

# Gesundheitliche Aspekte bei der Bewertung von Feuchteschäden mit Befall durch innenraumrelevante Schimmelpilze

Mario Blei, Klaus Fiedler

## 1. Einleitung

Seit einigen Jahrzehnten erfolgt die Einschätzung von Schimmelschäden in Innenräumen durch Sachverständige. Trotzdem ist bisher kaum eine wissenschaftlich begründbare und aus medizinischer sowie mikrobiologischer Sicht belastbare Bewertung der Exposition im jeweiligen Einzelfall möglich.

Neben der u. a. mietrechtlichen Auseinandersetzung zu Ursachen eines Befalls mit Schimmelpilzen steht häufig die Frage nach einer aktuellen oder rückwirkenden Bewertung des Gesundheitsrisikos. Hier soll ein Sachverständiger in der Praxis, im Auftrag von Gerichten oder Personen, oft ohne interdisziplinäre Begleitung durch Medizin, Mikrobiologie und Ingenieurwissenschaften, zwischen einer Gesundheitsgefährdung und Gesundheitsbeeinträchtigung unterscheiden sowie gleichzeitig zu deren Ursachen und Sanierung, ohne vorhandene wissenschaftliche Kriterien, werten.

Wie aus den bestehenden umweltepidemiologischen Studien zu schlussfolgern, ist auf Grund der komplexen Zusammenhänge zwischen Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall, den prädisponierenden Faktoren exponierter Menschen sowie den z. T. noch nicht bekannten Komponenten für eine Relevanz aus gesundheitlicher Sicht, das Aufstellen einer Dosiswirkungsbeziehung nicht möglich [1, 2]. Die fehlende Dosiswirkungsbeziehung ist ein wesentliches Hemmnis, neben hygienisch bedingten Vorsorgewerten und einer semi-quantitativen Risikobewertung, gesundheitsbezogene Richtwerte festzulegen.

Gesundheitliche Bewertungen von Feuchte-/Schimmelschäden und den von ihnen ausgehenden Risiken können daher nur interdisziplinär von Umweltmedizinern, Allergologen, Mykologen, Mikrobiologen in Zusammenarbeit mit Bausachverständigen durchgeführt werden.

## 2. Grundlagen für die Bewertung von Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall

### 2.1 Probeentnahmemethoden bei Schimmelschäden in Innenräumen

Expositionsmessungen sind eine wichtige Voraussetzung für Bewertungen hinsichtlich einer gesundheitlichen Relevanz bei Innenraumbelastungen durch Feuchte/Schimmelpilze.

Über Partikelsammlungen können tote Sporen, die als Allergen- und Mykotoxinträger relevant sind, nachgewiesen sowie über den Anteil der Basidiosporen der Außenlufteinfluss erfasst werden. Bei einer Kultivierung von Mikroorganismen ist neben der Keimzahlbestimmung auch eine Artdifferenzierung im Nachgang notwendig, um das Risiko einer potentiellen Gesundheitsgefährdung gut einschätzen zu können.

Das Verwenden von aufgestellten Schalen mit Nährmedien als Passivsammler in Räumen ist nicht zu empfehlen. Es besitzt nur bei der Überprüfung von Lüftungsanlagen Aussagekraft und ist damit nur unter Einschränkungen anzuwenden.

Durch die Untersuchung von Materialproben mit mikroskopischen Methoden können sofort und ohne Kultivierung Sporen und Hyphen nachgewiesen werden. Eine Bewertung der Raumluft ist auf diese Weise jedoch nicht möglich.

Zur Unterstützung von Raumluftmessungen kann eine Kontrolle der aktuellen Oberflächenbelastung durch sedimentierte keimfähige Mikroorganismen mit Hilfe von Abklatsch- oder Abdruckproben auf ein

geeignetes Nährmedium (z.B. DG 18, MEA) erfolgen. Eine Auswertung in KBE/cm<sup>2</sup> ermöglicht eine Einstufung in verschiedene Belastungskategorien.

Um von direkt sichtbaren befallenen Stellen eine schnelle mikroskopische Analyse durchführen zu können, verwendet man klarsichtige Klebestreifen oder Abrisspräparate. Gleichzeitig ermöglichen die Proben eine Aussage, ob es zur Hyphenbildung, also zum Auskeimen von Sporen und damit zum direkten Befall des Materials gekommen ist. Ebenso können mit dieser Methode schwer anzüchtbare Arten, wie *Stachybotrys spec.* differenziert werden.

Zusätzlich können Materialproben dazu dienen, die Sicherheit einer Aussage über eine mögliche Schimmelpilzbelastung zu erhöhen. Bei Proben in Innenräumen wird eine Aussage dadurch erschwert, dass z.B. durch das Reinigungsverhalten Ergebnisse unterschiedlich stark beeinflusst werden. Aussagen zur Schimmelpilzbelastung sollten sich daher nie allein auf eine Untersuchungsmethodik beziehen.

