Reinigung der Außenluft verbessert Innenluft

Luftfiltration - Ein Element bei der Lösung von Raumluft-Problemen



Die Qualität von Luft in Gebäuden kann ein wichtiger Diskussionspunkt im Bereich der Luftreinigung werden. Die effektive Reinigung der Außenluft mit Partikelfiltern ist ein Faktor, der zu diesem Ziel beiträgt. Um einen geeigneten Filter festlegen zu können, müssen die Quellen der Verunreinigung bekannt sein. Diese Quellen sind in der Natur vorkommende

Partikel (Stäube, Mikroorganismen) und anthropogene Partikel. Zur Vermeidung von Problemen ist es notwendig, die Partikelgrößenverteilung und die Konzentration der Stäube und Mikroorganismen sowie die Bedingungen für Wachstum und Vermehrung der Mikroorganismen zu kennen und sie bei der Auslegung von RLT-Anlagen einzubeziehen. Die existierenden Filternormen geben nur indirekt Informationen über Partikelgrößen. Zur Lösung von Raumluftproblemen ist die Auswahl geeigneter Filter anhand ihres Fraktionsabscheidegrades notwendig; richtige Auslegung und Wartung der RLT-Anlage sind Voraussetzung.

Dr.-Ing. Heinz Reinhardt, Weinheim (Bergstr.)

Der Qualität von Luft in Gebäuden wird zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt, und es ist gut möglich, daß dieses Thema zu einem der wichtigsten Diskussionspunkte im Bereich der Luftreinigung während der neunziger Jahre wird. Der Hintergrund hierfür sind Entwicklungen auf verschiedenen Gebieten:

- Im Bereich des Umweltschutzes (Reinigung der Außenluft) wurden auf vielen Gebieten Fortschritte erzielt. Dies führte zu einer Verbesserung der Qualität der Außenluft.
- Auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes sind MAK- und TRK-Werte aufgestellt, die die maximal erlaubte Konzentration von Partikeln und Gasen an Arbeitsplätzen festlegen. Als Folge verbesserte sich die Situation an gewerblichen Arbeitsplätzen.
- Im Bereich der Raumluft wurde durch Ereignisse, wie das Auftreten der "Legionärskrankheit" in Philadelphia, die Aufmerksamkeit auf die Tatsache gelenkt, daß man bis zu 80% der Zeit in Gebäuden verbringt.
- Das "sick building syndrom" (SBS), über das zuerst in den siebziger Jahren in den USA und Skandinavien berichtet wurde, ist als Problem erkannt worden, das die Gesundheit und die Produktivität insbesondere von Beschäftigten in Bürogebäuden beeinflußt.

 Die generelle Haltung der Menschen hat sich geändert. Heute achten viel mehr Menschen auf Umwelt und Gesundheit.

Faktoren, die die Qualität von Luft in Gebäuden beeinflussen

Die Vielfalt der Faktoren, die die Qualität von Luft in Gebäuden beeinflußt, ist sehr groß. Prinzipiell können die Quellen für die Verunreinigung von Raumluft gemäß dem Schema in *Tabelle 1* unterteilt werden. Die unterschiedlichen Quellen stellen verschie-

dene Anforderungen an die Problemlösung.

Die Qualität der Luft in Gebäuden wird durch Parameter beeinflußt, die aus einer dieser Quellen allein oder aus ihrer Kombination stammen. Im folgenden wird der Fall

Tabelle 1: Quellen für die Verunreinigung der Raumluft

Herkunft	von	von
Komponente	draußen	drinnen
Partikel Gase, Dämpfe	×	×

partikelförmiger Immissionen von draußen behandelt und beschrieben, was zu beachten ist, damit Filter zur Erhöhung der Qualität der Luft beitragen können.

Partikel als Quelle für Probleme in Gebäuden

Unter Partikel werden hier alle Elemente in festem Zustand verstanden, die in der Umgebungsluft gefunden werden können. Es gibt natürlich vorkommende Partikel (Stäube, Mikroorganismen) und anthropogene Partikel.

