist eine genügend hohe Reingaskonzentration zu gewährleisten, um immer genügend Zählereignisse der Partikelzähler vorliegen zu haben. Damit unmittelbar verbunden ist die Rohgaskonzentration, die entsprechend hoch sein muß. Zur Messung der Rohgaskonzentration ist eine kalibrierte Verdünnungsstufe vorzusehen, um die meßtechnische Erfassbarkeit der Rohgaskonzentration mittels Kondensationskernzähler bzw. Laserpartikelzähler im für das Meßgerät geeigneten Konzentrationsbereich zu gewährleisten.

### 3. In-Situ-Filterprüfung

Die hier verkürzt beschriebenen Messungen des Herstellers am Schwebstofffilter können nur eingeschränkt auf eine Filterprüfung im eingebauten Zustand (in situ) übertragen werden, da die meisten Randparameter zur Messung des Gesamtabscheidegrades (integraler Abscheidegrad) als Mittelwert lokaler Abscheidegrade in aller Regel am Einbauort der Filter nicht ausreichend genau einstellbar sind.

Es ist demnach dem Anwender zu empfehlen, sich vom Hersteller bei entsprechendem Bedarf Einzelprüfprotokolle für die gelieferten Schwebstofffilter aushändigen zu lassen. Die Filter und die zugehörigen Prüfprotokolle müssen so gekennzeichnet sein (z.B. durch eine geeignete Nummerierung), daß eine eindeutige Zuordnung von Filter und Prüfprotokoll gewährleistet ist. Dem Prüfprotokoll eines Schwebstofffilters sollten alle relevanten Informationen über den Filter entnehmbar sein. Die wichtigsten Angaben sind die Spezifikationswerte, der Volumenstrom bei der Messung, die Druckdifferenz beim Prüfvolumenstrom, der gemessene Abscheidegrad für MPPS sowie die daraus abgeleitete Filterklasse.

Wird das Erreichen des Gesamtabscheidegrades und der lokalen Abscheidegrade gemäß Spezifikation seitens des Filterherstellers mit aussagefähigen Einzelprüfprotokollen dokumentiert, stellt sich für den Anwender die Aufgabe sicherzustellen, daß die eingebauten Filter nicht während Transport und Installation beschädigt wurden und dadurch Leckagen am Filter selbst oder an der Filterdichtung auftreten. Der korrekte Einbau und Dichtsitz im Filter-Aufnahmesystem ist ebenfalls zu überprüfen.

### 3.1 Aerosolerzeugung und Partikelmeßtechnik

Zunächst soll auf die Funktionsweisen und die Leistungsgrenzen der zur In-Situ-Messung verwendeten Geräte eingegangen werden. In aller Regel ist es notwendig, ein künstliches Aerosol zu erzeugen, um die Rohgaskonzentration vor dem Filter und die Reingaskonzentration hinter dem Filter ausreichend hoch einzustellen. Als Grundsubstanzen eignen sich ölige Chemikalien, die in bestimmter Weise zerstäubt werden. Die bekanntesten Substanzen sind DOP, DEHS (DOS) oder Emery 3004. Mittels eines Aerosolgenerators werden die Öle feinstzerstäubt und in den Prüfluftstrom gebracht. Ein großer Vorteil ist die Erreichung hoher Konzentrationen in einem relativ schmalen Partikelgrößenbereich. Die Lage des Häufigkeitsmaximums der Größenverteilung hängt von der Zerstäubungstechnik ab. Die weit verbreitete Laskin-Düse zerstäubt mittels Druck das Öl kalt und erreicht damit Partikelverteilungen mit einem Häufigkeitsmaximum bei ca. 0,65 µm. Eine zweite Methode der Aerosolerzeugung ist die Verdampfung des Öls durch Wärmeeinwirkung und anschließendem Auskondensieren. Die auskondensierten Öltröpfchen weisen eine Partikelgrößenverteilung zwischen 0,1 µm und 0,3 µm auf.

