

Martin Möritz
Henning Rüden

Mikrobiologische Aspekte der Luftfiltration

Es wird vermutet, daß mikrobielle Vorgänge auf Luftfiltern in raumlufttechnischen Anlagen mitverantwortlich sind für das Auftreten gesundheitlicher Beschwerden in künstlich belüfteten Innenräumen. Daher wurde durch umfangreiche Feld- und Laboruntersuchungen das Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern sowie deren Abgabe von den Filtern untersucht. Es zeigte sich, daß das Verhalten von Mikroorganismen auf (gebrauchten) Luftfiltern hauptsächlich durch die relative Luftfeuchtigkeit bestimmt wird. Durch einfache konstruktive und betriebstechnische Maßnahmen an RLT-Anlagen kann eine Vermehrung von Mikroorganismen auf Luftfiltern vermieden werden.

Microbiological aspects of air filtration

It is presumed, that microbiological effects on air filters in air handling systems are responsible for health inconveniences in mechanical ventilated rooms. Therefore, field tests and laboratory tests of the behaviour of micro organisms in air filters have been carried out. The behaviour of micro organisms on used air filters are mainly influenced by the air humidity. By simple design and operational measures in air handling systems an augmentation of the micro organisms in filters can be avoided.

Keywords: air handling systems, air filters, Sick Building Syndrom, number of nucleus

Dr.-Ing. M. Möritz, Prof. Dr. med. H. Rüden, Institut für Hygiene, Freie Universität Berlin

1. Gegenstand und Ziel der Untersuchungen

Im Zusammenhang mit der künstlichen Belüftung von Innenräumen wird, insbesondere seit 1977 [1], bei Personen, die sich über einen längeren Zeitraum in solchen Innenräumen aufhalten, in zunehmendem Umfang über erhebliche gesundheitliche Beeinträchtigungen geklagt, die zusammengefaßt als Sick Building Syndrom (SBS) bezeichnet werden. Obwohl über das Auftreten dieser Symptome – allerdings in geringerem Umfang – auch in nicht klimatisierten Räumen geklagt wird, werden die Ursachen vielfach RLT-Anlagen zugeschrieben [2-7]. Für gesundheitliche Störungen, die durch RLT-Anlagen verursacht sein sollen, werden neben dem Umlaufsprühbefeuchter und dem Kühler vor allem die Luftfilter verantwortlich gemacht [8-16]. Hierbei stehen (mikro-)biologische Vorgänge im Vordergrund.

Bei den o. g. Untersuchungen zum Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern in RLT-Anlagen war die Frage relevant, ob es (unter bestimmten Rahmenbedingungen) zu einer Vermehrung von Mikroorganismen auf Luftfiltern kommen kann oder ob die Mikroorganismen auf den Luftfiltern absterben. Ursachen für eine Vermehrung von Mikroorganismen auf Luftfiltern können u. a. die Temperatur und die relative Feuchtigkeit der Luft, aber auch die Filterinhaltsstoffe bzw. das Filtermedium selbst sein. Die Folgen einer solchen Vermehrung sind ein „Mehr“ an Bakterien und Pilzen auf den Luftfiltern und damit verbunden die eventuelle Abgabe von Mikroorganismen bzw. deren Stoffwechselprodukten (mikrobiell produzierten leichtflüchtigen organischen Substanzen (mVOC)).

Ebenso wird möglicherweise auch das Absterben von Mikroorganismen auf Luftfiltern zum einen durch die klimatischen Zustände der Luft sowie die Luftfilterbestandteile und das Filtermedium selbst bestimmt, zum anderen können aber auch Schad- und sonstige Luftinhaltsstoffe eine antimikrobielle Wirkung besitzen. Durch das Absterben von Mikroorganismen auf Luftfiltern können Zerfallsprodukte und ebenfalls mVOC

auf den Luftfiltern gebildet werden, die möglicherweise anschließend an die Luft abgegeben werden. Gelangen diese Stoffe in die zu belüftenden Räume, so können sie bei den dort exponierten Personen die o. g. gesundheitlichen (z. B. allergischen) Reaktionen auslösen.