Für ein quantitatives MVOC-Screening wird ein entsprechendes Raumluftvolumen analysiert. Untersucht werden dabei die mikrobiell erzeugten, flüchtigen (gasförmigen) Verbindungen. Je nach ermittelter Konzentration kann man Rückschlüsse auf Altschäden oder noch aktiven nicht sichtbaren Befall durch Mikroorganismen ziehen. Da aber die Verbindungen, die beim MVOC-Screening erfasst werden, vielfach auch aus anderen Quellen stammen können, sind auch diese Messungen allein noch nicht ausreichend für die Beurteilung eines Schimmelschadens.

Über die Bestimmung von ATP-Konzentrationen in und auf befallenen Baumaterialien ist es in bestimmten Fällen möglich, Rückschlüsse auf die Intensität eines aktiven mikrobiologischen Befalls zu ziehen. Auch die Bestimmung des Protein-Gehalts kann als Methode zur Bestimmung eines aktiven Befalls, also der Biomasse, bei der Untersuchung von Materialproben genutzt werden.

## **2.2 Referenzen bei der mikrobiologischen Beurteilung von Schimmelschäden**

Die Zusammensetzung des bei der Messung bestimmten Artenspektrums an Schimmelpilzen liefert wichtige Informationen. Neben einer entsprechend erhöhten Konzentration an Mikroorganismen deuten einige Schimmelpilzarten als Indikatoren auf einen Feuchteschaden in Innenräumen hin. Die gemessene Konzentration ist daneben auch von der natürlichen Sporenkonzentration auf den jeweiligen Oberflächen und von der Überlebensfähigkeit der Schimmelkeime in der Luft abhängig.

Zu einer Messung gehört bei einer möglichen Beeinflussung durch Umweltfaktoren immer eine Vergleichsmessung z.B. der Außenluft, eines schadenfreien, vergleichbaren Raumes oder von nicht geschädigtem Material. Die Vergleichsmessungen sind in diesen Fällen die Referenz, an der das erzielte Ergebnis bewertet wird.

Außenluftmessungen unterliegen sehr starken tages-, jahreszeitlichen (Vegetationsperiode), witterungsbedingten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit) und standortbedingten (z.B. Nähe zu landwirtschaftlich genutzten Flächen, Parks, Feuchtgebieten etc.) Einflüssen. Oftmals ist daher genau dieser Vergleich der Außen- mit der Innenraumluft die größte Unsicherheit bei der Bewertung von Innenraumbelastungen. So können in der Außenluft keine oder sehr wenige KBE bis hin zu mehreren Millionen Zellen pro m<sup>3</sup> Luft vorhanden sein. Im Wochenverlauf sind Schwankungen der Keimkonzentration in der Außenluft von 10<sup>3</sup> – 10<sup>4</sup> KBE/m<sup>3</sup> nicht untypisch. Eine zuverlässige und sichere Bewertung der Schimmelpilzexposition in Wohnräumen ist mit heutigen Methoden bislang nicht eindeutig möglich.

Auch die Altstaubbelastung, das Nutzungs- und Reinigungsverhalten, bauliche Gegebenheiten (z.B. Baustoffe wie Holz, Lehm oder Stroh) sowie die Einrichtung der Räume haben Einfluss auf die Messungen. All diese Gegebenheiten müssen bei der Beurteilung der reinen Messwerte berücksichtigt werden. In Räumen mit Außenluftfilterung oder ständig geschlossenen, dicht schließenden Fenstern, hat die Außenluft dagegen keinen Einfluss.

Mikrobiologische Belastungen in feuchtegeschädigten Materialien zu bewerten, ist sehr schwierig. Daher sollte neben einer Keimbelastung im Material, möglichen natürlichen Grundbelastungen, Alt- und Neuschäden auch immer untersucht werden, welche möglichen Emissionspfade im jeweiligen Fall bestehen und welche Rolle sie für die Belastung der Bewohner spielen. Es ist daher jeweils im Einzelfall zu prüfen, ob und welche weiterführenden Untersuchungen für eine Bewertung, notwendig sind.

### **2.3 Definitionen, Abgrenzungen**

#### *Gesundheitsgefährdung*

Als Gesundheitsgefährdung gilt eine Einwirkung (Immission), durch die nach den Erfahrungen der medizinischen Wissenschaft die Möglichkeit besteht, Krankheitszustände (Organschäden, unerwünschte organische oder funktionelle Veränderungen) bei der Allgemeinbevölkerung, bei bestimmten Bevölkerungsgruppen oder auch Einzelpersonen hervorzurufen. Hierbei ist entweder im Einzelfall eine kausale Beziehung zwischen der Immission und den Auswirkungen auf den Organismus herzustellen oder auf der Basis der medizinischen Evidenz eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen solchen Zusammenhang abzuleiten. Das heißt, es muss das Gesundheitsrisiko („health hazard“) eingeschätzt werden. Das ist die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer gesundheitlichen Störung bei Personen oder Personengruppen, welche einem schädigenden Faktor ausgesetzt sind. Die Höhe des Gesundheitsrisikos ist abhängig von der Intensität und Dauer der Exposition sowie von der Wirksamkeit des Agens.