Zur Auswahl eines geeigneten Filters braucht man Informationen über die Art der abzuscheidenden Partikel. Die wichtigsten Faktoren sind die Parameter Partikelgröße und Partikelkonzentration. Außerdem müs-

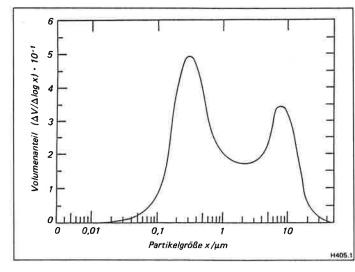


Bild 1: Partikelgrößenverteilung von Stadtluft

sen die Bedingungen für Wachstum und Vermehrung von Mikroorganismen berücksichtigt werden.

Partikelgröße und chemische Zusammensetzung der Staubpartikel

Bezogen auf die Anzahl weisen die meisten Partikel in der Außenluft eine Größe von < 1 μ m auf. Aus gravimetrischen Messungen können weitere Informationen gezogen werden. In *Bild I* ist die Massendichteverteilung normal verschmutzter Stadtluft zu sehen [1]. Sie ist eine bimodale Verteilung mit einer ersten Spitze im Bereich < 2 bis 5 μ m und der zweiten Spitze > 2 bis 5 μ m. Durch diese beiden Spitzen werden die beiden Hauptquellen für Partikel in der Atmosphäre repräsentiert.

Partikel > 2 bis 5 µm sind vor allem natürlichen Ursprungs. Die Partikel bestehen hauptsächlich aus Substanzen, die in der Erdrinde gefunden werden können mit chemischen Elementen wie z.B. Silizium, Kalzium, Titan, Kalium, Eisen und anderen. Partikel <2 bis 5 µm stammen vorherrschend aus anthropogenen Quellen, wie z.B. Verkehr, zahlreichen industriellen Prozessen, Verbrennungsprozessen (Kraftwerke, Haushalt). Chemisch bestehen sie zumeist aus Kohlenstoff in Form von Ruß, der seinerseits vor allem Schwefel an der Oberfläche adsorbiert.

Eine wichtige Partikelquelle ist in Küstengebieten die See, die Salzpartikel typischerweise im Bereich < 2 µm generiert.

Die Partikelgrößenverteilung von Stadtluft variiert in Abhängigkeit von lokalen Bedingungen (Wohngebiet, Industriegebiet, ländliches Gebiet) und Wetterbedingungen (Trockenperiode, Regen, Smog). Wichtig ist auch der Ort der Probenahme, aber die grundlegende bimodale Charakteristik der Partikelgrößenverteilung ändert sich nicht.

Mikroorganismen und Viren

Aus der Sicht der Filtration können Mikroorganismen in erster Näherung als Partikel mit der zusätzlichen Fähigkeit zu wachsen und sich zu vermehren betrachtet werden. Im Erdboden, im Wasser, in Tieren sowie im und auf dem menschlichen Körper gibt es eine große Anzahl von Species. Ein Mensch gibt täglich ungefähr 160 mg Mikroorganismen ab.

Mikroorganismen können in Bakterien, Rickettsien, Protozoen und Pilze unterteilt werden. Im Moment sind ungefähr 3 700 Species Bakterien bekannt. Die Speciesanzahl der Pilze wird auf mindestens 100 000 geschätzt. Viele Species sind ubiquitär.

Bei der Diskussion dieses Themas ist die Kenntnis dieser Größenordnung wichtig. Wir sind in unserem täglichen Leben von Mikroorganismen umgeben, und der menschliche Körper ist nicht nur darauf vorbereitet, mit Mikroorganismen zu leben; er ist von ihnen abhängig. Wichtig ist die Kenntnis der pathogenen Mikroorganismen, die Infektionskrankheiten auslösen können und/oder allergische Reaktionen verursachen. Im Vergleich zu der riesigen Anzahl bekannter Mikroorganismen ist die Anzahl der pathogenen Mikroorganismen gering. So sind z.B. 50 bis 100 Pilzspecies für Menschen pathogen.

Größenbereich von Mikroorganismen und Viren

In *Bild 2* ist der Größenbereich der oben erwähnten Gruppen von Mikroorganismen wiedergegeben [2]. Zusätzlich kann hier der Größenbereich der Viren entnommen werden. Heute sind ungefähr 600 verschiedene Virenspecies bekannt. Die Größe der kleinsten Species liegt im Größenbereich 17 bis 30 nm (= 0,017 bis 0,03 μ m); die größten Species sind ungefähr 250 nm (= 0,25 μ m) groß.

