

Neue Entwicklungen bei RLT-Filterinstallationen

Der Filterpreis ist wichtig,
doch das Verhältnis Filterleistung zu Betriebskosten ist entscheidend

Arnold Brunner, Brunner Haustechnik AG, CH-8304 Wallisellen-Zürich

Der Beitrag vermittelt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Filtertechnik. Die richtige Auswahl der Filterqualitäten - vor allem der Vorfilter - spielt eine wichtige Rolle für die Qualität der Zuluft. Der Beitrag geht auf die wesentlichen Aspekte ein. Es werden Hinweise gegeben, wie die Forderung der neuen SWKI-Richtlinie 2003-5 "Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen" im Bereich der Luftfiltration umgesetzt werden können.

Einstufige Filteranlagen

Einstufige Filteranlagen sind nur für den Einsatz in einfachen RLT-Anlagen wie z. B. für Rohstofflager, Werkstätten oder untergeordnete Nebenräume genügend. Dabei dienen die Filter einerseits der Reinigung der Aussenluft und andererseits dem Schutz der RLT-Komponenten. Vor Verunreinigung sollten vor allem die RLT-Komponenten wie Kanalsystem, Wärmetauscher und Ventilatoren geschützt werden.

Oft werden bei solchen Anlagen - wirtschaftlich begründet - Grobstaubfilter eingesetzt. Es gilt jedoch zu beachten, dass Filter der Klasse G4 zwar einen Gesamtabsciedeegrad von 45 Gewichts% aufweisen, jedoch lediglich 5% der Partikelgesamtmenge abscheiden. Von den Partikeln der Grösse 5,0 µm werden ca. 98 %, von jenen der Grösse 0,3 µm jedoch lediglich 3,5% abgeschieden.

Zieht man in Betracht, dass die Partikelgrösse wesentlicher Mikroorganismen und Allergene im Bereich von 1,0 µm bis 10 µm liegt, muss für eine Einfachfilteranlage eine Mindestfiltration von F5 (besser F6) gefordert werden. Diese Filter scheiden ca. 12% der Partikelgesamtmenge (60 Gewichts%) ab und halten 30% der Partikel der Grösse 1,0 µm zurück und das steigend bis 75% der Partikelgrösse 2,5 µm. Einstufige Filteranlagen sind nicht geeignet für den Einsatz in RLT-Anlagen, die der Belüftung von Aufenthaltsräumen (Büros etc.) dienen und/oder lange Betriebszeiten aufweisen (Wirk- und Rohstofflager). Einstufige Filteranlagen sind ebenfalls nicht geeignet für Aussenluftaufbereitungsanlagen für nachgeschaltete Reinraum-Umluftinstallationen (z.B. FFU Filter-Fan-Units).

Abluftfiltration: Zum Schutz des Kanalnetzes ist bei hoher Kontamination schwerer Stäube (Wäge- und Umfüllplätze für Wirkstoffe, Flusen, Aerosole von Kühlflüssigkeit, Fettdämpfe, etc.) eine einstufige Quellablufiltration angezeigt. Dabei sind Filter der Klassen F5 bis F9 (Roh- oder Wirkstoffe) bzw. Flusen- oder Fettfilter angezeigt.

Um jedoch einen optimalen Geräteschutz (Wärmetauscher, Ventilatoren) gewährleisten zu können, sollte am Geräteeintritt bzw. vor der zu schützenden Komponente mindestens ein F5-Filter eingebaut sein.

Mehrstufige Filteranlagen

Ist ein höherer Reinheitsgrad der Zuluft gefordert, kommen mehrstufige Filteranlagen zum Einsatz. Die Festlegung der einzelnen Filterstufen hängt von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Aussenluftkontamination
- Raumklassierung (Reinraumklasse)
- Raumnutzung (Emissionen im Raum)
- Betriebszeit (Aufenthaltszeit, Exposition empfindlicher Güter)
- Dichtheit der Gebäudehülle
- andere Einflussfaktoren

Die erste Filterstufe dient der Vorfiltrierung und dem Geräteschutz. Da eine weitere Stufe nachgeschaltet wird, ist für die Klassenfestlegung des Erstfilters der Geräteschutz massgebender Parameter. Deshalb sollte der Erstfilter mindestens die Klasse F5 aufweisen (siehe oben). Die im November 2003 publizierte SWKI-Richtlinie 2003-5 "Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen", die Textgleich mit der VDI 6022 ist, empfiehlt als Erstfilterstufe einen Filter der Klasse F6 einzusetzen.