#### *Gesundheitsbeeinträchtigung*

Eine Gesundheitsbeeinträchtigung ist weniger als eine Gesundheitsschädigung, obwohl hier die Grenzen fließend sind und eine klare begriffliche Abgrenzung nicht möglich erscheint. Im angelsächsischen Sprachraum spricht man hierbei von „adverse health effect“. Hierbei gelten schon geringfügig nachteilige Einflüsse auf die menschliche Gesundheit, auf welche der Körper mit Symptomen, wie zum Beispiel Kopfschmerzen, Unwohlsein, Empfinden von Geruchsbelästigungen, reagiert und die durch ein bestimmtes Agens hervorgerufen werden, als gesundheitsbeeinträchtigend. Derartige Reaktionen treten individuell stärker, schwächer oder gar nicht auf. Wichtig ist dabei auch, wenn wir von akut wirkenden Schadfaktoren des Innenraumes ausgehen, dass diese Symptome sich bessern oder verschwinden, wenn man das Gebäude verlässt, und auftreten oder sich verstärken, wenn man das Gebäude wieder betritt. Ebenso kann es aber auch chronische Einwirkung geben, die den Körper langfristig beeinflussen, ohne dass zunächst gesundheitliche Wirkungen erkennbar sind.

### **3. Infektionen durch Schimmelpilze (Mykosen)**

Mykosen durch Schimmelpilze entwickeln sich meist durch die Aufnahme fakultativ pathogener Arten (Opportunisten) über die Luftwege. Da die Schimmelpilzmykosen nur bei einer stark ausgeprägten Abwehrschwäche der körpereigenen Abwehr auftreten, werden sie als „Krankheit der Kranken“ bezeichnet [3]. Mykosen innerer Organe durch primär pathogene Pilze sind in Europa selten, können aber aus dem tropischen Ausland „importiert“ werden und auch bei gesunden Menschen zu Krankheitserscheinungen führen [4].

Der primäre Infektionsherd ist meist die Lunge, seltener Nasennebenhöhlen und andere Organe. Vom Respirationstrakt aus können die Erreger sich über das Blut oder die Lymphwege verbreiten und dann andere innere Organe befallen. Mykosen durch Schimmelpilze sind schwere Erkrankungen mit schlechter Prognose. Prädisponierende Faktoren sind hier insbesondere immunsuppressive Therapien bei Transplantationen, Leukämien und andere Blutkrankheiten, Therapien mit hoch dosierten Kortikosteroiden, Lungenkrankheiten wie chro-

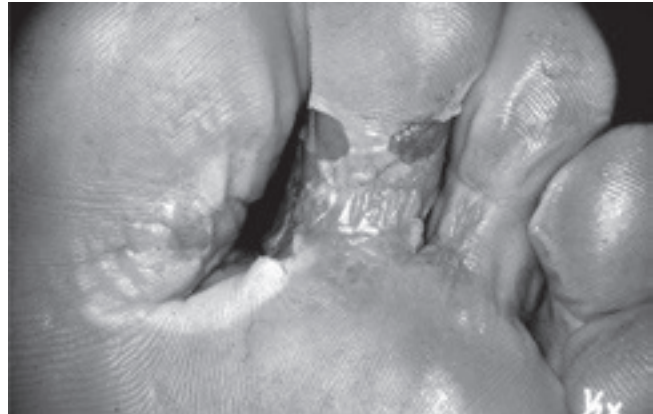


Abb. 1: Tinea pedis (Foto: Seidl, Lehrstuhl für Mikrobiologie und Klinik für Dermatologie und Allergologie, TU München)

nische Bronchitis und Tuberkulose, Diabetes, Autoimmunerkrankungen, Aids, Karzinome insbesondere mit Zytostatikabehandlung und schwere Leberfunktionsstörungen. Am wichtigsten sind die Aspergillosen und Mucormykosen. In den letzten Jahren treten auch Schwärzepilze (Dematiaceae) und hyaline Pilze (Fusarien u. a.), die nicht zu den klassischen Opportunisten gehören, vermehrt als Erreger auf [5].

Aspergillosen werden von den Schimmelpilzen *Aspergillus fumigatus* seltener von *Aspergillus flavus* und *Aspergillus niger* verursacht. *Aspergillus fumigatus* wächst bei der Körpertemperatur von 37 °C und produziert ein Toxin mit immunsuppressiver Wirkung (Gliotoxin) sowie das Restriktotoxin, welches die Proteinsynthese der Wirtszelle hemmt. Bei Transplantationen (Lunge, Leber, Knochenmark) können 9 bis 17 % der Todesfälle auf eine Aspergillose zurückgeführt werden [6].