Die größeren Species können unter einem Lichtmikroskop sichtbar gemacht werden, zur Detektion der kleineren ist ein Rasterelektronenmikroskop notwendig.

Im unizellularen Zustand liegt die Größe von Bakterien hauptsächlich im Bereich zwischen 0,2 und $5~\mu m$.

Bakterien können in die Gruppen Kokken, stäbchenförmige Bakterien und L-förmige Bakterien unterteilt werden. *Tabelle 2* gibt eine Übersicht über die Größen bedeutender Bakterien.

Das kleinste Bakterium ist pseudomonas diminuta mit einer Breite von $0.2~\mu m$. Mehr als 99% aller Bakterien sind größer als $1~\mu m$ [3].

Kokken sind besonders wichtig, da sie, auch wenn sie ausgetrocknet werden, lange überleben und sich deshalb in der Umgebungsluft ausbreiten können.

Der Gesamtkörper der Pilze ist i.allg. ≥ 100 μm und von unterschiedlichster und komplexer Form. Sie bestehen meist aus langen Zellfäden (sogenannten Hyphen) mit typischen Durchmessern von 3 bis 10 μm. Ihre Sporen (Konidien) liegen im Größenbereich von 2 bis 80 μm. Aus *Bild 3* ist das Aussehen wichtiger Pilze zu entnehmen.

In Tabelle 3 sind Größenangaben zu einigen bedeutenden pathogenen Pilzspecies wiedergegeben.

Faktoren, die das Wachstum von Mikroorganismen beeinflussen

Wichtige Faktoren für das Wachstum von Mikroorganismen sind Temperatur, pH-Wert und Feuchtigkeit. Dabei ist zwischen dem Wachstumsbereich und dem Überlebensbereich zu unterscheiden.

Gemäß ihrem Verhalten in Abhängigkeit von der Temperatur lassen sich Mikroorganismen in psychrophile, mesophile und

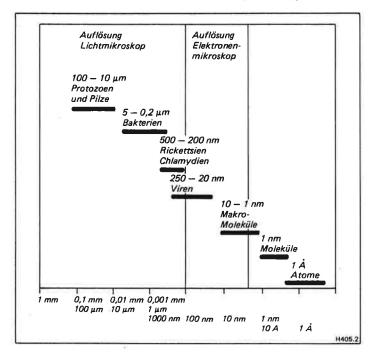


Bild 2: Abmessungen von Mikroorganismen, Viren und Molekülen

Kokken Staphylokokken	0,8 bis 2 μm 0,8 bis 1 μm
Stäbchenförmige Bakterien • Mycobakterien • Pseudomonas • E. coli • Legionellen	0,4 μm breit, 3 bis 4 μm lang 0,5 μm breit, 1,5 bis 4 μm lang ≈ 0,5 μm breit, ≈ 1 μm lang 0,3 bis 0,9 μm breit, 2 bis 20 μm lang
L-förmige Bakterien Vibrio cholerae	0,3 bis 0,4 μm breit, 1,5 bis 2 μm lang

Tabelle 2: Abmessungen bedeutender Bakterien

thermophile Species unterteilen. Wie man aus Bild 4 sehen kann, können im Fall der Bakterien nur die thermophilen Species nicht im Temperaturbereich von 10 bis 30 °C wachsen, dem Bereich, in dem die Temperatur von Raumluft normalerweise liegt.

Die meisten Bakterienspecies bevorzugen den neutralen bis leicht alkalischen Bereich. Im stark alkalischen Bereich (pH >9-10) wachsen einige Kokken, und selbst bei pH = 12 wachsen noch Species.

Dagegen ziehen die Pilze eine sauere Umgebung (pH <7) vor, in der Bakterien bei pH-Werten unter 3 bis 4 nicht mehr wachsen.

Das wichtigste Element für Stoffwechselaktivität, Wachstum und Vermehrung von Mikroorganismen ist die Feuchtigkeit. Der beste Weg, um Probleme mit Mikroorganismen zu vermeiden, ist die Vermeidung hoher Feuchtigkeiten.

Die Mikrobiologen benutzen in diesem Zusammenhang den "Wasseraktivitätswert" (a_w) als Maßeinheit, der die für das Wachstum der Mikroorganismen verfügbare Wassermenge darstellt. Er ist definiert als das Verhältnis des Wasserdampfpartialdrucks über der Substanz zum Sättigungsdruck über reinem Wasser bei der gleichen Temperatur, ist also analog der Definition der relativen Feuchtigkeit aufgebaut.

