

# Abscheidegradmessung von Filterelementen während des Betriebes (in situ) nach DIN EN 1822

Neues Verfahren entwickelt

**Hans Martinsteg, Claus Schweinheim, Dr. Peter Hausch** • YIT Germany GmbH, Dresden

**Korrespondenz:** Dr.-Ing. Peter Hausch, YIT Germany, Niederlassung Lüftungstechnische Sonderlösungen, Blasewitzer Str. 80, 01307 Dresden;

**e-Mail:** peter.hausch@yit.de

## Zusammenfassung

Filterelemente werden nicht selten über weite Strecken per Bahn, LKW, Flugzeug, Schiff bis zum Einsatzort transportiert. Betreiber hochmoderner BSL-3- und BSL-4-Laboratorien stellen sich immer häufiger die Frage, ob diese Filterelemente auch nach Anlieferung noch alle Qualitätsanforderungen gemäß DIN EN 1822 vollumfänglich erfüllen. Sind die Filterelemente in Betrieb, möchte ein Betreiber als nächstes wissen, ob nach einer bestimmten Betriebszeit alle Filter noch den entsprechenden Abscheidegrad garantieren. Hat das Filterelement vielleicht Lecks, die äußerlich zwar nicht erkennbar sind, aber sich womöglich auf den Abscheidegrad auswirken? Ideal wäre es, wenn ein Betreiber über ein kompaktes Messequipment verfügen würde, das es ihm gestattet, innerhalb nur weniger Minuten sowohl vor Inbetriebnahme als auch während des laufenden Filterbetriebes festzustellen, ob das Filterelement noch der zertifizierten Filterklasse entspricht oder ob es aus sicherheitsrelevanten Gründen ausgewechselt werden muss. Die ingenieurtechnische Lösung, die unter anderem bereits vom Robert-Koch-Institut (RKI) genutzt wird, wurde jetzt auf den Weg gebracht.

Der vorliegende Artikel soll dem Leser einen kurzen Einblick in die Validierung der in situ-Abscheidegradmessung geben, wie sie im Auftrag vom RKI durchgeführt worden ist. Das RKI plant die Errichtung eines neuen Laborgebäudes mit Hochsicherheitslaboratorien BSL 3 und 4. Eine entsprechende Zu- und Abluftfiltration mit HEPA-Filtern nach DIN EN 12128 zur Sicherung der Umwelt gegen Austritt von Viren und anderen Krankheitserregern ist in diesen Laboren zwingend erforderlich. Dies setzt u. a. eine absolute Leckfreiheit sowie einen gesicherten Abscheidegrad der Filterelemente zu jeder Zeit voraus.

## Autoren



**Peter Hausch**

Dr.-Ing. Peter Hausch arbeitete nach Abschluss seines Studiums „Kernkraftwerke und Anlagen“ u. a. als Assistent der TU Dresden in der Forschung für „Angewandte Kernphysik“. 1998 wurde er Geschäftsführer von Brandi Consult und

IG Höpfner. Seit 2003 ist er Technischer Manager im Bereich Lüftungstechnische Sonderlösungen für Russland und Osteuropa sowie in der Entwicklung von Filteranlagen für BSL3/4-Laboren bei der YIT Germany GmbH.



**Hans Martinsteg**

Hans Martinsteg arbeitete nach dem Studium u. a. als Projektingenieur bei Krantz Lufttechnik. Hauptaufgabenbereich war die Planung lüftungstechnischer Anlagen für die Kerntechnik. Mit Ernennung zum Abteilungsleiter Planung

wuchs seit 1984 erweiterte sich sein Aufgabenbereich durch Konstruktion und Fertigung. Diesen leitete er als Niederlassungsleiter „Lüftungstechnische Sonderlösungen“ bis zu seiner Pension 2011 und ist ihm bis heute verbunden.



**Claus Schweinheim**

Claus Schweinheim war nach Abschluss seines Studiums als Projektleiter bei KRANTZ TKT-Niederlassung Käftwerks- und Umwelttechnik tätig. n. Verschiedene Übernahmen und Fusionen des Unternehmens führten zum heutigen Arbeitgeber YIT. Seit 2002

leitet Herr Schweinheim den Bereich Absperr- und Filtersysteme mit der zugehörigen Fertigung in Mallersdorf. Er ist als Projektverantwortlicher in zahlreichen hochsensiblen Projekten im Bereich Filtertechnik tätig.