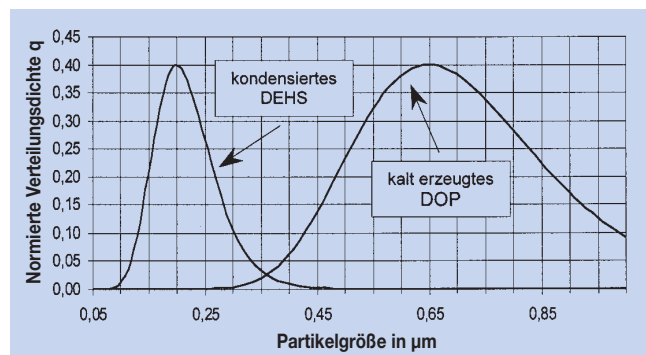


Abb. 3 Distributive Darstellung der relativen Häufigkeit der Partikelgrößenverteilungen zweier Prüfaerosole.

Abbildung 3 zeigt eine distributive Darstellung der relativen Häufigkeit zweier Partikelgrößenverteilungen, wie sie typischerweise bei kalt zerstäubtem Aerosol bzw. bei der Messung mit heiß erzeugtem DEHS vorliegen. Da Schwebstofffilter ihr Abscheideminimum meist im Partikelgrößenbereich zwischen 0,1 µm und 0,3 µm haben, ist der Abscheidegrad eines Filters gegenüber heiß erzeugtem Aerosol schlechter als gegenüber kalt erzeugtem Aerosol. Damit soll zunächst keine Wertung der beiden Verfahren zur Aerosol-Erzeugung verbunden sein. Die grundsätzliche Auswirkung auf das Meßergebnis ist jedoch beachtenswert, da die Lage des Häufigkeitsmaximums sowie die Breite der Partikelgrößenverteilung den zu messenden Abscheidegrad beeinflussen. Der roh- bzw. reingasseitige Nachweis der Partikel erfolgt entweder mit einem optischen Partikelzähler oder mit einem Photometer. Optische Partikelzähler bestimmen die Partikelanzahl in einem Probekörper pro Zeitintervall bezogen auf ein Partikelgrößenintervall. Zum Beispiel kann ein Meßergebnis 1.625 Partikel pro Kubikfuß und Minute im Größenintervall 0,3 µm bis 0,5 µm im Reingas und 32.500.000 Partikel im Rohgas sein. Damit wäre für das genannte Größenintervall von 0,3 µm bis 0,5 µm der Abscheidegrad des Filters 99,995%. Das Verhältnis von Rein- zu Rohgaskonzentration für dieses Größenintervall wird Durchlaßgrad des Filters genannt. Die Summe aus Durchlaßgrad und Abscheidegrad ergibt stets 100%. Eine im Labor ermittelte Abscheidegrad-Kurve eines H14-Schwebstofffilters bei Nennvolumenstrom ist in Abbildung 4 dargestellt.

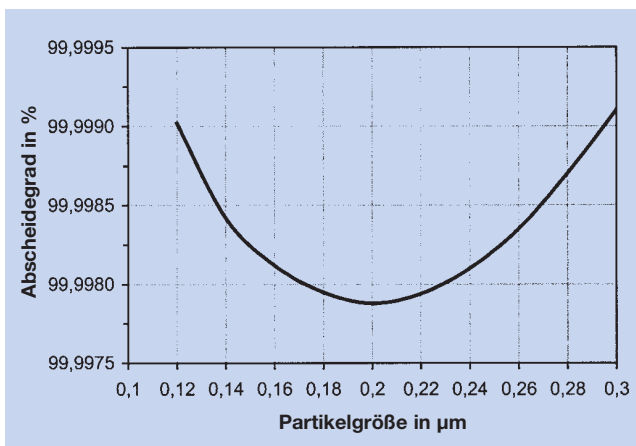


Abb. 4 Abscheidegrad-Kurve eines Schwebstofffilters der Klasse H14 nach EN 1822 bei Nennvolumenstrom.

Photometer dagegen bestimmen über ein Streulicht- oder Extinktionsverfahren die Massenkonzentration der Ölpartikel. Der Ausschlag des Zeigers am Photometer wird in der ausreichend hohen Rohgaskonzentration auf 100% kalibriert und der Zeigerausschlag im Reingas dazu ins Verhältnis gesetzt. Damit läßt sich ein prozentuales Verhältnis zwischen den Massenkonzentrationen im Roh- und Reingas angeben. Das Photometer läßt somit keine Aussage über Partikelanzahl und Größenverteilung zu. Photometer sollten nur für Leckprüfungen an Schwebstofffiltern bis einschließlich Klasse H13 nach EN 1822 verwendet werden, da für sehr hoch abscheidende Filter das Meßverfahren zu ungenau ist.