Im Rahmen des seit April 1993 am *Institut für Hygiene* durchgeführten FLT-Forschungsvorhabens „Rückhaltevermögen von Luftfiltern für Pilze als Allergenträger in raumlufttechnischen Anlagen“ wurden das Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern sowie die Möglichkeit der Abgabe von Mikroorganismen an die filtrierte Luft untersucht.

Bei diesen Untersuchungen standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Welchen Einfluß haben die klimatischen Parameter Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit auf das Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern? (Laborversuche)
- Wie hoch ist die Konzentration an Mikroorganismen auf Luftfiltern in RLT-Anlagen? (Felduntersuchungen)
- Welches Rückhaltevermögen haben Luftfilter gegenüber Mikroorganismen in RLT-Anlagen? (Felduntersuchungen)

Zu den einzelnen Fragen wurden nachfolgende Ergebnisse erzielt.

2. Welchen Einfluß haben die klimatischen Parameter Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit auf das Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern?

In Laborversuchen wurde der Einfluß der klimatischen Parameter der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte auf das Verhalten von Mikroorganismen auf den Luftfiltern untersucht. Da diese Parameter in RLT-Anlagen – zumindest in der ersten Filterstufe – zufällig auftreten und sich keinem geordneten Untersuchungsschema unterwerfen lassen, wurden diese Untersuchungen an speziellen Klima-Filter-Prüfständen (KFP) durchgeführt [12].

Diese KFP ermöglichen es, die in RLT-

Tabelle 1 Für die Laborversuche ausgewählte klimatische Bedingungen

Ausgewählte klimatische Parameter	
Lufttemperatur	15 °C, 30 °C
Luftfeuchtigkeit	60 % rF, 90 % rF, 100 % rF (Durchfeuchtung)

Tabelle 2 Einfluß der klimatischen Parameter der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte sowie der Filtermedien selbst auf das mikrobielle Verhalten auf Luftfiltern (GF-K: Glasfaser-Kassettenfilter)

Mikroorganismenart	Temperatur ↑	rel. Feuchte ↑	Filtermedium
Bakterien	–	↑	–
Mycelbildende Pilze	–	↑	(GF-K)
Hefen	–	↑	–

Anlagen auftretenden Betriebsbedingungen für Luftfilter bei frei wählbaren klimatischen Bedingungen identisch zu simulieren. Um die Untersuchungen unter möglichst realitätsnahen Bedingungen durchführen zu können, wurden keine künstlich mit Mikroorganismen beaufschlagten (ungebrauchten) Luftfilterproben, sondern „real“ bestaubte – also „native“ – Proben aus RLT-Anlagen entnommen. Während der Untersuchungen wurden diese Luftfilterproben für drei Wochen bei unterschiedlichen, aber während eines Versuchslaufes konstanten klimatischen Bedingungen durchströmt (Tabelle 1).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, blieb die Lufttemperatur ohne feststellbaren Einfluß auf die Vermehrung bzw. das Absterben der Mikroorganismen auf den Luftfilterproben. Ebenso zeigten sich weder für die verschiedenen Luftfiltermedien (Glas-, Synthese- und Zellulosefaser) noch -bauformen (Taschen- und Kassettenfilter) unterschiedliche Ergebnisse, so daß ein Einfluß hier nicht feststellbar ist. Dieses Ergebnis konnte – wie im folgenden noch gezeigt wird – in den Felduntersuchungen bestätigt werden.

Demgegenüber konnte in bezug auf die Luftfeuchtigkeit ein eindeutig wachstumsfördernder Einfluß hoher Luftfeuchte für alle untersuchten Mikroorganismenarten festgestellt werden. Bei Durchströmung der Luftfilter bei konstanten klimatischen Bedingungen kommt es ab einer „Grenzfeuchte“ von 90 % rF zu einer Vermehrung von Mikroorganismen auf Luftfiltern.

