

Reinraumfiltration – Anforderungen an Filtersysteme

Grundlagen für eine umfassende Beurteilung

Jean Michel Vanhée • Camfil Farr SAS, La Garenne Colombes Cedex (Frankreich)
Michael Feldtmann • Camfil KG, Reinfeld

Korrespondenz: Michael Feldtmann, Product Manager Clean Process, Feldstr. 26–32, 23858 Reinfeld;
e-mail: michael.feldtmann@camfil.de

Zusammenfassung

Bei der Wahl einer Luftfilteranlage für einen Reinraum müssen selbstverständlich die angemessenen Wirkungsgrade berücksichtigt werden. Doch im Rahmen der heutzutage geforderten hohen Umweltstandard- und Niederenergie-Zertifizierung heißt dies darüber hinaus, die Funktionsweise eines Systems zu erfassen und die Auswirkungen der Luftfilterwahl auf Energie-, Wartungs- und Entsorgungskosten abschätzen zu können. Der vorliegende Artikel soll dem Leser diesbezüglich einige nützliche Hinweise geben.

1. Einteilung von Luftfiltern

Luftfilter müssen die Fähigkeit besitzen, Luft zu reinigen. Aus diesem Grund basiert ihre Klassifikation auf dem Messen des Wirkungsgrades (Abscheidegrades, um die genormten Termini einmal aufzugreifen).

Hierzu nutzt man zwei Referenznormen: EN 779:2012 und EN 1822:2009 (dt. Version DIN EN 1822: Januar 2011). Mit diesen Normen ist es möglich, zwei große Klassen der Luftfilter zu unterscheiden: Partikel-Luftfilter – diese finden typischerweise Anwendung in Klima- und Lüftungsanlagen – und Schwebstofffilter, welche die endständige Filterstufe oder bei Umluftanwendungen den Vorfilter vor einer endständigen Filterstufe darstellen.

1.1 Partikel-Luftfilter Leistung und Klassifikation

EN 779:2012: Im Wesentlichen erfolgt die Unterscheidung in zwei große Gruppen:

Vorfilter („G“ und „M“), klassifiziert in G1 bis G4 und M5, M6.
Feinstaubfilter „F“, klassifiziert in F7 bis F9.

1.1.1 Grobstaubfilter

Die Leistungsbestimmung der Grobstaubfilter erfolgt durch die Messung der Masse des eingelagerten Staubes (synthetischer Staub), welcher vom Filter bis zu einer Enddruckdifferenz von 250 Pa eingespeichert wird. Die Beaufschlagung des Filters erfolgt in vier Gruppen gemäß einem standardisierten Protokoll. Es gibt vier Klassen: G1 bis G4 (siehe Tab. 1).

Hinweis: Die für diese Prüfung angewandte Methode zeigt gut, dass es sich um Grobstaub-Filter handelt, die den effektiven Schutz einer Luftfilteranlage nicht gewährleisten können. Wie beschrieben ist die Prüfung auf 250 Pa begrenzt. Es wird nicht empfohlen, diesen Wert zu überschreiten, da darüber hinaus die Gefahr von Staubabgabe besteht.

Um eine klarere Abgrenzung zwischen Vorfilter- und Feinstaubfilter-

klassen vorzunehmen, sind die Klassen F5 und F6 geändert worden in M5, M6 (Medium Filter).

Im Unterschied zur reinen Staubbelastung erfolgt die Klassifizierung hierbei wie bei Feinstaubfiltern, jedoch ohne die Bewertung des entladenen Wirkungsgrades.

1.1.2 Feinstaubfilter

Seit der Fassung von 2002 schreibt die EN 779 zur Bestimmung der Feinstaubfilterleistung einen sehr viel aussagekräftigeren, zuverlässigeren und reproduzierbaren Test vor, da er auf der Messung des Partikelabscheidegrades basiert, die mit einem Partikelzähler durchgeführt wird. Die Filter werden nach ihrem „mittleren Wirkungsgrad“ bei Partikeln der Größe 0,4 µm und einer Staubbelastung bis zu einem Druckverlust von 450 Pa in M5 bis F9 klassifiziert (Tab. 1).