MP10 ist die Bezeichnung von Partikeln mit einem Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$. Sie sind lungengängig und gelten deshalb als besonders gesundheitsgefährdend. Seit März 1998 bestehen in der Schweiz MP10-Grenzwerte in der Aussenluft von 20 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) als Jahresmittelwert, und $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesgrenzwert, der nur einmal im Jahr überschritten werden darf. Die heutige Luftqualität - vor allem in Städten - ist jedoch noch weit davon entfernt, diese Grenzwerte zu erreichen. Auch wird über einen MP2.5-Grenzwerte nachgedacht.

Um in Innenräumen einen akzeptablen Partikelpegel zu garantieren, ist es notwendig, die Zuluft optimal von Partikeln der MP-Klasse, also der Grösse $< 10 \mu\text{m}$ zu befreien, damit die in den Räumen generierten Partikel effizient ausgespült werden. Erst die besseren Filter der F-Klasse sind in der Lage, eine befriedigende Abscheidung der MP10-Partikel zu gewährleisten. Deshalb wird empfohlen, die Zuluft zu Aufenthaltsräumen - vor allem bei langen Aufenthaltszeiten wie Büros, Schlafräumen (Hotels), Versammlungsräumen, Spitalräumen, etc. - ein Luftfiltration der Klasse F8 oder sogar F9 einzusetzen.

Für die folgenden Filter ist zu beachten, dass die Klassensprünge von einem zum nächsten Filter nicht zu gross ausfallen. Als Faustregel sollen zwischen zwei Filterstufen 3 max. 4 Filterklassen liegen. Somit kann mit einer F6-Erstfiltrierung und einer F9-Zwischenfiltrierung eine Endfilterstufe H13 oder H14 eingesetzt werden, was in den meisten Fällen der Steril- bzw. Reinraumanwendung ausreichend ist.

Erstfilterstufe: Bei RLT-Anlagen, die eine hohe Betriebssicherheit gewährleisten müssen und/oder lange Betriebszeiten (Dauerbetrieb) haben, ist dem Schutz des Erstfilters erhöhte Beachtung zu schenken. Bei nebligen Witterungsbedingungen oder Schneefall ist mit dem Einfrieren des Filter zu rechnen.

Bei schneefall- oder regenexponierter Lage der Aussenluftfassung kann der Vorfilter durch Vor-schalten einer Absetzkammer (Revisionszugang beachten), in der die Luftgeschwindigkeit auf wenige cm/s reduziert wird, geschützt werden. Bei Vereisungsgefahr durch Nebel ist vor dem Erstfilter eine Lufterwärmung (z.B. aus der Kreislauf-Verbund-Wärmerückgewinnung) zu realisieren. Dies kann mit einem speziell konstruierten Lamellentauscher oder mit einem Glattrohrtauscher realisiert werden. Dabei ist der Reinigungszugänglichkeit und der Korrosionsbeständigkeit genügend Beachtung zu schenken. Im weiteren kann auch Umluftbeimischung zur erwünschten Reduktion der relativen Feuchte beitragen, wobei der erhöhte Volumenstrom sich negativ auf die Förderenergie auswirkt.

Diese Vorwärmung vor dem Erstfilter soll auch zur Reduktion der relativen Feuchte verwendet werden. Die SWKI-Richtlinie 2003-5 "Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen" verlangt, dass Filter kurzzeitig nicht über 90% r.F. und über drei Tage gemittelt nicht über 80% r.F.

belastet werden. Diesem Aspekt ist grosse Aufmerksamkeit zu schenken, da ein Pilzwachstum und eine Verkeimung zu einer wesentlichen Verschlechterung der Luft nach dem Erstfilter führen kann. Durch die Abgabe von Pilzsporen und Mikroorganismen, aber auch durch die Abgabe von Myko- bzw. Endotoxinen kann die Zuluft - auch wenn Schwebstofffilter nachgeschaltet sind - wesentlich beeinträchtigt werden. In ungünstigen Fällen kann ein Pilzbefall der entständigen Filter zu einer gravierenden Beeinträchtigung der Produktqualität führen.