Da die Laboruntersuchungen an den KFP zwar bei verschiedenen, während eines Versuchslaufes aber konstanten klimatischen Bedingungen durchgeführt wurden, stellte sich die Frage, ob sich die

Mikroorganismen unter den wechselnden klimatischen Bedingungen in RLT-Anlagen (zumindest der ersten Filterstufe) ebenso verhalten, ob also die Ergebnisse auf die Bedingungen im Feld übertragbar sind.

Die Antwort zu dieser Frage wird durch die Ergebnisse der im folgenden dargestellten Felduntersuchungen gegeben.

3. Wie hoch ist die Konzentration an Mikroorganismen auf Luftfiltern in RLT-Anlagen?

Um zu erfahren, wie stark Luftfilter in RLT-Anlagen mit Mikroorganismen belastet sind und wie sich deren Konzentration in Abhängigkeit von verschiedenen Einflußfaktoren, wie z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Standzeit der Luftfilter etc., verändert, wurden über einen Zeitraum von 13 Monaten verschiedene Luftfilter aus zwei unterschiedlichen RLT-Anlagen entnommen und die Konzentration an Mikroorganismen auf den Luftfiltern nach einer neu entwickelten und validierten Methode ermittelt [18]. Die Ergebnisse dieser Felduntersuchungen brachten folgende Erkenntnisse:

- Wie bereits in den Laboruntersuchungen an den KFP festgestellt werden konnte, haben die unterschiedlichen Filtermedien, Filterbauformen sowie die von verschiedenen Filterherstellern eingesetzten Verarbeitungsverfahren und Zusatzstoffe keinen nennenswerten Einfluß auf das Verhalten (Absterben, Vermehrung) von Mikroorganismen auf Luftfiltern.
- Pilze auf Luftfiltern in RLT-Anlagen sind gegenüber sehr niedrigen Lufttemperaturen deutlich empfindlicher als Bakterien und Hefen und sterben daher auf den Luftfiltern nahezu vollständig ab.
- Keine der untersuchten Mikroorganismenarten ist in der Lage, langfristig auf dem Filtermaterial zu überleben, so daß es (langfristig) zu keiner Anreicherung (Akkumulation) von lebens- bzw. vermehrungsfähigen Mikroorganismen kommt. Die Bilanz der Mikroorganismenkonzentration in der Luft und auf den Luftfiltern zeigt, daß nach 13 Monaten Standzeit nur noch ca. ein 600stel der insgesamt innerhalb dieser Standzeit auf den Luftfiltern abge-

schiedenen Bakterien, ein 100stel der mycelbildenden Pilze und ca. ein 12 000stel der Hefepilze noch in vermehrungsfähigem Zustand auf den Luftfiltern nachweisbar waren.

Somit konnte gezeigt werden, daß Mikroorganismen auf Luftfiltern langfristig absterben. Daß es kurzfristig allerdings auch zu einer Vermehrung und Abgabe von Mikroorganismen von den Luftfiltern kommen kann, zeigen die Ergebnisse der im folgenden dargestellten Luftkeimzahlbestimmungen in zwei RLT-Anlagen.

4. Welches Rückhaltevermögen haben Luftfilter gegenüber Mikroorganismen in RLT-Anlagen?

Um diese Frage zu klären, wurde im März 1994 mit einer Untersuchungsreihe begonnen, in der in verschiedenen RLT-Anlagen an unterschiedlichen Standorten Berlins im Abstand von 14 Tagen mittels sechsstufiger Andersen-Kaskaden-Impaktoren die Luftkeimkonzentrationen jeweils vor und hinter den Luftfiltern bestimmt wurden [12, 19].