Dabei ist Folgendes wichtig: Die Norm ermöglicht die Beschreibung von drei Wirkungsgraden (Abscheidegraden), die im Prüfprotokoll, das

Tabelle 1

Filterklassen gemäß EN 779

Klassifikation von Luftfiltern¹⁾

Gruppe	Klasse	End-Druck-Differenz Pa	Mittlerer Abscheidegrad (Am) des synthetischen Prüfstaubes %	Mittlerer Wirkungsgrad (Em) bei Partikeln von 0,4 µm %	Mindest-Wirkungsgrad ²⁾ bei Partikeln von 0,4 µm %
Grob	G1	250	50 ≤ Am < 65	-	-
	G2	250	65 ≤ Am < 80	-	-
	G3	250	80 ≤ Am < 90	-	-
	G4	250	90 ≤ Am	-	-
Medium	M5	450	-	40 ≤ Em < 60	-
	M6	450	-	60 ≤ Em < 80	-
Fein	F7	450	-	80 ≤ Em < 90	35
	F8	450	-	90 ≤ Em < 95	55
	F9	450	-	95 ≤ Em	70

ANMERKUNG

¹⁾ Die Merkmale atmosphärischen Staubes weisen im Vergleich zu denen des in der Prüfung verwendeten synthetischen Prüfstaubes eine große Variationsbreite auf. Deshalb bieten die Prüfergebnisse keine Grundlage für die Vorhersage der Betriebsleistung oder der Lebensdauer, Ladungsverlust des Filtermediums und das Ablösen von Partikeln oder Fasern können ebenfalls den Wirkungsgrad beeinträchtigen!

²⁾ Der Mindest-Wirkungsgrad ist der geringste der folgenden Wirkungsgrad-Werte: Anfangswirkungsgrad, Wirkungsgrad des entladenen Filters und geringster Wirkungsgrad im Laufe der Beladung während des Tests.

der Kunde anfordern kann, erscheinen: Anfangswirkungsgrad, mittlerer Wirkungsgrad bis 450 Pa und Wirkungsgrad des „entladenen Filters“. Die Wirkungsgrade gelten für eine Partikelgröße von 0,4 µm, die eine repräsentative Größe der atmosphärischen Partikel darstellt.

Welchen Zweck hat jeder der drei Wirkungsgrade in der Praxis? Der Anfangswirkungsgrad ist der Wirkungsgrad des neuen (sauberen) Filters, wenn er ausgepackt wird. Dies ist ein wichtiger Wert, um den Wirkungsgrad zum Schutz Ihrer Anlage „am Anfang“ abschätzen zu können. Der mittlere Wirkungsgrad bis 450 Pa, der zur Einteilung in eine Filterklasse dient, zeigt einen weiteren Wert auf: die Beladung des Filters während des Betriebes. Das heißt: Je mehr ein Filter beladen wird, desto mehr steigt seine Wirkung. Dies geht bis zu einem bestimmten Punkt. Wird dieser überschritten besteht die Gefahr der Staubfreisetzung. Diesen Sachverhalt berücksichtigt die neue EN 779:2012. Wenn der Filter in der Versuchsvorrichtung angebracht ist und mit Nennleistung läuft, wird eine erste Messung seiner Partikelabscheidung (Anfangsabscheidegrad) und seiner Druckdifferenz (Anfangsdruckdifferenz) vor-

genommen. Dann durchläuft der Filter stufenweise eine beschleunigte Staubbiladung mit standardisiertem „ASHRAE-Staub“. Bei jeder Stufe werden sein Wirkungsgrad und seine Druckdifferenz gemessen, bis eine Druckdifferenz von 450 Pa erreicht ist. Der mittlere Wirkungsgrad wird errechnet und drückt die durchschnittliche Wirkungskraft des Filters zwischen neuem und beladenem Zustand bei 450 Pa aus. Es ist anzumerken, dass aufgrund hoher Energiekosten der Filter in einer realen Anlage niemals 450 Pa erreichen wird, das heißt, er wird den auf dem Etikett angegebenen Wirkungsgrad nie erreichen. Daher ist der Anfangswirkungsgrad wichtig für die Auswahl.