Aspergillome sind kugelförmige nicht invasive lokal begrenzte Pilzansiedelungen, die sich in bronchiectatischen Kavernen, Zysten und Tumoren bilden. Auf der Grundlage einer chronischen Bronchitis können Aspergillen eine Bronchomykose hervorrufen.

Mucormykosen (Zygomykosen) werden durch die zu den Zygomyceten gehörenden Köpfchenschimmel *Mucor*, *Rhizopus*, *Rhizomucor* und *Absidia* hervorgerufen.

Auf Grund der altersbedingten Zunahme an immunsuprimierten Personen im Haushalt und der Zahl derer, die im Wohnumfeld weiter therapiert werden, sind in diesen Fällen besondere Hygienemaßnahmen (keine Topfpflanzen, Vogelhaltung, Kompostierung etc.) zu beachten.

#### **4. Nicht-allergische (toxische) Atemwegserkrankungen (Mykotoxikosen)**

Mykotoxikosen sind Vergiftungen durch Mykotoxine, die als sekundäre Metabolite in Form von niedrigmolekularen Biomolekülen, welche von Schimmelpilzen produziert werden, vorliegen.

Die bisherigen Daten zu Mykotoxikosen sind nicht ausreichend, um ein gesundheitliches Risiko einzuschätzen. Beschriebene Wirkungen beziehen sich oft auf extreme berufliche Exposition oder die orale Aufnahme [2]. Es besteht weiterhin Forschungsbedarf, um das Zusammenwirken vom weiteren Organismengruppen, wie gramnegativer Bakterien oder Actinobakterien zu bewerten.

Grundsätzlich können toxische Komponenten inhalativ, oral und perkutan aufgenommen werden, wobei nach derzeitigem Wissen dem inhalativen Aufnahmepfad die größte Bedeutung zukommt.

Über belastete Lebensmittel nimmt der Mensch eine Vielzahl von Toxinen auf, in denen die Toxinkonzentrationen weit über den bisher gemessenen Konzentrationen in der Innenraumluft bei Schimmelbefall liegen können.

Es ist daher nicht sinnvoll, bei gesundheitlichen Einschätzungen die Wirkungen aus oraler Aufnahme in Gutachten aufzunehmen und somit Grundlagen unnötiger Verunsicherung zu schaffen.

Mykotoxine sind vorwiegend in den Sporen der Schimmelpilze enthalten [7, 8] und können daher durch Sporen, welche Mykotoxine enthalten, eingeatmet werden. Einige Schimmelpilze produzieren Mykotoxine in verschiedenen Konzentrationen und Zusammensetzungen in Abhängigkeit von ihrem Genotyp, Stressfaktor, Feuchtigkeit, Temperatur und dem Substrat, auf welchem sie wachsen.

Die Inhalation von großen Mengen an Schimmelpilzsporen, Pilzfragmenten beziehungsweise staubgebundenen toxischen Stoffwechselprodukten kann zu Atemwegserkrankungen auch bei nicht atopisch disponierten Personen führen.

Insbesondere bei spezieller beruflicher Belastung (z.B. Landwirtschaft, Tierhaltung, Getreideverarbeitung, Abfallwirtschaft) sind zeitweise massive Expositionen gegenüber Schimmelpilzen möglich. Allerdings liegen die Sporenkonzentrationen hier um mehrere Zehnerprocente höher als in belasteten Haushalten. Die meisten Berichte über negative gesundheitliche Wirkungen von Mykotoxinen betreffen daher die Inhalation von Mykotoxinen bei Arbeitern in der Landwirtschaft.

Das Mucous Membrane Irritation Syndrom, welches gelegentlich auch bei mittleren Belastungen mit Schimmelpilzen ( $10^3/\text{m}^3$  Sporen) z.B. bei Beschäftigten in Archiven beobachtet wird, entsteht durch die Freisetzung sogenannter Entzündungsmediatoren (Zytokine). Die Symptome sind Hautentzündungen an nicht bedeckten Hautstellen, Konjunktivitis, Rhinitis, Halsentzündungen und irritatives Asthma. Die Wirkung setzt schnell und arbeitsplatzbezogen ein [9], für eine gesundheitliche Bewertung sind jedoch weitere Forschungsergebnisse notwendig.

Einige Mykotoxine wurden auch im Hausstaub nachgewiesen [10]. Die Eignung von Leitkeimen zur Risikoeinschätzung (z.B. *Aspergillus fumigatus*) oder von indirekten Parametern (Mykotoxine) in der Risikoeinschätzung der Gefahr durch Schimmelpilze wird gegenwärtig sehr kontrovers diskutiert und kann anhand der vorliegenden Daten im Moment nicht beantwortet werden.