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, daß Luftfilter in RLT-Anlagen unter „normalen“ Bedingungen zu einer weitgehenden Abscheidung der in der Primärluft (vor den Vorfiltern) vorhandenen Mikroorganismen führen. Dabei entspricht die Abscheideleistung der Luftfilter gegenüber belebten Partikeln (Mikroorganismen) derjenigen gegenüber unbelebten Partikeln (Staub). Unter bestimmten klimatischen Bedingungen (langanhaltende hohe relative Luftfeuchtigkeiten) kann es allerdings zu einer deutlichen Vermehrung auf den Luftfiltern und infolgedessen zu einer erheblichen Abgabe von Mikroorganismen von den Luftfiltern kommen. Wie sich zeigte, ist dieser Vorgang aber für mycelbildende Pilze nur bei – in der Praxis nicht zu erwartenden – extrem hohen und gleichzeitig langanhaltenden relativen Luftfeuchten zu erwarten. Demgegenüber wurden die Vermehrung und Abgabe von Bakterien bereits beobachtet, wenn der Mittelwert der relativen Luftfeuchte über drei Tage 75 % überschritt. Dieser Zustand wurde in einer der beiden untersuchten RLT-Anlagen in den Wintermonaten 1994/95 erreicht, so daß es auf den Luftfiltern dieser RLT-Anlagen zu einer Vermehrung und anschließend zu einer Erhöhung der Luftkeimkonzentrationen durch die Luftfilter dieser RLT-Anlagen von bis zu 1400 KBE*/m³ kam.

* KBE = Koloniebildende Einheit

In der anderen untersuchten RLT-Anlage konnte weder in den Sommer- noch in den Wintermonaten eine Vermehrung und Abgabe von Mikroorganismen durch die Luftfilter beobachtet werden. Die Ursache hierfür liegt in der Anordnung der Vorerhitzer, die in dieser RLT-Anlage – in Strömungsrichtung gesehen – vor den Vorfiltern installiert sind. Durch die Erwärmung der Luft während des Betriebes der Vorerhitzer in den Wintermonaten kommt es im Bereich der Vorfilter zu einer Erwärmung der Luft und damit zu einer Absenkung der relativen Luftfeuchte, so daß hier die für das mikrobielle Wachstum notwendigen hohen relativen Luftfeuchten vermieden werden.

5. Zusammenfassung

Das Verhalten von Mikroorganismen auf (gebrauchten) Luftfiltern wird hauptsächlich durch die relative Luftfeuchte bestimmt. Hohe relative Luftfeuchten ($>90\% \text{ rF}$) ermöglichen eine Vermehrung von Mikroorganismen auf Luftfiltern (Laboruntersuchungen), wobei in den Felduntersuchungen eine Vermehrung von Mikroorganismen mit anschließender Abgabe an die Luft nur für Bakterien und nur in derjenigen RLT-Anlage beobachtet werden konnte, in der die Außenluft vor den Vorfiltern nicht aufbereitet (erwärmmt) wird. Durch die Anordnung von Vorerhitzern vor den Vorfiltern kann die Vermehrung von Mikroorganismen durch die Absenkung der relativen Luftfeuchte wirksam und (dort wo Vorerhitzer ohnehin vorhanden sind) ohne nennenswerten Energieaufwand vermieden werden.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des FLT-Forschungsvorhabens „Rückhaltevermögen von Luftfiltern für Pilze als Allergenträger in raumluftechnischen Anlagen“ durchgeführt und aus Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums unter der AiF-Nr. 9353 gefördert.