## 1. in situ-Abscheidegradmessung

Der Unternehmensbereich für Lüftungstechnische Sonderlösungen, entwickelte ein vollautomatisches Messverfahren zur Bestimmung des Abscheidegrades und zum Nachweis der Leckfreiheit eines Filterelements während des Betriebes (in situ). Diese in situ-Abscheidegrad- und -Leckprüfung eines Filterelements ist das präziseste Verfahren auf dem Markt und momentan das einzige, das während des Betriebes einer Filteranlage eine einheitliche sowie hinreichende Klassifizierung der Schwebstofffilter sowohl nach dem integralen als auch nach dem lokalen Abscheidegrad nach DIN EN 1822 1-5 ermöglicht und Lecks erkennt, die mit herkömmlichen Methoden nicht mehr nachweisbar sind.

Die Ermittlung des Abscheidegrades von HEPA-Filtern der Filterklassen H13 und H14 erfolgt bei Nennvolumenstrom. Die Messungen müssen stets für jede Filteranlage mit dokumentierter Beweisführung durchgeführt werden, die mit einem hohen Maß an Sicherheit belegt, dass das Filterelement reproduzierbar den Abscheidegrad erfüllt, leckfrei ist und somit den Qualitätsanforderungen entspricht (Qualifizierung). Für jeden Filteranlagentyp muss die qualitative Eignung des Verfahrens unter Einsatzbedingungen durch drei hintereinander durchgeführte Versuche mit positivem Ergebnis erbracht werden.

## 2. Equipment-Anforderungen

Das in situ-Messverfahren sowie das Filterequipment wurden von YIT vor einem Jahr entwickelt und unter Beachtung technischer und sicherheitsrelevanter Vorgaben seitens RKI für einen konkreten Einsatz in Hochsicherheitslabors optimiert. Alle

Messungen fanden im Innovationszentrum der YIT am Standort Aachen statt.

Der Versuchsraum genügte den Mindestanforderungen:  $L \times B \times H = (10 \times 5 \times 4)$  m. Für jeden Versuch wurden alle versuchsrelevanten Parameter kontinuierlich aufgezeichnet. Der Nennvolumenstrom war vom RKI auf  $(2.000 \pm 20)$  m<sup>3</sup>/h festgesetzt.

Zum Messequipment (Abb. 1) gehörten u. a.:

- 2-stufiges Filtergehäuse H13/H14
- Ventilator-Einheit mit FU zur Gewährleistung eines stabilen Volumenstroms von 2000 m<sup>3</sup>/h
- 2 Standardfilterzellen 610x610x292 mm H13 und H14



Abb. 1: Filteranlage mit Filterstufen 1 und 2 mit Messwagen (Quelle alle: YIT GmbH).

- Prüfaerosol DEHS (Di-2-Ethylhexyl-Sebacat) mit Partikelgrößen von 0,15 – 0,2 µm gemäß DIN EN 1822-1
- Aerosolmischeinheit zum Erreichen einer gleichmäßigen Konzentration auf der Rohluftseite
- Geometrisch definierte Aerosol-Aufgabelenzen
- Verfahrbare Scaneinrichtung auf der Reinluftseite
- OPCs mit Verdünnungsstufen zur Bestimmung der Partikelkonzentration auf der Roh- und Reinluftseite
- Elektronische Dokumentations-einheiten.

Die in situ-Prüfung der Aerosolverteilung, die Abscheidegradmessung sowie der Lecktest mit Ergebnisdokumentation für die zweite Filterstufe erfolgten in jeweils drei fortlaufenden Versuchen:

1. Aerosolaufgabe, Nachweis der homogenen Verteilung:  
Drei Messungen (Partikelgrößen 0,1; 0,2; 0,3 µm)
2. Abscheidegradmessung:  
Drei Messungen mit einem unbeladenen Filter.  
Drei Messungen mit einem beladenen Filter
3. Im Zuge des Validierungsprozesses wurden drei Leckmessungen im Filtergehäuse bei Nennvolumenstrom durchgeführt (s. DIN EN 1822-4).

## 3. Versuchsdurchführung

Die Reinheit der Prüfluft war durch die Vorfiltrierung der 1. Filterstufe H13 sichergestellt (s. DIN EN 1822).

Die Konzentration und die Größenverteilung des Aerosols DEHS waren gemäß Aerosolzertifikat zeitlich konstant. Das Maximum der Partikelkonzentration lag bei 0,19 µm. Gemäß Zertifikat des Herstellers hatte die Partikelgrößenverteilung eine Abweichung vom MPPS von  $< \pm 50\%$ ; s. auch DIN EN 1822-4.