Besondere Beachtung fand der Schimmelpilz *Stachybotrys chartarum*. Bloom et al. [11] zeigten auf, dass verschiedene Mykotoxine, die von *Stachybotrys chartarum* und *Aspergillus versicolor* gebildet werden, in den meisten Material- und Staubproben mit gegenwärtigen oder vergangenen Wasserschäden ohne fachgerechte Feinreinigung oder Desinfektion nachgewiesen werden konnten.

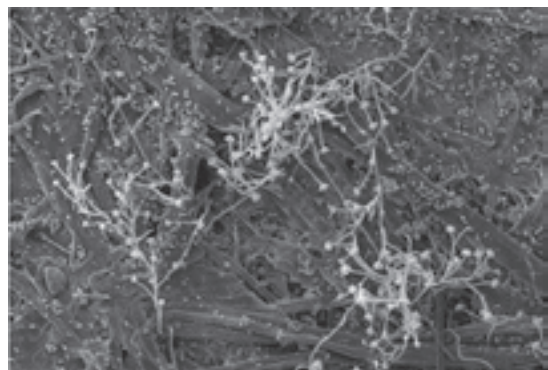


Abb. 2: Gipskartonplatte bewachsen mit *Stachybotrys* sp. (Foto: Privatinstitut für Innenraumtoxikologie – Dr. Blei GmbH)

Obwohl Mykotoxine eine Vielzahl negativer gesundheitlicher Auswirkungen bei Tieren und Menschen verursachen können, ist die Evidenz, dass durch Inhalation von

Mykotoxinen im Wohnbereich Gesundheitsstörungen und Erkrankungen auftreten, noch sehr schwach [1]. Insbesondere die Rolle von Trichothecenen (*Stachybotrys chartarum*) wird kontrovers diskutiert. Eine Untersuchung, nach welcher es zu schweren Lungenblutungen bei Kindern durch Innenraumexpositionen mit Trichothecenen kam, wurde später wegen Mängeln in der Versuchsdurchführung und -analyse zurückgezogen [12]. In Blick auf diese Unsicherheiten wird gefolgert [13], dass die verfügbaren Studien nicht ausreichend sind, eine Assoziation zwischen akuten Blutungen und der Anwesenheit von *Stachybotrys chartarum* herzustellen.



Zusammenfassend kann man sagen, dass die derzeitige Datenlage noch keine Aussagen zur Gefährdung der Bewohner durch die Inhalation von Mykotoxinen in Sporen oder Hausstaub schimmelbelasteter Wohnungen zulässt. Es gibt bisher keine Hinweise, dass bei Schimmelbefall in Innenräumen Toxine von Schimmelpilzen zu einer kanzerogenen Wirkung geführt haben.

## 5. Allergien

Eine Allergie ist eine spezifische Änderung der Reaktionsfähigkeit des Immunsystems gegenüber körperfremden Substanzen, welche als Allergen erkannt werden. Durch die Allergie entsteht eine überschießende Abwehrreaktion des Immunsystems auf bestimmte, normalerweise harmlose Umweltstoffe (Allergene), welche sich in typischen, oft mit entzündlichen Prozessen einhergehenden Symptomen äußert.

Eine allergische Erkrankung ist in ihrer Spezifität von einem Allergen abhängig, während die Pathophysiologie durch die Art der ablaufenden Immunantwort bestimmt wird. Allergene sind in vielen Schimmelpilzspezies enthalten, z.B. *Aspergillus*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus* oder *Stachybotrys chartarum*.

Eine Sensibilisierung und ggf. nachfolgend die Ausprägung einer Allergie erfolgt nur bei individuell hierfür disponierten Personen. Um diese Disposition zu ermitteln, müssen spezielle Allergietestungen durchgeführt werden. Hauttestungen (Prick-Test) können eine Sensibilisierung gegen ein Pilzallergen nachweisen. Hierbei positiv getestete Personen müssen aber nicht mit krankhaften allergischen Symptomen reagieren. Zu diesem Nachweis wäre ein Provokationstest erforderlich, welcher nach Schimmelpilzexposition aufgetretene typische Symptome bewertet. Allergietests sind jedoch nicht aussagekräftig, wenn es sich um disponente Personen handelt, die noch nicht sensibilisiert sind.

Bisher wurden etwa 100 Pilzarten als Auslöser von Allergien ermittelt. Am häufigsten sind Sensibilisierungen gegenüber *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *Cladosporium herbarum* und *Penicillium chrysogenum* (*notatum*). Die üblichen Allergiescreening-Methoden beruhen weitgehend auf einer Testung der o.g. vier Arten.

Sporen und in seltenen Fällen auch Mycelteile sind die Träger von Allergenen. Die Charakterisierung der Pilzallergene ist wegen ihrer ausgeprägten Allergenvielfalt noch nicht sehr fortgeschritten. So sind z.B. bisher von *Aspergillus fumigatus* ca. 40 Allergene bekannt [14]. Von *Aspergillus fumigatus* [15], *Alternaria alternata* und *Cladosporium herbarum* [16] konnten in den letzten Jahren zahlreiche Allergene kloniert und in ihrer biologischen Funktion aufgeklärt werden.