Aber nicht nur die Beladung des Filters mit synthetischem Staub und Ermittlung der Wirkungsgrade wird seit der Revision der EN 779:2012 (Veröffentlichung geplant September 2012) zur Bestimmung der Filterklasse heran gezogen.

Die Leistung des „entladenen Filters“ ist jetzt eine zur Einstufung der Filterklasse notwendige Prüfung (Tab. 1).

Ein Feinstaubfilter muss im entladenen Zustand die in der Norm ausgewiesenen Grenzwerte (z.B.

35 % für die Filterklasse F7) erreichen, ansonsten kann eine Klassifizierung nicht erfolgen. Erst danach erfolgt dann die Beladung mit synthetischem Staub und entsprechende Wirkungsgradmessungen.

Die Leistung des „entladenen Filters“ soll dem Nutzer eine quantitative Information zur Bedeutung des elektrostatischen Effekts geben. Die Wirkung einiger synthetischer Filtermedien beruht tatsächlich zu einem großen Anteil auf der Abscheidung von Partikeln durch den elektrostatischen Effekt. Wenn man nicht weiß, dass dieser Effekt beim Betrieb in einer Luftfilteranlage unter realen Bedingungen schnell schwindet, besteht die Gefahr, dass man meint, das Lüftungsgerät sei geschützt, obwohl dem nicht so ist. Es konnte aber festgestellt werden, dass einige Filtertypen, deren Wirkung im Wesentlichen auf dem elektrostatischen Effekt beruht, innerhalb weniger Wochen ihre Wirkung verloren und sich von F7 auf G4 verschlechtert haben.

**1.2 Schwebstofffilter
Leistung und Klassifikation:
Norm EN 1822:2009**

Legt man die in der Norm verwendeten Begriffe zu Grunde, dann haben die Filter, die normalerweise als „Absolute“ oder „Hochleistungsfilter“ bezeichnet werden, ihren Oberbegriff in „hocheffizienten“ Schwebstofffiltern.

Die Leistung dieser Filter drückt sich im Wirkungsgrad oder der gemessenen Durchdringung bei der Partikelgröße mit dem Durchlassgrad-Maximum MPPS (Most Penetrating Particulate Size) aus, die üblicherweise zwischen 0,1 und 0,25 µm liegt. Wenn man intuitiv versteht, dass mit kleinerer Partikelgröße auch die Filtereffizienz sinkt, muss man wissen, dass aufgrund der Molekularbewegung oder Brownschen Bewegung der Partikel, die Filter ab einer bestimmten Partikelgröße (MPPS) wieder effizienter werden, je kleiner die Partikel werden. Ein Partikel, das größer ist als die MPPS, wird vom Filter demnach besser abgeschieden, aber ein kleineres Partikel (z.B.

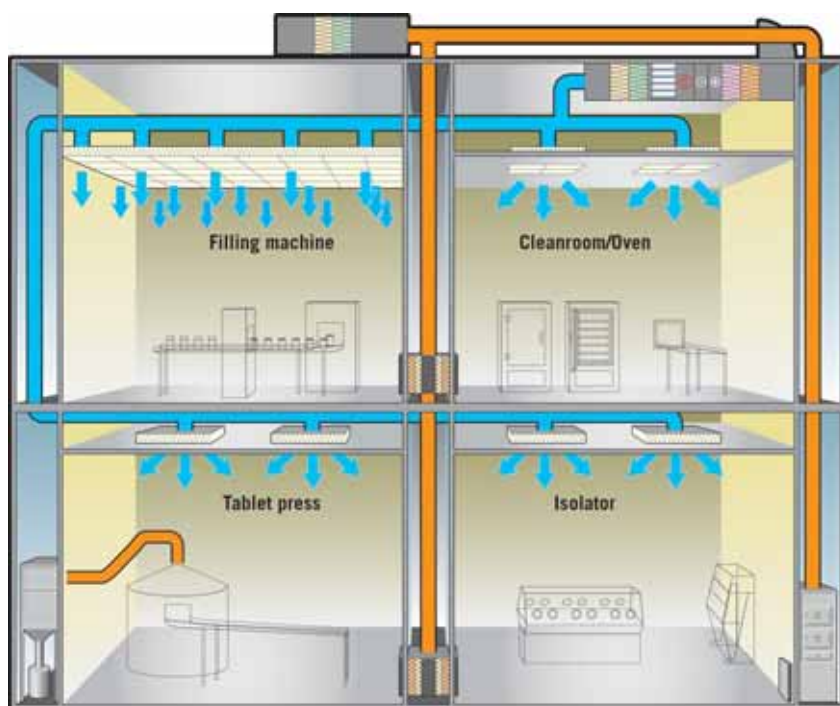


Abb. 1: Luftfilteranlagen im Pharmazeutischen Bereich (Quelle: Camfil).