Für die Abscheidegrad- und Leckprüfung des Filterelements war sichergestellt, dass der mittlere Partikeldurchmesser des Prüfaerosols dem der Partikelgröße im Abscheidegradminimum (MPPS = 0,15 – 0,2 µm) des Filtermediums entspricht.

### 3.1 Nachweis der homogenen Aerosolverteilung

Gemäß DIN EN 1822-4 (Absatz 6.2.4) müssen Aerosolaufgabe und Mischstrecke so konstruiert sein, dass die unmittelbar vor dem Prüffilter an den einzelnen Stellen des Kanalquerschnitts gemessene Aerosolkonzentration um nicht mehr als  $\pm 10\%$  vom Mittelwert der an mindestens neun gleichmäßig über der Kanalquerschnitt verteilten Messstellen ermittelten Aerosolkonzentration abweicht.

Die Besonderheit bei der in situ-Messung besteht deshalb darin, dass die in einen turbulenten Luftstrom eingblasen Prüfaerosole hier auf kürzester Distanz zwischen Aerosolaufgabe und Filteroberfläche so gleichmäßig verteilt werden müssen, dass die Forderungen nach DIN EN 1822-4 erfüllt sind.

Die vom Aerosolgenerator erzeugten Partikel wurden zunächst mit Druckluft hinreichend vorgemischt und danach über vier Aufgabeln, die horizontal im Filtergehäuse angeordnet sind, in den Luftstrom des Filtergehäuses gleichmäßig eingetragen. Vor den Aufgabeln war der Luftstrom bereits durch die erste Filterstufe und ein Lochblech hinreichend laminarisiert worden. Mit der Messung zum Nachweis der homogenen Aerosolverteilung wurde erst nach ca. 4 Minuten nach Start des Aerosolgenerators begonnen, um einen stabilen Betriebszustand mit einer konstanten Partikelkonzentration zu erreichen.

Der Nachweis der homogenen Verteilung der Aerosols mit Partikeln der Größen 0,1; 0,2; 0,3 µm erfolgte in drei aufeinanderfolgenden Messungen. Dazu wurde mittels drei reproduzierbar verfahrbarer Messlanzen an neun gleichmäßig verteilten Punkten unmittelbar vor dem Prüf-filter eine isokinetische Aerosolentnahme durchgeführt.

Die an jedem dieser Messpunkte gemessene Aerosolkonzentration wich max. um. +/- 5,3 % vom Mittelwert ab:

- bei 0,1 µm = - 5,3 %
- bei 0,2 µm = - 5,1 %
- bei 0,3 µm = - 4,3 %.

Die homogene Aerosolverteilung im Kanalquerschnitt unmittelbar vor dem Prüf-filter konnte wiederholt nachgewiesen werden. Jeder der neun Messpunkte hat dabei die gleiche Wirkfläche (s. Bild 2).

### 3.2 Abscheidegradmessung

Nachdem die Bedingungen für die Aerosolaufgabe gemäß EN 1822-4 erfüllt waren, konnte der Abscheidegrad des H14-Filterelements, 2. Filterstufe, in situ gemessen werden:

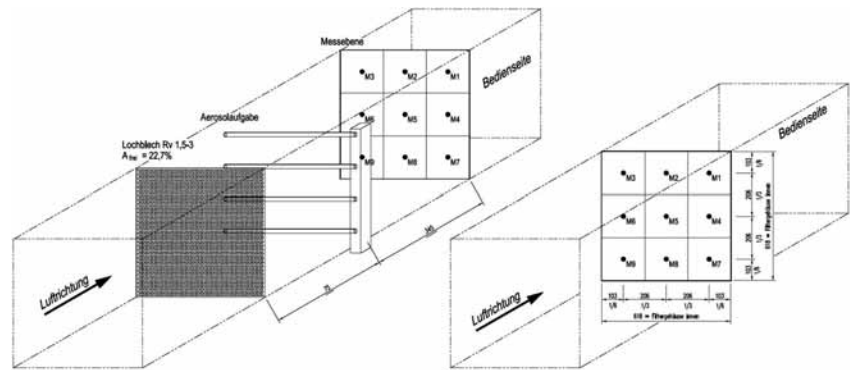


Abb. 2: Messpunkte zum Nachweis der homogenen Aerosolverteilung.

1. Verwendung eines werksneuen Filterelements, unbeladen ( $\Delta p_{\text{Anfang}} = 200-240 \text{ Pa}$ )
2. Verwendung eines werksneuen Filterelements, beladen ( $\Delta p_{\text{Anfang}} = 680 \text{ Pa}$ ).