### 3.2 Normen und Richtlinien

Die europäischen Normen- und Richtlinienwerke kennen mehrere Dokumente, in denen Hinweise zum In-Situ-Test von Schwebstofffiltern gegeben werden. Das amerikanische Institute of Environmental Science and Technology (IEST) hat in der Reihe der Recommended Practices (RP) ebenfalls Aussagen zu diesen Tests veröffentlicht. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die erwähnten Richtlinien. In allen erwähnten Dokumenten wird auf die Notwendigkeit von In-Situ-Tests hingewiesen, um die Beschädigungsfreiheit und den korrekten, leckfreien Einbau der Schwebstofffilter sicherzustellen. Es werden keine Vorgaben zur Durchführung einer Abscheidegradmessung an den eingebauten Schwebstofffiltern geliefert. Die Richtlinie 4/8 der Eurovent-

Vereinigung weist sogar ausdrücklich darauf hin, daß die beschriebene Methodik zur Leckbestimmung an installierten Schwebstofffiltern geeignet ist, jedoch nicht zur Ermittlung des Abscheidegrades.

### 3.3 Praxisbeispiele zur Verdeutlichung der Leistungsgrenzen einer In-Situ-Messung

Anhand zweier ausgewählter Beispiele sollen Hinweise auf die Durchführung von Messungen an eingebauten Schwebstofffiltern und insbesondere die Interpretation der Meßergebnisse erarbeitet werden. Der Interpretation der Meßergebnisse kommt eine große Bedeutung zu, da eine Partikelmessung nicht genauer sein kann als es die Probenahme und die eingesetzten Meßgeräte zulassen.

Im ersten Beispiel werden Messungen an Kanal-Schwebstofffiltern betrachtet. Kanal-Schwebstofffilter sind in raumlufttechnischen Anlagen im Kanalsystem ähnlich wie Vorfilter (z.B. Taschenfilter oder Kassettenfilter) eingebaut und die reine Luft wird nach der Filtration über ein Kanalsystem ihrem Bestimmungsort zugeführt. Kanal-Schwebstofffilter müssen meist relativ große Luftmengen pro Anströmflächeneinheit bewältigen, um die Filtergehäuse in vertretbaren Größen zu halten und entsprechen häufig der Filterklasse H13 nach EN 1822. Für diese Filterklasse schreibt die EN 1822 einen Einzellecktest beim Filterhersteller vor, womit eine erneute Überprüfung der Leckfreiheit des Filters, des Aufnahmesystems sowie des Dichtsitzes nach Filtereinbau entsprechend sinnvoll ist.

Abbildung 5 zeigt einen typischen Meßaufbau für die Überprüfung eines Kanal-Schwebstofffilters. Das verwendete Meßgerät kann sowohl ein Partikelzähler als auch ein Photometer sein. Vor Beginn der Messungen ist zu überprüfen, ob die Roh- und Reingasseite des Filters ausreichend zugänglich und die Entnahmepunkte für die Meßprobe sinnvoll angeordnet sind. Bei der Messung der Rohgaskonzentration muß bei Verwendung von Partikelzählern überprüft werden, ob die vom Hersteller des Partikelzählers angegebene, maximale Partikelanzahlkonzentration nicht überschritten wird. Bei Überschreitung dieser Maximalkonzentration kommt es zu Koinzidenzfehlern, d.h. viele kleine Partikel werden als wenige große Partikel gemessen. Da auf der Reinfluftseite des zu prüfenden Filters die Partikelkonzentration wesentlich geringer ist, werden die kleinen Partikel dort korrekt gezählt und das Meßergebnis täuscht eine schlechtere Abscheideleistung des Filters vor. In der Regel muß aus diesem Grund die Rohgaskonzentration über eine zwischengeschaltete, kalibrierte Verdünnungsstufe

Norm bzw. Richtlinie	Titel	Gültigkeitsbereich	Aktuelle Fassung
VDI 2083, Teil 3	Reinraumtechnik – Meßtechnik in der Reinraumluf	Deutschland	Entwurf, Feb. 1993
Eurovent 4/8	Leckprüfung von Hochleistungs-Schwebstofffiltern im Einbauzustand in staubkontrollierten Bereichen	Europa	1. Auflage, Juni 1985
ISO 14644 – 3	Cleanrooms and Associated Controlled Environments – Metrology and Test Methods	Welt	Entwurf, Sept. 2002
IEST RP-CC034.1	HEPA and ULPA Filter Leak Tests	Nord-Amerika	Juli 1999
US Fed.Std. 209B	Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Clean Zones	Nord-Amerika	1973 (zurückgezogen 11/2001)
BS 5295	Environmental cleanliness in enclosed spaces	Großbritannien	1989

Tabelle 2 Normen- und Richtlinienwerke mit Hinweisen zur In-Situ-Messung von Schwebstofffiltern.