da der Betrieb mit einer zu hohen Luftmenge keine Gewährleistung der Filterklasse zulässt.

2. Luftfiltration und Energieeffizienz

Spricht man von Luftfiltration, dann meint Energieeffizienz zwei Bereiche: thermische und elektrische Energie.

Thermische Energie kennzeichnet die Leistungsbeibehaltung der Wärmetauscher und Regelaggregate einer Lüftungsanlage. Die Agglomeration von Staub auf den Wärmetauschern wirkt wie eine Isolierung, was zu einem übermäßigen Verbrauch bei Wärme- oder Kälteproduktion führt. Dies führt zu einer Verringerung der Wärmeübertragung, wobei dann die notwendige Kompensation und die Erhaltung der erforderlichen Temperaturbedingungen zusätzliche Energie erfordert. Vorschriftsmäßig sollten die Wärmetauscher sauber gehalten werden, was durch eine Filterung der Klasse F7 erreicht werden kann.

Der elektrische Energieverbrauch ist abhängig vom Energieverbrauch des Ventilators. Der Filter wirkt mit seiner durchschnittlichen Druckdifferenz während der gesamten Verwendungsdauer. Die durchschnitt-

0,05 µm) wird ebenfalls besser zurückgehalten!

Die Filter werden von 10 bis 17 klassifiziert und nun – dies ist neu in der EN 1822, Version 2009 – in drei Gruppen anstatt zwei aufgeteilt (Tab. 2):

- Gruppe E: EPA-Filter (Hochleistungs-Partikelfilter) E10, E11 und E12;
- Gruppe H: HEPA-Filter (Schwebstofffilter) H13 und H14;
- Gruppe U: ULPA-Filter (Hochleistungs-Schwebstofffilter) U15, U16 und U17.

Den Unterschied bedingt das Kriterium des Durchlassgrades, der in der Spalte Lokalwert erscheint. Mit dem Wortlaut der Norm: „Bei den Filtern der Gruppe E (Klasse E10, E11 und E12) ist eine Leckprüfung zu Klassifikationszwecken nicht möglich und nicht erforderlich.“ Dies war bereits in der vorhergehenden Ausgabe für die Filter H10, H11 und H12 der Fall. Ab Filterklasse H13 benötigen die Filter in der Praxis im Werk einen einzelnen Lecktest mit Vorlage des entsprechenden Testberichts. Bei den Filtern der Gruppe H sind drei Me-

thoden möglich (Scanverfahren, Ölfadentest und Partikelzählung mit Partikeln von 0,3 µm bis 0,5 µm). Für die Filter der Gruppe U bleibt lediglich das Scanverfahren.

Es ist wichtig, dass die eingesetzte Luftmenge nicht höher ist als die im Prüfbericht angegebene Luftmenge,

Tabelle 2				
Filterklassen gemäß DIN EN 1822				
Tabelle 1 - Klassifikation von EPA, HEPA und ULPA-Filtern				
Filtergruppe Filterklasse	Integralwert		Lokalwert ^{a,b}	
	Abscheidegrad (%)	Durchlassgrad (%)	Abscheidegrad (%)	Durchlassgrad (%)
E10	≥ 85	≤ 15
E11	≥ 95	≤ 5
E12	≥ 99,5	≤ 0,5
H13	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
H14	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
U15	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
U16	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
U17	≥ 99,999995	≤ 0,0000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

^a Siehe 7.5.2 und EN 1822-4

^b Zwischen Lieferer und Käufer können niedrigere Lokalwerte als die in der Tabelle vereinbart werden

^c Für die Einteilung von Filtern der Gruppe E (Klassen E10, E11 und E12) ist eine Leckprüfung nicht möglich und nicht erforderlich

liche Druckdifferenz ist an zwei Werte geknüpft: die Anfangsdruckdifferenz (neuer Filter) und die Enddruckdifferenz (wenn der Filter ausgetauscht wird).