Zweitfilterstufe: Für die Zweitfilterstufe, meistens am Ende des Aussenluftaufbereitungsgerätes platziert, ist zu beachten, dass durch Luftkühler (vor allem im Sommer und Herbst) und durch Befeuchter ebenfalls eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit entstehen kann (im speziellen durch Schichtungen). Wie bei den Erstfiltern führt dies zur Verkeimung der Filter und somit zu erhöhten Partikel- und KBE-Konzentrationen in der Reinluft. Es wird deshalb empfohlen, Filter der zweiten Stufe vor der Befeuchtungseinrichtung zu platzieren. Damit kann einem Mikrobenwachstum infolge eines feuchten Filtermediums vorgebeugt werden. Ist diese Anordnung nicht möglich, muss eine genügend lange Befeuchtungstrecke vorgesehen werden. Ist nach dem Kühler keine Nachwärmung eingebaut, so sind die Zweitfilter ebenfalls vor dem Kühler einzubauen, wobei zu beachten ist, dass der Kühler homogen mit maximal 2 m/s durchströmt wird.

Die SWKI-Richtlinie 2003-5 "Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen" hält folgendes fest: "Es muss sichergestellt sein, dass die Filter nicht selbst zur Quelle von Gesundheits- und Geruchsbelastenden Bestandteilen der Luft werden können."

Endfilter: Um eine Rekontamination der Zuluft zu Reinräumen und die periodische Reinigung der Zuluftkanäle (mit entsprechenden Anforderungen an das Kanalmaterial) zu vermeiden, wird die Endfilterstufe (Schwebstofffilter) meistens endständig ausgeführt, d.h. das Zuluftelement wird in Kombination mit dem Endfilter im Reinraum (meistens an oder in der Decke) platziert. Um die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten (Filterwechsel, Filterlecktest, integraler Abscheidegradtest) zu erleichtern, sind diese Filter unbedingt horizontal einzubauen.

Auswahl und Dimensionierung der Filter

Die Rahmenbedingungen

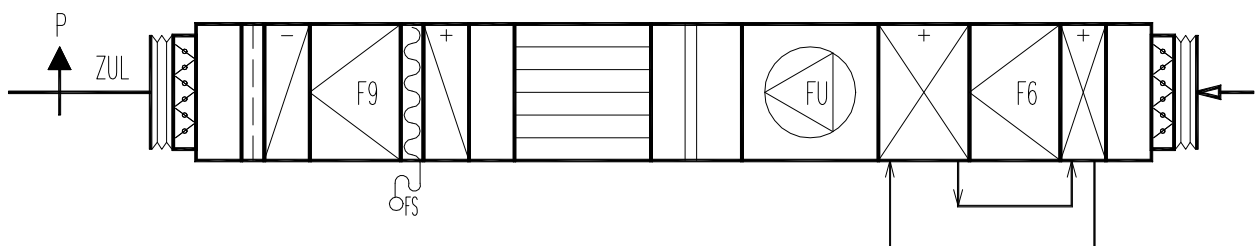
Aussenluftbedingungen: Um eine bestimmte Qualität der Zuluft garantieren zu können, muss der Grad der Aussenluftkontamination bekannt sein. Gestützt auf die fraktionierte Partikelmessung und die gasförmigen Inhaltsstoffe kann der Aufbau einer mehrstufigen Filteranlage definiert werden.

Aussenluftanteil: RLT-Anlagen für Reinräume werden meistens als Umluftanlagen realisiert. Dabei ist das Mischungsverhältnis von Aussen- und Umluft für die Zuluftqualität von entscheidender Bedeutung. Es ist darauf zu achten, dass die Umluft vor der Beimischung mindestens den gleichen Reinheitsgrad wie die Aussenluft aufweist, d.h. (als Faustregel) die Umluft soll mit der gleichen Filterqualität wie die Aussenluft aufbereitet werden.