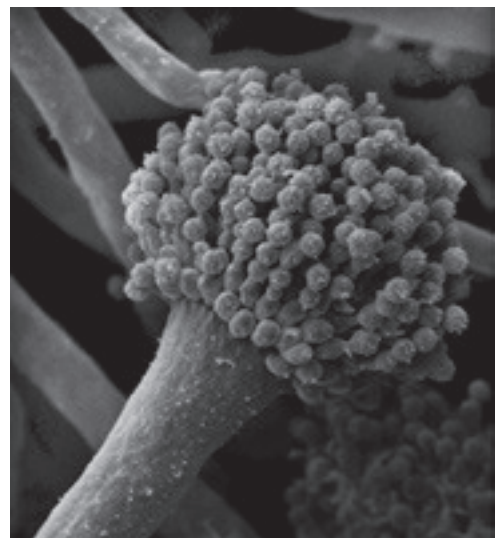


Abb. 3: Elektronenmikroskopische Aufnahme *Aspergillus fumigatus* (Foto: HKI/EMZ Jena)

Die Rate der Sensibilisierungen in der Bevölkerung gegen Schimmelpilze wird unterschiedlich beurteilt. Etwa 3 – 5 % der Gesamtbevölkerung reagieren in der Allergietestung positiv auf Schimmelpilze. Bei den Atopikern sind es vermutlich 20 %, bei den Asthmatikern bis zu 30 % [17]. Nach Auswertungen von Untersuchungen in den Niederlanden wird von Kauffman et al. [18] ein Prozentsatz von 4 – 42 % angegeben. Reiß [19] schätzt ein, dass 20 % aller Menschen gegen Schimmelpilzallergene bei entsprechend hoher Exposition sensibilisiert werden können und gibt an, dass 10 % aller allergischen Asthmatiker gegen Schimmelpilze sensibilisiert sind.

Bei 30 % von 139 Bronchialasthmatikern zeigte sich ein positiver Hauttest (Sensibilisierung) auf *Cladosporium* oder *Alternaria* [20]. Von 209 asthmatischen Kindern reagierten im Hauttest (Pricktest) 14 % auf Schimmelpilze. Auf die Summe aller positiven Reaktionen bezogen hatten Schimmelpilze einen Anteil von 3 % [21].

Da die Allergietests nur mit einer kleinen Anzahl wichtiger Schimmelpilzarten erfolgen, können Schimmelpilzallergien nicht immer erkannt werden. Deshalb ist es derzeit auch nicht möglich, die Häufigkeit von Schimmelpilzallergien verlässlich anzugeben [22].

Allergien gegen Schimmelpilze treten im Gegensatz zu Pollenallergien während des ganzen Jahres auf. Patienten mit Schimmelpilzallergien reagieren meist auf mehrere Inhalationsallergene und auf verschiedene Pilzextrakte. Die Sensibilisierung gegen nur einen Schimmelpilz wird auf < 1 % geschätzt [23].

Schimmelpilze des Außenraumes (*Cladosporium*, *Alternaria*, *Epicoccum*, *Fusarium*) sind bezüglich Sensibilisierung und Auslösung von allergischen Symptomen wichtiger als die typischen Schimmelpilze des Innenraums. Allerdings werden in den Sommermonaten die Konidien der Außenluftpilze (durchschnittlich  $10^3 - 10^5/m^3$ ) regelmäßig auch in Innenräumen gefunden. Zusätzlich zu den Schimmelpilzen sind auch die Sporen der Ständerpilze (Basidiomyceten) bedeutende Allergene, diese werden jedoch in der Allergietestung im Allgemeinen nicht berücksichtigt, weil die Datenlage hierzu zu sehr spärlich ist.

#### *Allergische Typ I-Reaktion (Soforttyp, anaphylaktischer Typ):*

Circa 90 % aller Allergien sind Allergien vom Soforttyp. Bei einem Kontakt mit einem Allergen produzieren die B-Zellen (Lymphozyten) IgE-Antikörper, welche sich auf den Mastzellen festheften. Die gebildeten Antikörper können Antigenmoleküle (Allergene) einfangen und neutralisieren (Antigen-Antikörper-Reaktion). Dieser erste Schritt, bei dem nur wenige IgE-Antikörper beteiligt sind, wird Sensibilisierung genannt. Beim nächsten Kontakt mit den gleichen Antigenen tritt dann die allergische Reaktion zu Tage. Die inzwischen massenweise auf den Mastzellen festgehefteten IgE-Antikörper fangen die Allergene ein, wobei es durch Platzen der Mastzellen zu einem übermäßigen Freisetzen von Histamin kommt. Histamin sowie andere Entzündungsmediatoren führen innerhalb von Sekunden bis Minuten zu einer Erweiterung der Blutgefäße, zu einem Flüssigkeitsaustritt aus dem Blut und typischer Blasen- und Ödembildung der Haut, wobei der Blutdruck sinkt. Weitet sich die allergische Reaktion auf den ganzen Organismus aus, kann es zum lebensgefährlichen anaphylaktischen Schock kommen. Häufig sind die Reaktionen aber lokal z.B. in Form von Urtikaria (Nesselsucht) oder Heuschnupfen begrenzt.