Wie kann die Anfangsdruckdifferenz reduziert werden? In dem Filter mit einer geringen Druckdifferenz ausgewählt werden, die jedoch keine schlechtere Effizienz aufweisen. In der Eurovent Zertifizierung (s. Beispiellabel) werden erstmalig Luftfilter gem. Energieklassen eingestuft. Mit dem Index kann die Energieeffizienz der verschiedenen Filter einfach verglichen werden und somit Wirkung und Druckdifferenz abgelesen werden. Um es einfach auszudrücken: Bei gleicher Wirkung und Standzeit entspricht ein niedriger Energieverbrauch einer großen Filteroberfläche und einem optimierten Luftfilter.

Die „energetisch empfohlene“ maximale Enddruckdifferenz ist gem. Tabelle 9 der Norm EN 13053:2006 wie folgt festgelegt: G1-G4: 150 Pa; F5-F7: 200 Pa; F8-F9: 300 Pa.

Einige Hersteller können die Berechnung der „Lebenszykluskosten – LCC“ (Gesamtbetriebskosten) durchführen, die Szenarien mit Filteranlagen, Filterbeladung und Energieverbrauch über Betriebszeiträume von mehreren Jahren berücksichtigt.

Für die HEPA/ULPA-Endfilter gibt es hierzu ebenfalls Filterzellen mit erhöhten Filteroberflächen, um den Energieverbrauch zu reduzieren.

3. Luftfiltersysteme für Reinraumanwendungen

3.1 Vorfilterstufen

Der Luftaufbereitung folgend: Die erste Filterstufe beim Eintritt in die Lüftungsanlage hat bei neuer und aufbereiteter Luft eine doppelte Funktion: Zum einen die Lufttrocknungs- und thermische Leistungsfähigkeit (Wirkungsgrade) der Lüftungsanlage in ihrer Anfangsphase durch einen effizienten Verunreinigungsschutz konstant halten und zum anderen die Lüftungsanlage



Abb. 2: Glasfasertaschenfilter
Filterklasse F7; Typ: Hi-FloXLT.

konstant hygienisch rein halten, indem das Einbringen von Mikroorganismen, insbesondere von Schimmelpilzsporen, beschränkt wird.

Der erforderliche Mindestwirkungsgrad ist mit F7 (VDI 6022) vorgegeben (gem. der EN 13779:2007 min. F9 bei IDA1).

Taschenfilter sind hierfür als Lösung ideal geeignet (Abb. 2). Für eine dauerhafte Sicherung des Wirkungsgrades ist darauf zu achten, dass die Filter einen vom elektrostatischen Effekt unabhängigen Wirkungsgrad haben müssen sowie einen „entladenen Wirkungsgrad“, der nahe dem „nicht entladenen Wirkungsgrad“ liegt, gemäß EN 779:2012 (siehe § 1.1.2). Dieser ersten Filterstufe kann eventuell ein G4-Vorfilter vorgehen, wenn die Umgebung besonders mit großen Partikeln (Pollen) belastet ist.

Zu beachten ist, dass ein Vorfilter hinsichtlich Energie, Wartung und Entsorgung viel kostet, weshalb sein Einsatz begründet sein sollte. In der zweiten Filterstufe können Kompaktfilter eingesetzt werden, da diese große Filteroberflächen mit kleinen Einbaumaßen bieten (Tiefe 292 mm). Dieses Filter soll das Lüftungssystem sauber halten und die HEPA/ULPA-Endfilter schützen. Wenn eine F9-Filtration für einen E10-Filter angemessen ist (bei Klasse ISO8), muss eine E10-Vorfiltration für einen H13-Filter verwendet werden. Es geht dabei nicht nur um die Verlängerung der Standzeit des endständigen Filters H13 sondern auch um die Umsetzung, des Prinzips der Kontrolle und Trennung nach Anhang A der ISO in EN 14644-4:2002. Das heißt,

es soll eine schrittweise Einteilung in Reinheitszonen zur Differenzverringerung der Reinheitsstufen zwischen dem Luftverteilungssystem und dem Reinraum erfolgen, um das Risiko einer Verunreinigungsübertragung zu reduzieren, falls die Endfiltration ausfällt oder wenn Wartungsarbeiten an den endständigen Filtern anfallen.