Schlüsselwörter

RLT-Anlage
Luftfilter
Sick Building Syndrom
Keimzahl

Literatur

- [1] Sterling, T. D., Sterling, E., Dimich-Ward, H. D.: Air Quality in Public Buildings with Health Related Complaints, ASHRAE Transactions 1983, part 2A, pp. 198–212
- [2] Heuberger, F.: Sick Building Syndrom – Der Einfluß von RLT-Anlagen auf Gesundheits- und Befindensstörungen von Menschen in Aufenthaltsräumen. Diplomarbeit am Fachbereich Versorgungs- und Energietechnik der Technischen Fachhochschule Berlin (1994)
- [3] Jaakola, J. J. K., Miettinen, P.: Type of ventilation system in office buildings and Sick Building Syndrome. Am. J. Epidemiol. 141 (1995) pp. 755–765
- [4] Kröling, P.: Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden. Zuckschwerdt Verlag München (1985)
- [5] Schicht, H. H.: Die Klimaanlage als Streuquelle von Mikroorganismen. Kälte-Klima-Rundschau 9 (1971) S. 29–34
- [6] Skov, P., Valbjørn, O. and the Danish Indoor Climate Study Group: The Sick Building Syndrome in the office environment – The Danish town hall study. Environ. Int. 13 (1987) pp. 339–349
- [7] Teeuw, B.: Sick Building Syndrome – the role of airborne microorganisms and endotoxin. Dissertation an der Universität Utrecht, Fakultät Gesundheitskunde, Niederlande (1993)
- [8] Bluyssen, M.: Filter als Luftverschmutzer? Berichte aus dem AIVC 26 (1993) S. 1–4
- [9] Elixmann, J. H.: Filter einer lufttechnischen Anlage als Ökosystem und als Verbreiter von Pilzallergenen. Dustri-Verlag Dr. Karl Feistle, München-Deisenhofen (1989)
- [10] Martiny, H., Möritz, M., Rüden, H.: Occurrence of microorganisms in different filter media of heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems. In: Indoor Air Quality 1994 Engineering indoor Environments, American Society of heating, refrigerating and air-conditioning Engineers (ASHRAE), Hrsg.: E. L. Besch, St. Lois (1994) pp. 131–137
- [11] Möritz, M., Rüden, H.: Filter contra SBS. Clima Commerce International (CCI) 29 (1995), 12 S. 90–92
- [12] Möritz, M.: Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern in raumluftechnischen Anlagen in Abhängigkeit von den klimatischen Parametern der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit. Dissertation am Fachbereich 6 Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Werkstoffwissenschaften der Technischen Universität Berlin (1996)
- [13] Neumeister, H., Möritz, M., Schleibinger, H., Martiny, H.: Investigations on allergic potential induced by fungi on air filters of HVAC systems. In: Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air '96 Nagoya, Japan, 1996 (in print)
- [14] Rüden, H., Botzenhart, K.: Untersuchungen zur Frage des Wachstums abgesiedener Mikroorganismen auf Glasfaser-Feinststaub- und Glasfaser-Hochleistungsschwebstoff-Filtern. Gesundheits-Ingenieur 95 (1974c) S. 318–321
- [15] Schleibinger, H., Böck, R., Rüden, H.: Air filters of HVAC systems – a possible source of volatile organic compounds of microbiological origin? The proceedings of Indoor Air Quality in Practice – Moisture and cold climate solutions, Hrsg.: G. Flatheim, K. Berg and K. I. Edvardsen, Oslo (1995) pp. 506–511
- [16] Teijonsalo, J., Pasanen, P., Seppänen, O.: Filters of air supply units as sources contaminants. In: Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Hrsg.: Seppänen, O., Ilmarinen, R., Jaakola, J. J. K., Kukkonen, E., Säteri, J., Vuorelma, H., Vol. 6, Helsinki (1993) 533–538
- [17] Baisch, T.: Die Wirkung wasserlöslicher Bestandteile aus Luftfiltern auf das Wachstumsverhalten verschiedener Mikroorganismen (in Arbeit), Fachbereich Humanmedizin der Freien Universität Berlin
- [18] Möritz, M., Martiny, H., Rüden, H.: Pilze und Bakterien auf Luftfiltern aus raumluftechnischen Anlagen – I. Mitteilung: Methode zum Nachweis von Pilzen und Bakterien auf Luftfiltern. Manuskript eingereicht (1996)
- [19] Hake, W.: Das Abscheideverhalten von Luftfiltern in verschiedenen RLT-Anlagen – ein Jahresgang. Dissertation (in Arbeit), Fachbereich Humanmedizin der Freien Universität Berlin

ABONNIEREN STATT KOPIEREN

Zeitschriften-Beiträge sind mit Sachverstand und Sorgfalt aus dem großen Berg von Informationen ausgewählt, geschrieben, zusammengestellt . . .

... ergeben zielgerechte Informationen:
Erfahrungen, die man kaufen kann.
Denn uns liegt daran, daß Sie als Leser mit erweitertem Wissen und vermehrten

Einsichten gut gerüstet sind.

Dies ist in Gefahr, wenn Zeitschriften-aufsätze kopiert werden!