Typische Beispiele einer allergischen Reaktion auf Schimmelpilze sind allergische Konjunktivitis (Augenbindehautentzündung), Rhinitis (Schnupfen) und allergisches Asthma.

Das allergische Asthma bronchiale ist die Hauptmanifestation von IgE-vermittelten Pilzallergien. Schimmelpilzsporen mit einem Durchmesser < 10  $\mu m$  können direkt in den Bereich der Bronchiolen gelangen [3]. Dies gilt nicht nur für kleine Sporen, sondern auch für die relativ großen Sporen von *Alternaria*, *Cladosporium* und anderen Pilzen. Offensichtlich lösen sich viele Allergene leicht von den Trägern ab und gelangen so bis in die Alveolen [24].

Sensibilisierung auf *Alternaria alternata* ist ein besonderer Risikofaktor für Asthma. Das gilt sowohl für Entwicklung, Persistenz und Schweregrad einschließlich lebensbedrohlicher Attacken [25 – 31].

Kindliches Asthma ist mit über 90 % allergisch bedingt und beruht auf einer Sensibilisierung gegen luftgetragene Allergene.

Eine über das ganze Jahr (perennial) auftretende allergische Rhinitis wird meist durch Innenraumallergene – vorwiegend durch Hausstaubmilben, aber auch Pilzsporen – ausgelöst.

Auch der Zusammenhang zwischen Schimmelpilzbelastung im Wohnbereich und allergischen Erkrankungen bei Kindern lässt sich epidemiologisch belegen. Garrett et al. [32] zeigten, dass erhöhte Raumluftkonzentrationen von *Penicillium spp.* mit kindlichem Asthma korrelierten und erhöhte Innenraumkonzentrationen von *Cladosporien* und *Aspergillen* im Winter das Risiko für Sensibilisierungen bei Kindern erhöhen.

#### *Allergische Typ III-Reaktion (Spättyp):*

Beim Typ III kommt es zur Bildung von Immunkomplexen (Allergen und Antikörper). Diese zirkulieren im Blut und lösen die spezifische Immunabwehr aus. Das führt zwar zu einer Auflösung der Immunkomplexe, schädigt aber auch das umliegende Gewebe durch freigesetzte Enzyme. Erst nach Stunden oder Tagen treten Symptome der allergischen Reaktion auf. Die exogen-allergische Alveolitis (EAA) oder Hypersensibilisationspneumonie ist eine Lungenentzündung, die akut, subakut oder chronisch verläuft und durch wiederholte Inhalation organischer Stäube verursacht werden kann. Das klinische Bild zeigt Fieber, Schüttelfrost, Myalgien, Atemnot, Husten sowie Verschlechterung der Lungenfunktionsparameter. Neben der Sensibilisierung der Patienten muss die Antigenexposition häufig längerfristig und massiv sein [3]. Durch das Auftreten der Symptome erst nach einer Latenzzeit von meist 4 – 6 Stunden wird die Erkennung kausaler Zusammenhänge erschwert. Der anfangs meist schubweise Verlauf kann in ein chronisches Stadium übergehen, das durch eine häufige Reexposition begünstigt wird.

Eine Erkrankung an einer exogen-allergischen Alveolitis manifestiert sich oft erst nach jahrelanger Allergenexposition [3] in speziellen beruflichen Bereichen.

#### *Kombinierte allergische Typ I / Typ III-Reaktion:*

Die allergische Bronchopulmonale Aspergillose (ABPA) ist eine kombinierte Typ I/III-Allergie auf Aspergillus-Antigene kombiniert mit einer Ansiedelung von *Aspergillen* in Bronchien und im Lungengewebe. Wenn inhalierte Sporen von *Aspergillus fumigatus* nicht aus den Atemwegen eliminiert werden, dort keimen, Mycelien bilden und als Saprophyten in den Atemwegslumina verbleiben, kommt es zu Antikörperreaktionen mit nachfolgenden Entzündungsreaktionen und Gewebeerstörungen. Durch die Schädigung der Bronchialwand wird den Schimmelpilzen das weitere Wachstum ermöglicht.

ABPA tritt insbesondere bei Patienten mit Mukoviszidose (Cystische Fibrose, CF) auf. 1 % bis 2 % aller Asthmatiker sind davon betroffen [33]. Durch diese Erkrankung können sich vernarbte Lungenbezirke bilden und das für den Luftaustausch erforderliche Gewebe erheblich reduzieren. Dadurch steht dann nur noch ungenügend Fläche für einen Gasaustausch zur Verfügung.