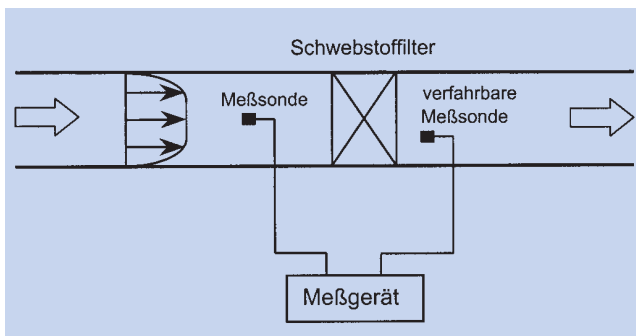


Abb. 5 Typischer Meßaufbau für die Überprüfung eines Kanal-Schwebstofffilters.

reduziert werden und erst dann wird die Luft dem Partikelzähler zugeführt.

Bei der beschriebenen Messung ist weiterhin auf die Lage des Entnahmepunktes im Kanal zu achten. Während es für die Bestimmung des statischen Druckabfalls über einen Luftfilter ausreichend ist, das Manometer direkt an ein Loch in der Wandung anzuschließen, muß für eine Partikelzähler- bzw. Photometermessung eine Meßsonde in den Luftstrom eingebracht werden. Es sollte vermieden werden, durch Randeffekte wie z.B. laminare Grenzschicht-Strömungen im Wandbereich die Meßergebnisse zu verfälschen. In Abbildung 5 ist zur Verdeutlichung das Geschwindigkeitsprofil der Luft in der Kanalströmung eingezeichnet.

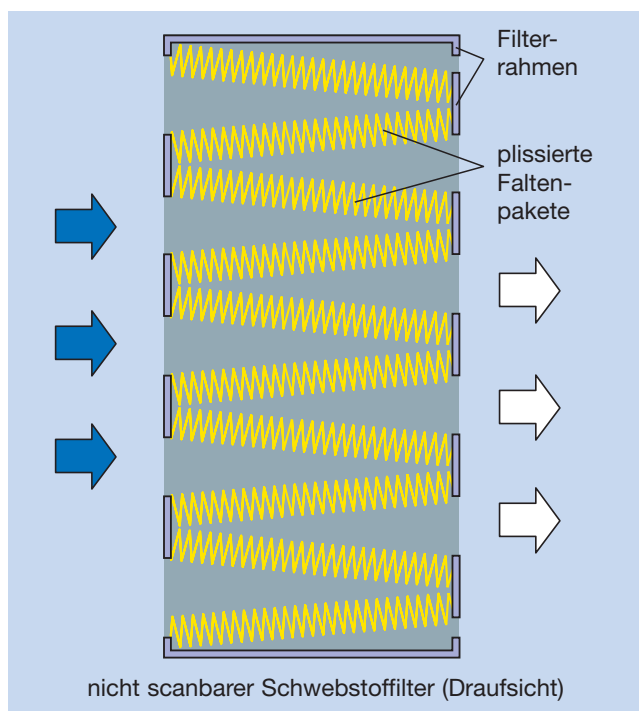
Reinluftseitig muß die gesamte Abströmfläche des Schwebstofffilters mit einer verfahrbaren Sonde abgefahren werden. Die Verfahrgeschwindigkeit sollte maximal 5 cm/s sein, um eine ausreichende Verweildauer der Meßsonde über einem eventuellen Leck sicherzustellen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß Schwebstofffilter mit V-förmig angeordneten plissierten Faltenpaketen nicht abgescannt werden können, da die Meßsonde nicht ausreichend nahe an ein eventuelles Leck in den Faltenpaketen herangebracht werden kann. Tiefgefaltete Schwebstofffilter mit

einem senkrecht zur Luftströmung stehenden Faltenpaket sind für ein Abscannen wesentlich besser geeignet. Die Problematik wird in Abbildung 6 verdeutlicht.