In Tabelle 4 sind einige minimale aw-Werte aufgeführt. Sie gelten bei Vorliegen der optimalen Temperaturen. Unterhalb dieser Werte hört das Wachstum der angegebenen Mikroorganismen auf. Sinkt oder steigt die Temperatur, sind höhere aw-Werte nötig.

Zum Wachsen brauchen Bakterien eine Feuchtigkeit > 90%, Optimalbedingungen für das Wachstum liegen bei Feuchten um 98 bis 99% vor. Pilze können in die hydrophilen, mesophilen und xerophilen Species unterteilt werden, die bei einer Feuchtigkeit >90%, 70 bis 90% bzw. <70% wachsen.

Ein a_{w} -Wert von 0,65 bis 0,70, d.h. eine relative Gleichgewichtsfeuchte von 65 bis 70%, wird als untere Grenze für das Wachstum von Pilzen betrachtet. Das Wachstum bei dieser Feuchtigkeit ist sehr gering, selbst bei den xerophilen Species. In [6] sind die minimalen und optimalen a_w -Werte von 41 Pilzspecies wiedergegeben.

Atmosphäre

Partikelkonzentration in der

Die Partikelkonzentration in der Atmosphäre variiert von Ort zu Ort und hängt stark von den Wetterbedingungen ab. In Bild 5 sind Mittelwerte aus 87 Meßstationen für die Partikelkonzentrationen in Deutschland in den Jahren 1991 und 1992 wiedergegeben. Die Werte sind in µg/m³ angegeben.

Luftgetragene Partikel können von vielen organischen und anorganischen Materialien als Träger benutzt werden. Bakterien

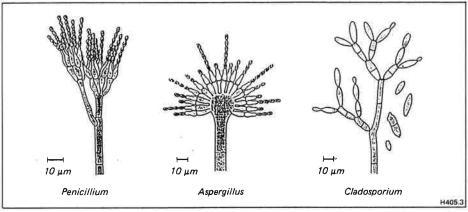


Bild 3: Aussehen wichtiger Pilze

und andere Mikroorganismen haften oft an der Oberfläche von festen und flüssigen Aerosolen oder bilden untereinander Cluster. In einer Untersuchung [7] wurde eine gute Korrelation von Staubpartikeln > 3 µm und Mikroorganismen gefunden, in einer anderen waren 79% aller analysierten Partikel entweder Einzelbakterien oder ein Staubpartikel, an dem ein Bakterium an der Oberfläche anhaftete [8].

Die Konzentration von Mikroorganismen in Umgebungsluft variiert beträchtlich je nach Jahreszeit und meteorologischen Einflüssen wie Windgeschwindigkeit, Temperatur, Feuchtigkeit und Ort. In Außenluft wurden Werte zwischen 100 und 500 Mikroorganismen pro m³ gezählt. 500 bis 2 000 Mikroorganismen pro m³ können, abhängig von der Zahl der Anwesenden, in einem normalen Raum gezählt werden. In nichtklimatisierten Operationsräumen werden im allgemeinen 500 bis 1 000 Mikroorganismen pro m³ festgestellt [9]. In Tierställen (z.B. Schweineställen) steigt die Zahl pro m³ auf 10 000 bis 100 000 Mikroorganismen, und in einigen Gebieten der Landwirtschaft kann die Anzahl sogar 10⁸ pro m³ übertreffen [10].

Tabelle 3: Größenangaben zu bedeutenden Pilzarten

der Hyphen > 3 bis 4 µm Sporen > 2 µm Sporen
> 2 µm Sporen >3 bis 4 µm Sporen

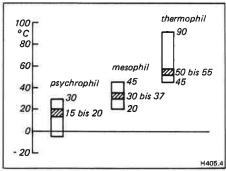


Bild 4: Temperaturbereich für Wachstum unterschiedlicher Bakterien [4]

Tabelle 4: Mikroorganismen und ihr minimaler aw-Wert [5]

Mikroorganismen	Minimum a _w -Wert		
Bakterien (generell)	0,91		
Hefen (generell)	0,88		
Osmophile Hefen	0,60		
Pilze (generell)	0,80		
Xerophile Pilze	0,65		

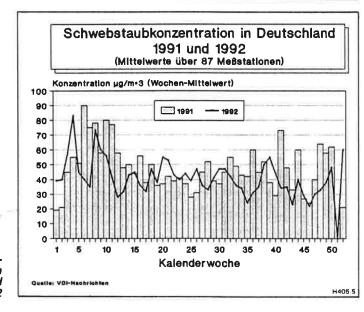


Bild 5: Schwebstaubkonzentration in Deutschland 1991 und 1992

Der Einsatz der Partikelzählmethode zur korrekten Klassifizierung von Filtern in einer Norm kann schwieriger sein als ihr Einsatz bei der Lösung spezieller Probleme. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Zielsetzung.