Die Filterelemente wurden für diesen Zweck mit repräsentativem Kunststaub beaufschlagt.

Aufgrund der nachgewiesenen homogenen Verteilung des Prüfaerosols auf der Rohluftseite des Prüf-filters genügte nun ein Messpunkt für die isokinetische Aerosolentnahme auf der Rohluftseite. Auf der Reinluftseite übernahm ein Scanner mit OPC (Optical Particle Counter) und Auswerteeinheit die Zählung der durch das Filterelement penetrierten Aerosole.

Die Berechnung des Durchlassgrades P erfolgt dann durch Bildung des Verhältnisses aus abströmseitiger

und anströmseitiger Partikelanzahlkonzentration. Der Abscheidegrad wurde rein rechnerisch ermittelt zu (s. DIN EN 1822-4):

$$E = (1 - P) * 100 \%$$

Die In-situ-Abscheidegradmessung für ein H14-Filterelement führte zu folgenden Ergebnissen (Abb. 3):

Unbeladenes H14 Filterelement - Minimaler Abscheidegrad E bei MMPS

1. Versuch: E = **99,999325 %**
2. Versuch: E = **99,999268 %**
3. Versuch: E = **99,999317 %**

Beladenes H14 Filterelement - Minimaler Abscheidegrad E bei MMPS

1. Versuch: E = **99,995830 %**
2. Versuch: E = **99,995796 %**
3. Versuch: E = **99,995896 %**

Ergebnis: Das Prüf-filter erfüllte im Versuch reproduzierbar die H14-Klassifikation nach DIN EN 1822-1.

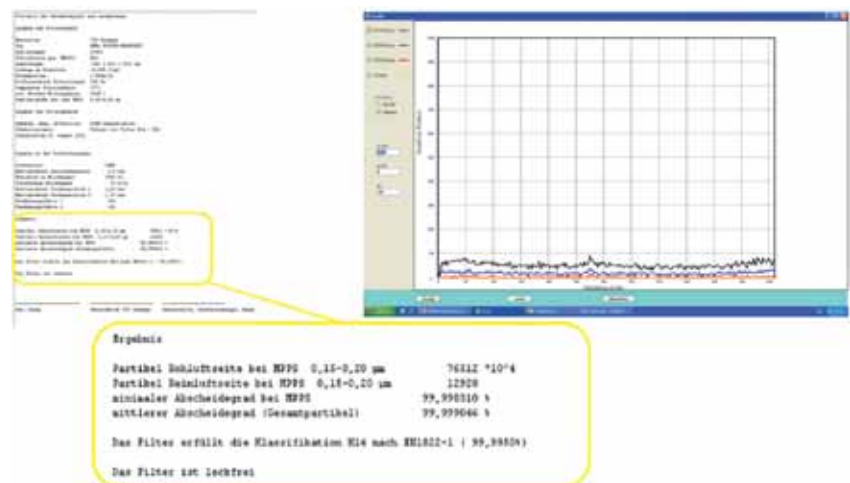


Abb. 3: Auszug aus dem Ergebnisprotokoll der in situ-Abscheidegradmessung.

### 3.3 in situ-Leckmessung

Speziell für die Leckmessung wurde noch vor der Messung mit einer medizinischen Kanüle (Abb. 4) ein Loch in das Filterpapier auf der Anströmseite des Filters gestochen:

- Tiefe: < 20 mm
- Durchmesser < 0,6 mm
- Abstand von Filterelementoberkante: 18,0 cm (mit Gliedermaßstab gemessen).

Der Scanprozess auf der Reinluftseite erfolgte auch hier computergesteuert bei Nennvolumenstrom. Ohne Leck oder Randeffekte in einem Filter ist eine Gleichverteilung des Aerosolteilchenspektrums für die Größen 0,15 µm bis 0,5 µm zu erwarten. Der Filtereinstich auf der Rohluftseite führte jedoch zu einem Teilchenpeak (s. Abb. 5). Durch das gestochene Loch penetrieren pro Zeiteinheit signifikant mehr Aerosolteilchen als durch Filterpapier ohne Beschädigung.