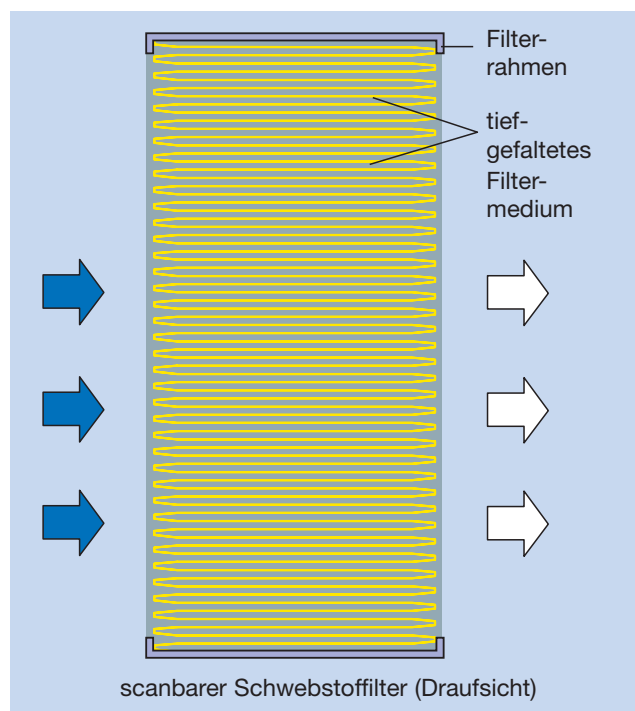
Für die Bestimmung sehr kleiner Partikel mit einem Durchmesser unterhalb  $0,5 \mu\text{m}$  ist es nicht unbedingt erforderlich, die Probe exakt isokinetisch zu entnehmen. Die Probenahme sollte jedoch nicht zu stark von den isokinetischen Bedingungen abweichen. Meßfehler infolge nicht isokinetischer Probenahme gewinnen mit zunehmender Partikelgröße an Bedeutung.

Letztlich sollen nochmals die grundlegenden Unterschiede von Partikelzähler- und Photometermessungen erwähnt werden. Partikelzähler bestimmen die Anzahlverteilung der Partikel, während mit Photometern die Massenverteilung ermittelt wird. Die Häufigkeitsmaxima der Anzahl- und der Massenverteilung liegen i.d.R. nicht bei der gleichen Partikelgröße. Große Partikel tragen einen großen Anteil zur Massenverteilung bei, da der Partikeldurchmesser mit der dritten Potenz in die Partikelmasse eingeht. Deshalb müssen bei einer Abscheidegradbestimmung Partikelzähler zwangsläufig andere Ergebnisse als Photometer erbringen. Für eine Leckbestimmung an H13-Kanalfiltern sind beide Meßmethoden geeignet, da hierzu lediglich eine im Verhältnis zur Rohgaskonzentration lokal zu hohe Reingaskonzentration festgestellt werden muß. Typische Lecks an Schwebstofffiltern verursachen üblicherweise eine um ein zig-faches höhere lokale Penetration, so daß ein Auffinden des Lecks gewährleistet ist.

Wie in Abbildung 7 gezeigt wird, soll im zweiten Beispiel der Meßaufbau für einen endständigen Schwebstofffilter, der z.B. in Deckenluftauslässen oder in Filterdecken von Laminar-Flow-Bereichen eingebaut ist, beschrieben werden. Endständige Schwebstofffilter entsprechen i.d.R. den Filterklassen H14, U15, U16 oder U17 nach EN 1822, seltener auch der Klasse H13. Aufgrund der geringeren Meßgenauigkeit von Photometern empfiehlt es sich, bereits ab Klasse H14, zwingend ab Klasse U15, Partikelzähler als Meßinstrumente einzusetzen. Anhand des Beispiels soll auf die Wichtigkeit



nicht scanbarer Schwebstofffilter (Draufsicht)



scanbarer Schwebstofffilter (Draufsicht)

Abb. 6 Schematische Darstellung eines Schwebstofffilters mit V-förmiger Anordnung der Faltenpakete (links) im Vergleich zu einem Schwebstofffilter mit tiefgefaltetem Filtermedium (rechts).