3.2 HEPA/ ULPA-Endfilter

Sie sollen die mit der angestrebten Klasse der Reinnräume angemessene Reinheitsstufe gewährleisten (Abb. 3).

Um das Risiko einer erneuten Luftverunreinigung nach dieser letzten Filterstufe zu beschränken, wird empfohlen, sie so nah wie möglich an dem zu schützenden sensitiven Bereich zu platzieren.

Ideal ist der Einlasspunkt in den Reibereich: Dies wurde für die Klassen ISO6 und darunter umgesetzt. Bei den Klassen ISO7 und ISO8 ist eine Filterendstufe mit hohen Luftmengen in einem Auslassgehäuse zulässig. Die Verwendung eines Filters am Luftauslass der Räume bei ISO7 oder ISO8 hat den Vorteil, dass sämtliche Risiken der Verbreitung von Partikeln, die aus dem Raum in das Luftverteilungsnetz gelangen, vermieden werden. Diese Konfiguration ist zur Vermeidung von Kreuzkontaminationen anzuwenden. Am Lufteintritt sind die Filter in einzelnen Luftdurchlässen oder Einbaurahmen installiert, um einen kritischen Be-



Abb. 3: Hepa/ULPA Filter;
Typ: Megalam.

reich oder sogar einen ganzen Raum mit einem Luftstrom zu versorgen.

3.3 Umluftanlagen

Die Filtration der Umluftanlagen ist notwendig, um das Rückluft- und Abluftsystem rein zu halten. Eine andere Funktion, die oft vergessen wird, ist die Abgrenzung des Reinraumes: Ohne Filter in den Umluftanlagen sind die Innenwände der Lüftungskanäle die Verlängerung der Wände des Reinraumes und müssten logischerweise ebenfalls wie diese behandelt werden (Reinigung und Kontrolle). Es stellt sich die Frage: Wo endet in diesem Fall der Raum?

Der geforderte Wirkungsgrad hängt von der im Reinbereich erzeugten Verunreinigung ab: Tätigkeiten, Kleidung, Zahl der Anwesenden, Tierhaltung usw.

Wenn bei der Tätigkeit gefährliche Stoffe oder Produkte mit mikrobiologischem Risiko entstehen, wird die abgesaugte Luft mit einer H13 oder H14-Filterung und Safe-Change-Gehäuse (BIBO-System, „Bag In, Bag Out“) mit Wartungssack ausgestattet.

4. Filter zur Abscheidung von Gasen

Für sensible Tätigkeiten (Laboratorien für In-Vitro-Fertilisation, Hoch-

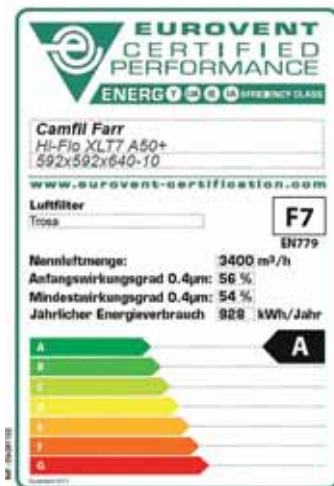


Abb. 5: Label mit Energieeffizienz-Klassifizierung.

leistungslaser, Mikroelektronik) reicht die alleinige Kontrolle der Partikelverunreinigung nicht aus. Sie muss durch eine Kontrolle der molekularen Verunreinigung (AMC: Airborne Molecular Contamination) ergänzt werden. Dies wird mithilfe des zusätzlichen Einbaus von geeigneten Molekularfilterstufen in der Filteranlage erreicht (Filter auf Basis imprägnierter oder nicht imprägnierter Aktivkohle/chemischen Adsorptionsmedien).