Raumbedingungen / Raumkontamination: Um in einem Raum bestimmte Bedingungen (Raumklasse) einhalten zu können, sind nebst der Zuluftqualität und dem Zuluftvolumenstrom auch die Zuluftführung (turbulente Mischlüftung, Quelllüftung, turbulenzarme Verdrängungsströmung), die Temperaturverhältnisse, die Abluftentnahme aus dem Raum (Querlüftung), wie auch die im Raum emittierten Kontaminationen, aber auch die durch Undichtheiten der Raumumschliessungsflächen resultierenden Immissionen von wesentlicher Bedeutung.

Die betrieblichen Aspekte

Schutz von Geräten und Kanälen: Dem Schutz von RLT-Geräten und in erhöhtem Mass der Kanalverschmutzung ist nicht nur aus Sicht der Qualitätserhaltung grösste Beachtung zu schenken, sondern auch aus Gründen des Brandschutzes und der Hygiene. Verschiedene Untersuchungen zum Thema "Indoor Air quality" führen Krankheitssymptome des Sick-Building-Syndroms auf ungenügende Luftqualität in Aufenthaltsräume zurück. Dabei spielt die Luftfiltrierung eine wesentliche Rolle (59% der RLT-Filteranlagen von 695 untersuchten Gebäuden zeigten eine ungenügende Wirksamkeit [HK 5/93, S102]). Es ist zu vermuten, dass nicht nur in Komfortanlagen, sondern auch in den Aussenluftaufbereitungsanlagen für Reineräume ähnliche Verhältnissen anzutreffen sind, diese jedoch wegen den hochwertigen, entständigen Schwebstofffiltern nicht sofort bemerkt werden. Eine ungenügende Vor- und Zwischenfiltrierung belastet jedoch die Endfilter in hohem Masse, was zu verkürzten Standzeiten und somit zu stark erhöhten Betriebskosten führt.



Überwachung von Filteranlagen: Die zur Überwachung und Instandhaltung der Filteranlagen notwendigen Einrichtungen und Instrumente sind bereits in der Planung der RLT-Anlagen vorzusehen. So sind Filtergehäuse von Grob- und Feinstaubfiltern für die visuelle Kontrolle mit Schaugläsern (wenn möglich mit Sicht auf die Anströmfläche) und Differenzdruckanzeige ev. mit Differenzdruckmessung auszurüsten.

Bei Schwebstofffilteranlagen sind die Zugabe des Messsaisols und - nach genügender Misch- bzw. Diffusionsstrecke - die entsprechenden Rohluftkonzentrations-Messstellen vorzusehen. In jedem Fall ist für den Lecktest eine genügende Zugänglichkeit zur Reinluft-Abströmfläche des eingebauten Schwebstofffilters zu gewährleisten. Horizontal endständig im Raum eingebaute Schwebstofffilter bieten die Möglichkeit, einen Gesamtabscheidegradtest mittels Trichter durchzuführen.

Durch das periodische Erfassen aller Filter-Differenzdrücke kann aus dem Verlauf der Druckverlustkurve eine Prognose für die Standzeit gemacht bzw. der Zeitpunkt des Filterwechsels abgeschätzt werden. Dazu sind die Filter-Differenzdrücke in die vom Lieferanten der Anlagendokumentation beigelegten Tabelle einzutragen (siehe Beispiel).

Instandhaltung: Die Instandhaltungsarbeiten bei Filtern beschränken sich im wesentlichen auf die Sichtkontrolle (Pilzbefall), das Erfassen der Differenzdrücke und das Ersetzen der Filter selbst. Wesentlich bei der Inbetriebsetzung ist die Kontrolle des Filterrahmens bzw. der Filterhalterung. Oft ist die Verbindung des Rahmens zum Gehäuse bzw. zum Zentralengerät ungenügend gedichtet. Ist dies bei Filteranlagen niedriger Abscheideleistung von kleinerer Bedeutung, so kann ein undichter Filterrahmen bei den höheren Feinstaubfiltern und vor allem bei den Schwebstofffiltern zu erheblichen Reduktionen der integralen Abscheideleistung oder sogar zu ungenügenden Filtrationsergebnissen führen. Wird die Rahmen-Gehäuse-Verbindung mit plastischer