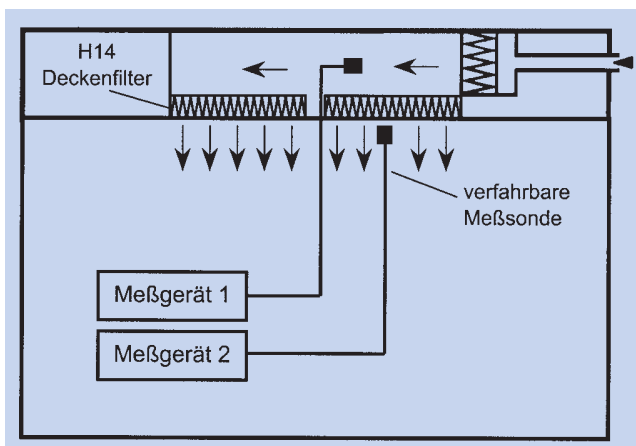


Abb. 7 Meßaufbau für endständige Schwebstofffilter der Klasse H14 nach EN 1822.

einer ausreichend hohen Rohgaskonzentration, der Verfahrgeschwindigkeit der Meßsonde beim reingasseitigen Abscannen eines Schwebstofffilters, des Probevolumenstroms von Partikelzählern und der statistischen Auswertung der Meßergebnisse eingegangen werden. Die Beachtung dieser Parameter gewinnt bei Messungen an Schwebstofffiltern höherer Filterklassen zunehmend an Bedeutung.

Der in Abbildung 7 gezeigte Schwebstofffilter der Klasse H14 nach EN 1822 hat eine Anströmfläche von 610 x 610 mm<sup>2</sup> und wird mit 600 m<sup>3</sup>/h Luft beaufschlagt. Rohgasseitig soll eine Konzentration von 35.300.000 Partikeln (z.B. DEHS-Partikel) der Größe 0,3 µm pro Kubikmeter Luft eingestellt werden. Die über eine zwischengeschaltete Verdünnungsstufe von 1:10 gemessenen Werte der Rohgaskonzentration schwanken ungefähr um diese Zielgröße. Mit einem zweiten, baugleichen Partikelzähler (ohne Verdünnungsstufe) wird die Reingaskonzentration simultan zur Rohgaskonzentration gemessen. Die beiden Partikelzähler verfügen über einen Probevolumenstrom von 28,3 l/min. bzw. 1 ft<sup>3</sup>/min. Gemäß den Vorschriften der in Kapitel 3.2 genannten, wichtigsten Richtlinien soll die Geschwindigkeit der Sonde beim Abscannen maximal 5 cm/s betragen. Die Dauer des Scanvorgangs in diesem Beispiel wurde daher auf 3 min. festgelegt, d.h. sowohl roh- als auch reinluftseitig wurden 84,9 l (3 ft<sup>3</sup>) als Probevolumen entnommen. Die Messungen wurden dreimal wiederholt. Die Ergebnisse der drei Messungen für die Partikelgröße 0,3 µm sind in der nachfolgenden Tabelle 3 dargestellt.

Aus diesen Meßergebnissen läßt sich zunächst eindeutig schließen, daß der geprüfte Schwebstofffilter dichtstehend eingebaut wurde und leckfrei ist. Im Falle einer Leckage wären die Penetrationswerte um mindestens eine Zehner-