Durch Schwerpunktberechnung des Peaks und Auswertung der Scannergeschwindigkeit wurde die Position des Lecks bestimmt. In unserem

Beispiel hatte das Messsystem das Leck an der Position 181 mm, gemessen von der Oberkante, lokalisiert. Auch konnte in diesem Zusammenhang der Nachweis der Wirksamkeit der Leckmessung in den kritischen Randgebieten erbracht werden. Das Teilchenspektrum in Abb. 5 zeigt auch, dass im Leckbereich mehr als

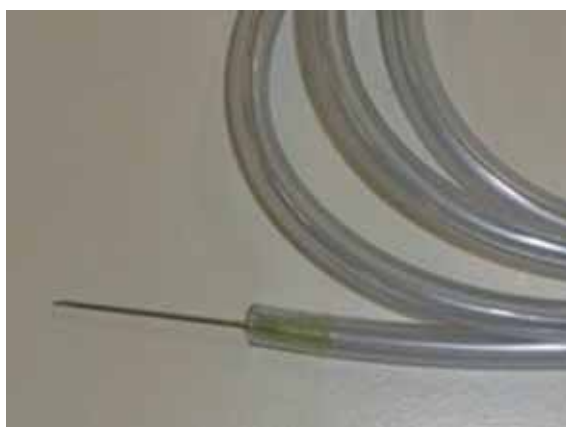


Abb. 4: Kanüle ( $D = 0,6 \text{ mm}$ ) zum Einstich in das Filtermaterial.

2000 Partikel durch den Filter penetriert waren, obwohl der integrale Abscheidegrad gemäß DIN EN 1822-1 erfüllt wurde (Abb. 5).

Die Überprüfung des H14-Filters auf Abscheidegrad und Leck dauerte einschließlich Vorbereitung und Aus-

wertung weniger als 20 Minuten. Der weitere Einsatz dieses Filters wäre im Praxisfall nicht mehr in Frage gekommen.

### Fazit

Jeder Betreiber ist mit dem beschriebenen in situ-Messsystem nun in der Lage, sowohl vor der Inbetriebnahme als auch während des Betriebes einer Filteranlage innerhalb weniger Minuten ein Filterelement auf Abscheidegrad und Leckfreiheit zu überprüfen. Die neuen Filteranlagen werden auf Wunsch bereits mit dem erforderlichen Equipment im Filtergehäuse vorbereitet, wie z.B. Scanner, Adapter für Messlanzen oder Messstufen. Zur in situ-Messung werden zwei fahrbare Einheiten mit Aerosolgenerator und Auswerteeinheit an die Filteranlage kurzzeitig angeschlossen.

Nach Auswertung der Messungen kann jeder Betreiber sofort für sich entscheiden, ob ein Filterwechsel unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit von Personal und Umwelt erforderlich ist. Kleinste Lecks und Randeffekte lassen sich jetzt höchst präzise bestimmen. Selbst wenn ein Filterelement trotz eines Lecks die geforderte Klassifikation integral noch erfüllen sollte, kann sich der Betreiber aufgrund der erhöhten Teilchen-, Bakterien-, oder Virenpenetration für ein neues Filterelement entscheiden. Das neue in situ-Abscheidegrad- und Leckmessverfahren von YIT ist für die Sicherheit von Menschen in bzw. außerhalb von Hochsicherheitslabors und für die Umwelt ein enormer Sicherheitsgewinn. Das Robert-Koch-Institut hat das bereits erkannt.

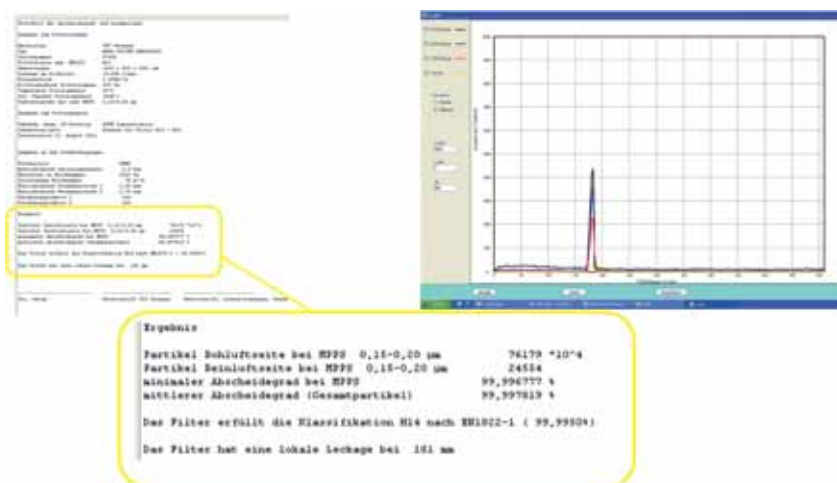


Abb. 5: Auszug aus dem Ergebnisprotokoll Leckmessung.

### Fachliteratur

DIN EN 18 22 1-5