Beispiel einer Filter-Druckverlust-Aufzeichnung vor Ort

| Filter-Druckverlustüberwachung | | | | | | | | | | | | | Blatt-Nr. | | | | |
|--------------------------------|----------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------------|---------------------------------|------------|------------|-----------|----|----|----|----|
| RLT-Anlage | Anlage-Nummer | <u>B.+4.L.201</u> | | | | | | | Anlage-Bezeichnung | <u>AUL-Aufbereitung Trakt B</u> | | | | | | | |
| Luftfilter | Filter-Typ | <u>Feinstaubfilter Typ F5</u> | | | | | | | Filter-Typ | <u>Feinstaubfilter Typ F5</u> | | | | | | | |
| | Anzahl | <u>4 Stück 1/1-Zellen</u> | | | | | | | Anzahl | <u>2 Stück 1/2-Zellen</u> | | | | | | | |
| | Bestellnummer | <u>XX-65-11-A</u> | | | | | | | Bestellnummer | <u>XX-65-12-A</u> | | | | | | | |
| Filterlieferant | Adresse | <u>Haubensack + Staub AG</u> | | | | | | | Telefon | <u>098 / 765 43 21</u> | | | | | | | |
| | | <u>9876 Partikeilingen</u> | | | | | | | Fax | <u>098 / 765 43 20</u> | | | | | | | |
| Techn. Daten | Nennluftmenge | <u>12'000</u> | | | | | | | [m ³ /h] | | | | | | | | |
| | Max. Einsatzzeit bis | <u>29. Februar 2004</u> | | | | | | | Anfangswiderstand | <u>25</u> | | | | | | | |
| | Ableseintervall | <u>1/2-monatlich / monatlich / 2-monatlich</u> | | | | | | | max. Endwiderstand | <u>230</u> | | | | | | | |
| Datum | 01.04. | 01.05. | 01.06. | 01.07. | 01.08. | 01.09. | 01.10. | 01.11. | 01.12. | 01.01. | 01.02. | 01.03. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Druckverlust [Pa] | <u>25</u> | <u>30</u> | <u>35</u> | <u>39</u> | <u>46</u> | <u>63</u> | <u>80</u> | <u>110</u> | <u>145</u> | <u>170</u> | <u>185</u> | <u>230</u> | | | | | |
| 300 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 280 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 260 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 240 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 220 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 180 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 160 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 140 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 Pa | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Dichtungsmasse nachgedichtet, so kann es im Laufe der Jahre durch Alterung der Dichtungsmasse zu Ablösungen und somit zu unerwünschten Leckagen kommen.

Das Erfassen und Eintragen der Filterdifferenzdrücke in das Datenblatt hilft die Ersatzteilhaltung zu reduzieren, bzw. die Filter müssen nicht auf Vorrat eingekauft werden. Bei den Schwebstofffiltern ist sowieso von einer Lagerhaltung abzuraten, da durch die langen Standzeiten die „Reservefilter“ durch die Alterung schon beim Einbau nur noch beschränkt einsatzfähig sind.

Die Auslegung von Filteranlagen

Zur Auslegung von Filteranlagen bietet die "SWKI-Richtlinie 96-4 für die Verwendung von Filtern in lufttechnischen Anlagen" eine gute Hilfestellung. Diese Richtlinie wird jedoch in den nächsten Monaten (2004) überarbeitet und den geänderten Basis-Richtlinien, im Besonderen der SN EN 779 "Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik (Grob- und Feinstaubfilter)", angepasst. Im folgenden wird noch auf weitere zu beachtende Einflussfaktoren hingewiesen.

Druckverlust / Förderenergie: Durch die langsame, nahezu laminare Durchströmung des Filtermediums weisen Filter eine lineare Druckverlust-Charakteristik auf, d.h. eine Verdoppelung des Volumenstromes führt nicht zu einer Vervierfachung sondern lediglich zum doppelten Druckverlust. Trägt nun eine mehrstufige Filteranlage z.B. zu 30% zum Anlagendruckverlust bei, so ist der lineare Druckverlustanteil der Filter bei der Ermittlung der Netzkennlinie gesondert zu erfassen.