Die Normung muß sicherstellen, daß die gefundenen Resultate präzise sind und reproduziert werden können. Die auftretenden Abweichungen müssen minimiert werden, denn es kommt in erster Linie auf die unter diesen Bedingungen erhaltenen Zahlenwerte an.

Bei der Lösung eines speziellen Problems kommt es dagegen neben der Definition der korrekten Meßstrategie auf die Interpretation der Resultate in der gegebenen Situation an.

Partikelzählen muß sehr sorgfältig durchgeführt werden. Es ist viel Erfahrung notwendig, die im täglichen Umgang mit dem Partikelzähler gewonnen werden muß.

In Tabelle 5 sind Fraktionsabscheidegrade von Luftfiltern dargestellt. Sie wurden bei Nennluftvolumenstrom in neuem Zustand unter Einsatz von atmosphärischem Staub gemessen.

In der Kopfzeile der Tabelle sind die Partikelgrößen in [um] angegeben, in den beiden ersten linken Spalten die Einteilung von Filtern nach DIN 24185 bzw. EUROVENT 4/5 (Filterklassen EU 1 bis EU 9) sowie der neuen EN 779 (G 1 bis G 4, F 5 bis F 9).

Aus der Tabelle kann z.B. entnommen werden, daß die gemessenen EU-7-Filter die Partikelgröße 1 µm zu 90% bis 97% abscheiden.

So kann eine Korrelation zwischen der Klassifizierung nach EUROVENT 4/5, DIN 24185, EN 779 und der partikelgrößenabhängigen Abscheidung hergestellt werden. Solche Informationen sind zur Verbesserung der Luftgüte in Gebäuden notwendig.

Empfehlungen und Hinweise

Mit den in den vorigen Abschnitten zusammengestellten Informationen läßt sich generell die Empfehlung ableiten, daß durch den Einsatz von Luftfiltern in der Praxis ein hoher dauerhaft erreichbarer Fraktionsabscheidegrad im Partikelgrößenbereich 1 bis 3 um gewährleistet sein sollte.

Verglichen mit aus Büros entnommenen Stäuben konnte in von Filtern abgeschiedenem Staub mit 70 bis 3 400 Pilzen und 100 bis 670 lebensfähigen Bakterien pro Gramm Staub dieselbe Größenordnung für Pilze und weniger für Bakterien nachgewiesen werden [11]. Dies bedeutet einerseits, daß geeignete Filter neben Stäuben auch Mikroorganismen abscheiden.

Andererseits führt deren Abscheidung zu einer Anreicherung im Filter, und es muß verhindert werden, daß sich einmal abge-

Tabelle 5: Werte des Fraktionsabscheidegrades von Luftfiltern

Partikelgröße [µm]		0,12	0,3	0,5	1	3	5	10
EURO- VENT 4/5 DIN 24185	EN 779	-						
Grobfilter								
EU 1 EU 2 EU 3 EU 4	G 1 G 2 G 3 G 4	- - -	<u>-</u>	- - 0-5	- 0-5 0-10	5-15 10-20 20-30	5-10 15-35 25-45 40-55	50 - 70 50 - 80 70 - 90 80 - 95
Feinfilter								
EU 5 EU 6 EU 7 EU 8 EU 9	F 5 F 6 F 7 F 8 F 9	0-10 5-15 25-35 35-45 45-60	5 - 15 10 - 25 45 - 50 65 - 75 75 - 85	15 - 25 20 - 40 60 - 75 83 - 90 90 - 95	30 - 40 55 - 65 90 - 97 95 - 99 > 99	65 - 85 88 - 94 > 99 ≈ 100 ≈ 100	90 - 95 98 ≈ 100 ≈ 100 ≈ 100	97 - 99 ≥99 ≈ 100 ≈ 100 ≈ 100

schiedene Partikel vom Filter lösen und in den Reinluftstrom gelangen oder daß Luftzustände am Filter anliegen, die das Wachstum von Mikroorganismen begünstigen.