potenz höher gewesen. Auf die Einhaltung des vom Hersteller angegebenen integralen Mindestabscheidegrades von 99,995% gegenüber MPPS zur Erfüllung der Klasse H14 nach EN 1822 kann anhand dieser Meßergebnisse nicht geschlossen werden. Dies soll, wie in Abbildung 8 gezeigt, anhand der statistischen Auswertung der Meßergebnisse erläutert werden. Auch hierbei wird die Bedeutung einer ausreichend hohen Rohgaskonzentration deutlich, um genügend Zählereignisse auf der Reingasseite zu erreichen. Aus den in Tabelle 3 dokumentierten Meßergebnissen resultiert nach Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung das in Abbildung 8 gezeigte 95%-Vertrauensintervall. Mit 95%iger Sicherheit liegt der tatsächliche Wert des Abscheidegrades innerhalb der gezeigten Bandbreite, die im Beispiel mit drei Messungen (Abb. 8 links) unterhalb des Abscheidegrades von 99,995% endet. Eine eindeutige Aussage für das Erreichen der Klasse H14 ist mit dieser Messung also nicht möglich. Wäre die Rohgaskonzentration beispielsweise um den Faktor 10 kleiner, so würde sich wegen der wenigen Zählereignisse auf der Reingasseite die Größe des 95%-Vertrauensintervalls deutlich erhöhen und ein Rückschluß auf den tatsächlichen Abscheidegrad wäre noch wesentlich weniger möglich. Eine in der Realität aus technischen Gründen nur schwer umzusetzende Erhöhung der Rohgaskonzentration bzw. eine Erhöhung der Anzahl der Messungen würde die Genauigkeit der Messung bzw. die statistische Sicherheit selbstverständlich verbessern. Im rechten Diagramm in Abbildung 8 ist dieser Sachverhalt verdeutlicht. Durch die Erhöhung der Anzahl der Messungen nimmt die Breite des Vertrauensintervalls ab. Die Absenkung der Verfahrgeschwindigkeit der reinluftseitigen Meßsonde auf unter 5 cm/s würde die Genauigkeit der Messung auf Kosten der Meßdauer ebenfalls verbessern. Die Verwendung von Partikelzählern mit geringerem Probevolumenstrom würde eine deutliche Verlängerung der Meßzeiten erfordern, da ansonsten wiederum zu wenig Zählereignisse auf der Reingasseite vorlägen.

Generell gilt für Messungen, daß der systematische Meßfehler – wie im Beispiel aus Tabelle 3 der Fall – nicht in der gleichen Größenordnung wie die ermittelten Werte liegen sollte. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Ursachen von systematischen Meßfehlern bei der Partikelzähler-Messung an eingebauten Schwebstofffiltern.

Für den Fall eines Lecks im Filter stellt sich die Situation bei den beschriebenen Messungen günstiger dar. Gemäß EN 1822 hat ein Schwebstofffilter der Klasse H14 dann ein Leck, wenn lokal der Abscheidegrad kleiner 99,975% ist. Dieser Wert liegt, wie aus Abbildung 8 zu entnehmen ist, deutlich unterhalb des 95%-Vertrauensintervalls. Sollte also lokal ein Abscheidegrad kleiner 99,975% gemessen werden, so liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit an dieser Stelle des Filters ein

Ergebnisse für Partikelgröße 0,3 µm	1. Messung Partikelanzahl in 84,9 l	2. Messung Partikelanzahl in 84,9 l	3. Messung Partikelanzahl in 84,9 l
Messung Rohgasseite	3296667	2547425	2847122
Messung Reingasseite	43	120	102
Berechnete Penetration	0,0013%	0,0047%	0,0036%
Berechneter Abscheidegrad	99,9987%	99,9953%	99,9964%

Tabelle 3 Ergebnisse von Partikelzählermessungen für die Partikelgröße 0,3 µm an endständigen Schwebstofffiltern der Klasse H14 nach EN 1822.

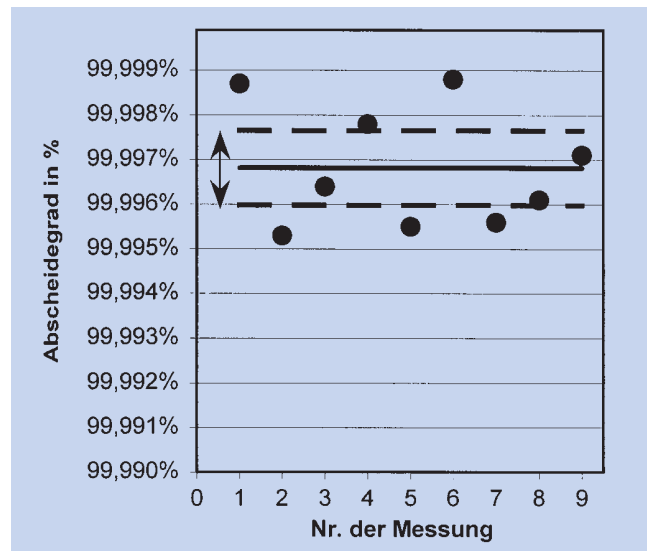
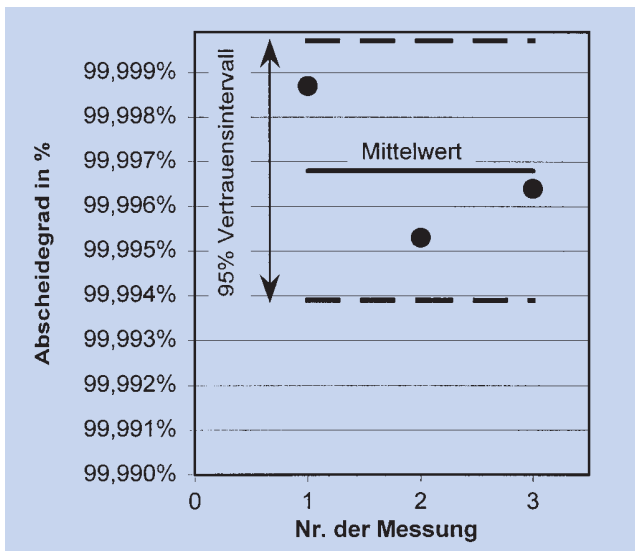