Da bei der Inbetriebsetzung (IBS) die Filter einen geringen Druckverlust aufweisen und der Gesamtdruckverlust der Anlage unter dem Auslegungsdruckverlust liegt, ist - bedingt durch die Ventilatorenkennlinie - der einzuregulierende Volumenstrom um die halbe Volumenstromdifferenz (z.B. 5%) höher zu kalkulieren. Wird bei der IBS der Soll-Luftvolumenstrom eingesetzt, so reduziert sich durch den Anstieg des Filterdruckverlustes der Volumenstrom ab dem Sollwert. Der resultierende Volumenstrom liegt somit um den ganzen Differenzvolumenstrom unter dem Sollwert und kann zu ungenügender Luftförderung führen.

Wird der zunehmende Druckverlust der Filter nicht durch drehzahlregulierte Ventilatoren ausgeglichen, so ist mit einem erhöhten Förderenergieaufwand (bei tolerierter Volumenstrom-

Sollwertabweichung) zu rechnen. Da der Volumenstrom um die halbe Volumenstromdifferenz höher einreguliert werden muss (z.B. 5%, siehe oben), führt dies zu einem bleibend höheren Förderenergieaufwand.

Wird z.B. bei einer VAV-Anlage (variabler Volumenstrom) eine druckgeführte Ventilator-Drehzahlregulierung eingesetzt, sollte die Druckmessstelle nach den Filtern angeordnet werden, so dass der variable Filterdruckverlust miterfasst werden kann. Dadurch wird die aus dem Filterdruckverlust resultierende Volumenstromveränderung automatisch mitkompensiert.

Filterstufung: Die "SWKI-Richtlinie 96-4 für die Verwendung von Filtern in lufttechnischen Anlagen" gibt in Kapitel 5.3 eine Hilfestellung für die Bestimmung der einzelnen Filterstufen bei mehrstufigen Filteranlagen. Wie weiter oben dargestellt, sollten G4-Filter jedoch nur in Ausnahmefällen und die Filter der Klasse G2 und G3 gar nicht als Erstfilter eingesetzt werden. Die SWKI-Richtlinie 2003-5 "Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen" empfiehlt folgende Filterstufung:

- erste Filterstufe mind. F5 möglichst F7
- zweite Filterstufe mind. F7 möglichst F9
- bei nur einstufiger Filterung mind. F7

Bei Betrachtung der integralen Abscheideleistung von mehrstufigen Filtern über das ganze, fraktionierte Partikelspektrum, sind erhebliche Unterschiede in der Abscheideleistung der einzelnen Filterstufen festzustellen. Da die Abscheideleistung der in der Lufttechnik eingesetzten Tiefenfilter prozentual verläuft, ist die Reinluft-Partikelkonzentration proportional zur Rohluft-Partikelkonzentration.

Beispiel: Ein Vorfilter der Klasse G4 hat im Bereich der 0,3µm-Partikel lediglich eine Abscheidung von 3,5 % bzw. einen Durchlassgrad von 96,5 % der Aussenluft-Partikelkonzentration. Der Zweitfilter (z.B. ein F7-Filter) scheidet 63,0 % der 0,3µm-Partikelzahl ab, d.h. der Erstfilter ist nahezu unwirksam - die Abscheideleistung wird in diesem Partikelbereich fast vollständig vom zweiten Filter übernommen.

| Partikuläre Betrachtung der Abscheidung im Bereich der 0,4 µm-Partikel | | | | | | |
|--|----------------|---------------|----------------------------------|----------------|--------------|----------------------------------|
| | Filteranlage A | | | Filteranlage B | | |
| | Klasse | Abscheidung | Partikelzahl in P/m ³ | Klasse | Abscheidung | Partikelzahl in P/m ³ |
| Aussenluft | | 100 % | 172'000'000 | | 100 % | 172'000'000 |
| Erstfilter | G4 | 4,5 % | 7'740'000 | F6 | 14,0 % | 24'080'000 |
| Resultierend | | 95,5 % | 164'260'000 | | 86,0 % | 147'920'000 |
| Zweitfilter | F7 | 35,0 % | 57'491'000 | F9 | 90,0 % | 133'128'000 |
| Resultierend | | 62,1 % | 106'769'000 | | 8,6 % | 14'792'000 |