Wenn in einem konkreten Fall SBS-Merkmale auftreten oder wenn Allergiker geschützt werden müssen, ist eine weitergehende Partikelfiltration, eventuell kombiniert mit dem Einsatz sorptiv arbeitender Verfahren, sinnvoll.

Bei der Zuluftfiltration von Operationsräumen sind Filter der Klassen EU 1 bis EU 9 bzw. G 1 bis G 4 und F 5 bis F 9 nicht ausreichend. Hier ist nach DIN 1946 Teil 4 eine dreistufige Filtration mit einem Schwebstoffilter Klasse S oder Klasse R (Durchlaßgrad < 0,1% nach DIN 24184, nachgewiesen durch ein Prüfzeugnis) vorgeschrieben.

Wichtig ist die sorgfältige Wartung der RLT-Anlage. Dazu gehören die regelmäßige Reinigung und die Einhaltung optimaler Filterwechselintervalle. Außerdem kann es von Vorteil sein, die RLT-Anlage nachts und an Wochenenden mit verringertem Luftdurchsatz durchlaufen zu lassen. Mikrobiologische Anlagenkontrollen sollten bei Vorliegen von SBS-Merkmalen durchgeführt werden.

Bei der Beschäftigung mit dem Thema fällt auf, daß viele Dinge ungeklärt sind oder widersprüchliche Ansichten existieren.

In der Grundlagenforschung gibt es Defizite bei allen beteiligten Disziplinen, in der Filtertechnik z.B. ist das Verhalten von biologischen Partikeln beim Auftreffen und die Haftung an der Faseroberfläche eines Filters ungeklärt.

Zum Nachweis luftgetragener Keime sollten außerdem Standardmeßmethoden definiert werden, die die Vergleichbarkeit der gefundenen Resultate gewährleisten.

Eine weitere Fragestellung betrifft die Sinnhaftigkeit der Verwendung bakterizider und fungizider Substanzen.

Interessant wären schließlich Arbeiten, die die Beziehungen zwischen abgeschiedenen Stäuben, in RLT-Anlagen herrschenden Bedingungen sowie den notwendigen Filterleistungen behandeln. Die Ergebnisse dieser Arbeiten könnten in die Weiterentwicklung von Filterkonzepten einfließen. [H 405]

Literaturangaben

- [1] Hinds, W. C.: Aerosol Technology, John Wiley & Sons, Inc., New York Brisbane (1982).
 [2] Wiesmann, E.: Medizinische Mikrobiologie. 5. Auflage, G. Thieme Verlag, Stuttgart New York
- (1982).
 [3] ASHRAE Standard 62-1989 "Ventilation für Acceptable Indoor Air Quality" (1989).
 [4] Wallhäuser, K. H.: Praxis der Sterilisation, Desinfektion Konservierung. 4. Auflage, G. Thieme Verlag, Stuttgart New York (1988).
 [5] Rehm: Einführung in die industrielle Mikrobiologie. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1971).
- [6] Reiß, J.: Schimmelpilze. Lebensweise, Nutzung, Schaden, Bekämpfung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1986). [7] Simecek; Kneiflová; Stochl: Untersuchungen
- zur Luftverunreinigung durch Mikroben und Staub. Staub 46 (1986) Nr. 6, S. 285.
- [8] Fisar; Hýsek; Rinek: Quantification of airborne
- [8] Fisar; Hýsek; Rinek: Quantification of airborne microorganisms and investigation of their interactions with non-living particles. Int. Journal of Biometeorology, vol. 34, p. 189/193, (1990).
 [9] Botzenhart: Klimaanlagen in Krankenhäusern, Öffentl. Gesundh. Wesen 38 (1976), S. 319.
 [10] Chapman, J. A., et al.: Fungus allergen exposure during midwest fall crop harvest. J. Allergy Clin. Immun., vol. 77 (1986), Pt. 2: 200.
 [11] Valbjam Nielsen; Gravesen, Mølhave: Dust in Ventilation Ducts. Proceedings Indoor Air Quality Toronto 1990, vol. 3, p. 361 (1990).

449