Abb. 8 Grafische Darstellung der Meßwerte aus Tabelle 3 mit Mittelwert und 95%-Vertrauensintervall (links) im Vergleich zu einer Messung mit neun Wiederholungen (rechts) wobei die ersten drei Werte mit den Werten in Tabelle 3 identisch sind.

Leck vor. Sollte der vom Filterhersteller angegebene Abscheidegrad um eine Zehnerpotenz, d.h. um eine Filterklasse, vom spezifizierten Wert abweichen, so ist das beschriebene Messverfahren bei sorgfältiger Durchführung ebenfalls geeignet, diese Spezifikationsabweichung nachzuweisen. Auch wenn das Beispiel anhand von Messungen an einem H14-Filter diskutiert wurde, gelten die getroffenen Aussagen analog für Messungen an Schwebstofffiltern der Klassen U15, U16 und U17 nach EN 1822. Es ist lediglich auf eine ausreichend hohe Rohgaskonzentration zu achten; d.h. die Abscheidegrad-Bestimmung wird noch problematischer, da die Anzahl der Zählereignisse auf der Reinfluftseite mit steigender Filterklasse abnimmt.

#### 4. Zusammenfassung

In der Reinraumtechnik werden üblicherweise für Schwebstofffilter ab Filterklasse H13 Abscheidegrad und Leckfreiheit mittels eines genormten Filtertests gemäß EN 1822 beim Hersteller überprüft und dokumentiert. Dem Anwender bietet sich bei sorgfältiger Durchführung von Messungen am eingebauten Filter (in-situ) die Möglichkeit, die Leckfreiheit mit hoher Sicherheit nachzuweisen. Für die

Überprüfung des Abscheidegrades am installierten Filter bietet die übliche Meßtechnik nur eingeschränkt verlässliche Möglichkeiten, da der systematische Meßfehler oftmals in der gleichen Größenordnung wie der Meßwert liegt. Es können deshalb vor Ort mit vertretbarem Meßaufwand nur gravierende Abweichungen von den spezifizierten Abscheidegraden des Filters nachgewiesen werden.

#### 5. Literaturhinweise

- Neben den in Tabelle 2 genannten Normen/Richtlinien empfiehlt sich auch die Lektüre folgender Publikationen:
- [1] *IEST-RP-CC006.2: Testing cleanrooms*, Institute of Environmental Science and Technology, April 1995.
  - [2] *EN 1822: Schwebstofffilter (HEPA und ULPA)*, Teile 1-5, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1998/2001.
  - [3] *EUROVENT 4/10: In situ determination of fractional efficiency of general ventilation filters*, EUROVENT/CECOMAF, 1st edition, Paris 1996.
  - [4] *Neue Schwebstofffilter für die Reinraumtechnik*, Schroth, Th., Swiss Contamination Control 8 (1995) Nr. 5, S. 5-14

Ursachen für systematische Meßfehler	Auswirkung auf das Meßergebnis
Ungleichmäßige Strömungsverteilung über die Filteranströmfläche mit lokal höheren Durchströmungsgeschwindigkeiten	Lokal höhere Partikelkonzentration auf der Reinfluftseite
Rohgaskonzentration örtlich und zeitlich schwankend	Reingaskonzentration örtlich und zeitlich schwankend
Simultan eingesetzte Partikelzähler zur Messung von Roh- und Reingaskonzentration messen nicht exakt gleich	Meßergebnisse sind um ca. +/- 5% ungenau

Tabelle 4 Systematische Meßfehler und ihre Auswirkungen.