| Gravimetrische Betrachtung der Gesamtabscheidung | | | | | | |
|--|----------------|---------------|------------------------------|----------------|--------------|------------------------------|
| | Filteranlage A | | | Filteranlage B | | |
| | Klasse | Abscheidung | Gewicht in ng/m ³ | Klasse | Abscheidung | Gewicht in ng/m ³ |
| Aussenluft | | 100 % | 20'000,0 | | 100 % | 20'000,0 |
| Erstfilter | G4 | 32,8 % | 6'560,0 | F6 | 54,1 % | 10'820,0 |
| Resultierend | | 67,2 % | 13'440,0 | | 45,9 % | 9'180,0 |
| Zweitfilter | F7 | 53,7 % | 7'217,3 | F9 | 81,9 % | 7'518,4 |
| Resultierend | | 31,1 % | 6'222,7 | | 8,3 % | 1'661,6 |

ng/m³ Nanogramm pro Qubikmeter

In der Tabelle wird der Einfluss der Filterwahl anhand einer Gegenüberstellung von zwei mehrstufigen Filteranlagen dargestellt. Die tabellarische Darstellung zeigt, dass die Filteranlage B im partikulären Bereich beinahe 8x bessere Ergebnisse liefert (für den Reinraum-Bereich wichtig). Gravimetrisch vermag diese Filterkombination den Staubeintrag ins Gebäude auf einen Viertel der Filteranlage A zu reduzieren.

Zur schnellen und „auf der guten Seite liegenden“ Abschätzung der Partikelabscheidung können die Durchlassgrade im MPPS¹ der jeweiligen Filterstufen multipliziert werden. Da der Filter per Definition im MPPS den höchsten Durchlassgrad des ganzen Partikelspektrums aufweist und die einzelnen MPPS nicht auf den gleichen Partikeldurchmesser fallen, wird die integrale Partikelabscheidung der ganzen Filteranlage zwingend einen besseren Abscheidegrad aufweisen.

Durch die Definition der Filterklassierung nach SN EN 779:2002 im fraktionierten Partikel-Durchmesser von 0,4 µm ist nun eine Annäherung an den Gesamtabscheidegrad möglich (wie oben beschrieben).

Standzeitbeschränkungen: Die Standzeit eines Filters wird von folgenden wesentlichen Faktoren beeinflusst:

- Luftvolumenstrom
- Aussenluftqualität
- Vorfiltrierung
- Abscheideleistung
- Speicherfähigkeit
- Luftfeuchtigkeit
- Hygiene
- Alterung
- andere Einflussfaktoren

Im wesentlichen wird heute die Druckdifferenz als Parameter für den Ersatz eines Filters angenommen. Weitere Gründe können jedoch einen Filterwechsel notwendig machen. So können von den eingelagerten Schadstoffen unangenehme Geruchsemissionen ausgehen, in seltenen Fällen kann es auch zur Freisetzung von Endotoxinen (durch eingelagerte Bakterien) kommen. Bei hohen Luftfeuchtigkeiten (> 80%) ist mit einem Pilzwachstum mit entsprechender Sporenbildung und -absonderung in die Reinluft zu rechnen. Bei Pilzbefall eines Filters ist dieser möglichst sofort auszutauschen.

Bei Schwebstofffiltern ist die Alterung oft ein wesentliches Kriterium für den Wechsel. Die meisten Filterhersteller dichten das Filtermaterial zum Rahmen hin mit Kunstharz ab. Dieses Harz, aber auch die Dichtung des Filterdichtsitzes sind einer Alterung unterworfen. Schwebstofffilter sollten deshalb spätestens nach 7-8 Jahren ausgetauscht werden.

Beim Einsatz von chemischen Mitteln z. B. zur Desinfektion aber auch bei der Filtration chemisch kontaminierter Abluft, ist die Tauglichkeit der im Filter verwendeten Materialien bzw. deren langjährige Resistenz vom Hersteller prüfen zu lassen.

Die wirtschaftlichen Aspekte

Filtertyp: Wie oben ausgeführt, verhält sich in einem Filterelement der Druckverlust zum Volumenstrom und somit zum Energieverbrauch „lediglich“ proportional. Trotzdem lohnt es sich, in einer RLT-Anlage die endständigen Filterauslässe aufeinander abzustimmen, d.h. eventuell den Volumenstrom auf die erhältlichen Filterelemente (Grösse) anzupassen, möglicherweise lohnt es sich sogar, verschiedene Filterbauarten einzusetzen.