Dort wo die Außenbereiche besonders verschmutzt sind wird es empfohlen, für Komfort und Gesundheit des Personals einen Molekularfilter in der Lüftungsanlage zu installieren (EN 13779:2007 Tabelle A 5). Zu diesem Zweck kann eine zusätzliche Filterstufe mit „Rapid Adsorption Dynamics“ (RAD) vorgesehen werden, die gegen ein großes Spektrum von Luftschadstoffen (Ozon, VOC) und Gerüche wirkt oder einfach ein Filter vom Typ „2 in 1“ verwendet werden, der die beiden Funktionen der Partikel- und Molekularfiltration verbindet (Abb. 4).

5. Luftfilter und deren Vor-Ort-Prüfung

5.1 Vorfilter- und Luftrückgewinnungsstufen

Während der Test- und Einstellungsphasen beim Einbau ist es unerlässlich, das Lüftungssystem effizient zu schützen, damit es sauber bleibt. Das heißt, dass vor allem keine provisorischen Filter mit einem geringeren Wirkungsgrad in Lüftungs- und Rückgewinnungssystemen installiert werden dürfen, denn insbesondere in dieser Zeit, in der die Baustelle besteht, ist der Staubgehalt in der Luft am größten.

5.2 Endständige Filter

„Absolute“ Filter dürfen erst eingesetzt werden, wenn sie notwendig sind: Die Bauarbeiten müssen beendet sein, das Luftfiltersystem sowie der Raum müssen im Vornherein gereinigt sein.



Abb. 4: Kombinationsfilter Aktivkohle / F7; Typ: Citycarb.

Die Abnahme resultiert aus der ISO-Norm EN 14644-3 mit Messungen der Luftmenge, Geschwindigkeit und vor allem der Leckfreiheit der eingesetzten Filter. Hierfür sollte die Installation mit einer Prüfaerosolaufgabe, die vom Raum aus zugänglich ist, ausgerüstet sein. Zusätzlich müssen alle Elemente, wie Filtermedium, Rahmen, Anschluss, Spannvorrichtung überprüft werden.

6. Überwachung von Luftfiltern

6.1 Vorfilterstufen

Ein geeignetes Kontrollmittel ist die Überwachung der Druckdifferenz. Da die Druckdifferenz eines Filters an die Luftmenge gekoppelt ist, ist es angebracht, eine Messung der Druckdifferenz stets mit der Messung der Luftmenge zu verbinden.

6.2 Endständige Filter

Die Messung der Druckdifferenz, verbunden mit der Messung der Luftmenge (siehe ISO EN 14644-3), ist ein zu überwachender Parameter. Dennoch ist die Entwicklung der Druckdifferenz bei den Endfiltern für gewöhnlich langsamer oder sogar sehr langsam im Vergleich zu den Vorfilterstufen (teilweise 5 bis 10 Jahre).

Das wichtigste Kriterium ist die Unversehrtheit des installierten Filters gemäß ISO EN 14644-3. Eine

jährliche Durchführung dieser Kontrolle ist vernünftigerweise anzuwenden. Die gängige Praxis in der pharmazeutischen Industrie ist zweimal jährlich.

Fachliteratur

- EN 779 Februar 2003: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung
- EN 1822-1 Januar 2011: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
- EN 1822-2 Januar 2011: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 2: Aerosolerzeugung, Messgeräte, Partikelzählstatistik
- EN 1822-3 Januar 2011: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 3: Prüfung des planen Filtermediums
- EN 1822-4 Januar 2011: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 4: Leckprüfung des Filterelementes (Scan-Verfahren)
- EN 1822-5 Januar 2011: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 5: Abscheidegradprüfung des Filterelementes
- Reinräume und Bereiche mit überwachter Umgebung – Konzeption, Umsetzung und Betrieb
- EN 13779 Juli 2007: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen
- EN 12237 Juni 2003: Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech
- EN 1507 Juli 2006: Lüftung von Gebäuden – Rechteckige Luftleitungen aus Blech – Anforderungen an Festigkeit und Dichtheit
- EN 13053 November 2006: Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten
- EN 1886 Januar 2008: Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Mechanische Eigenschaften
- ISO EN 14644-3 „Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Teil 3: Prüfverfahren“