Auf objektspezifische, unterschiedlich gefaltete Filter, die unterschiedliche Druckverluste und resultierend unterschiedliche Volumenströme aufweisen, sollte im Interesse des Kunden und dessen Instandhaltungsaufwendungen (nicht zu vernachlässigen die Lieferbarkeit der Filter nach 5, 10 oder sogar 15 Jahren), verzichtet werden.

Filterersatzintervall: Von den in der Raumlufttechnik eingesetzten sogenannten Tiefenfiltern werden die Partikel nach anfänglicher Verschlechterung (elektrostatische Entladung des Filtermediums) mit zunehmendem Beladungsgrad besser abgeschieden, d.h. die Kurve im Druckverlust-Zeit-Diagramm steigt nach einer längeren linearen Periode „plötzlich“ an. Stellt man nun durch

¹ Most Penetrating Particle Size / dem Durchlassgradmaximum entsprechender Partikeldurchmesser

Eintragen der periodisch abgelesenen Differenzdrücke diese Zunahme der Steigung fest, ist ein baldiger Filterersatz angezeigt.

Nach längerer Beobachtungszeit mit Aufzeichnung der Druckverluste kann bei mehrstufigen Filteranlagen durch die richtige Wahl der Filterqualitäten ein wirtschaftliches und energetisches Optimum gefunden werden. Dabei ist zu beachten, dass Erstfilter nicht länger als ein Jahr und Zweitfilter nicht länger als zwei Jahre im Einsatz sein sollten (Empfehlung VDI 6022). Für eine Optimierung des Filterersatzes sowie für eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema "Filterkosten - Energieverbrauch durch Druckverlust - Wechselintervall" bietet die "SWKI-Richtlinie 96-4 für die Verwendung von Filtern in lufttechnischen Anlagen" nebst den für den Planer und Anwender relevanten Auszüge aus der EN 779 und EN 1822 wertvolle Hilfestellungen und Informationen (z.B. Filterprüfung, Lecktest, Filterbaugrößen etc.).

Filterkosten: In der folgenden Zusammenstellung sind drei mögliche Filterkombinationen dargestellt und berechnet. Dabei wird deutlich, dass der Filtereinkauf lediglich rund 20% der Gesamtbetriebskosten ausmacht. Die Förder-Energie- und Wartungskosten überwiegen die Gesteuerungskosten der Filter um das 4-fache. Damit wird auch klar, dass Standzeit-, Druckverlust- und Hygiene-Aspekte einen wesentlicheren Einfluss auf die Gesamtkosten haben und ein "billiger" Filter sich nicht rechnet.

Auch wird durch die Zusammenstellung klar, dass einstufige Filteranlagen einen erheblichen Reststaubgehalt in das Gebäude ermöglichen.

| Filter-Wahl | Einkauf Filter | | | Reststaub in Zuluft | Betriebskosten | | | Anteil Einkauf |
|-------------|----------------|-------------|--------|------------------------|----------------|-----------|----------|-------------------|
| | Erstfilter | Zweitfilter | Total | | Filter | Reinigung | Total | |
| F7 – F7 | 138.00 | 138.00 | 276.00 | 761 g/a | 6'558.00 | ? | 6'558.67 | 18,9 % |
| F7 – F9 | 138.00 | 175.00 | 313.00 | 266 g/a | 7'728.00 | ? | 7'728.00 | 17,5 % |
| F6 – F9 | 134.00 | 175.00 | 309.00 | 310 g/a | 7'528.00 | ? | 7'528.00 | 17,7 % |
| F5 | 118.00 | 0.00 | 118.00 | 2'315 g/a | 3'193.00 | ? | 3'193.00 | 22,2 % |
| F6 | 134.00 | 0.00 | 134.00 | 1'712 g/a | 3'165.00 | ? | 3'165.00 | 23,2 % |
| F7 | 138.00 | 0.00 | 138.00 | 1'309 g/a | 3'666.00 | ? | 3'666.00 | 22,6 % |

Grundlage: Pro Jahr 1 Satz Erstfilter, 1/2 Satz Zweitfilter (21'240 m³/h)

Bezugsadresse SWKI-Richtlinien: www.swki.ch

Wallisellen, 14. November 2003, A. Brunner