Patienten mit einer allergischen bronchopulmonalen Aspergillose sind fast immer Atopiker, das heißt Menschen, die eine ungewöhnliche Bereitschaft zeigen, auf Umwelteinflüsse allergisch zu reagieren und gehören vorwiegend einer jüngeren Altersgruppe an [3]. Meist wird eine erhöhte Prävalenz von spezifischen IgE gegenüber *Aspergillus fumigatus* gefunden. Zu diesem Typ der allergischen Reaktionen gehört das Bäckerasthma.

#### *Wirkungen von 1,3-β-Glucan:*

1,3-β-Glucan ist ein komplexes Polysaccharid, welches in den Zellwänden von Pilzen sowie einiger Bakterien, Pflanzen und Pollen vorkommt und immunmodulatorische Effekte und inflammatorische Eigenschaften



ten hat. 1,3- $\beta$ -Glucan gilt als Marker für die Biomasse von Schimmelpilzen und bindet sich an spezifische Rezeptoren von Makrophagen von denen es, nach Aufnahme, über Wochen und Monate langsam oxidativ abgebaut wird [34]. Die Konzentration von 1,3- $\beta$ -Glucan in Staubproben in Gebäuden mit Schimmelpilzproblemen bewegt sich zwischen 10 bis 100 Nanogramm/m<sup>3</sup>.

Verschiedene Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen 1,3- $\beta$ -Glucan in Gebäuden und gesundheitlichen Beschwerden der Bewohner [35 – 38]. Hierbei fand sich eine Assoziation zwischen 1,3- $\beta$ -Glucan und folgenden Symptomen: Irritationen der Schleimhäute, entzündliche Erkrankungen der Atemwege, erhöhte Reagibilität der Atemwege, vermehrtes Auftreten von Allergien sowie allgemeine Symptome wie Müdigkeit und Kopfschmerzen. In einer experimentellen dänischen Studie mit 36 Freiwilligen ergaben sich klinische und serologische Zeichen dafür, dass 1,3- $\beta$ -Glucan die vom Staub verursachten Entzündungsreaktionen der oberen Luftwege verstärkt [39]. Obwohl verschiedene experimentelle Studien die Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen stützen, ist ein kausaler Zusammenhang zwischen 1,3- $\beta$ -Glucan und verschiedenen Krankheitssymptomen noch nicht nachgewiesen.

## 6. Wirkungen von MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds)

Schimmelpilze produzieren flüchtige organische Stoffwechselprodukte (MVOC). Man kann gleiche MVOC bei verschiedenen Schimmelpilzarten finden, es gibt jedoch auch Gattungs- oder artspezifische MVOC. Die MVOC sind oft identisch mit häufig vorkommenden Produkten der chemischen Industrie. Mehr als 400 unterschiedliche MVOC sind bisher nachgewiesen [40, 41] und beinhalten Alkohole, Aldehyde, Ketone, Terpene, Ester, aromatischer Verbindungen, Amine und schwefelhaltige Verbindungen.

Die Feuchtigkeit in Räumen als Voraussetzung des Schimmelpilzwachstums kann aber selbst die Emissionen von VOC aus Bau- und Ausstattungsmaterialien initiieren oder verstärken, die mit MVOC identisch sind. So intensivieren feuchte Betonfußböden die chemische Zersetzung von PVC-Materialien mit einem resultierenden Ansteigen von VOC wie z.B. 2-ethyl-1-hexanol [42, 43].

Herr und Harpel [44] betonen, dass bei der umweltmedizinischen Bewertung der MVOC nicht die Wirkung des gesamten MVOC-Gemisches, von dem nur ein sehr eingeschränktes Spektrum messtechnisch erfasst wird, vernachlässigt werden darf und dass oft eine teilweise höhere Exposition gegenüber nicht von Mikroorganismen sondern z.B. von Raumausstattungsgegenständen abgegebenen flüchtigen Verbindungen und weiteren Bestandteilen biologischer Aerosole besteht, wie z.B. luftgetragene partikuläre Schimmelpilze und Schimmelpilzbestandteile.

Die Gesamtheit der MVOC in Schimmel befallenen Räumen führt meist zu einem meist erheblich unangenehmen Geruch. Der muffige Geruch stellt sich mit dem Wachstum der Pilze ein und ist auch ohne größere verschimmelte Flächen zu bemerken. Wenn in den 1970er und 1980er Jahren Holzoberflächen mit chlorhaltigen Holzschutzmitteln behandelt wurden, kann ein muffiger Geruch auch auf Chloranisole zurückzuführen sein [45].

Unangenehme Gerüche wurden aus geschichtlicher Sicht als Warnzeichen oder Indikatoren potentieller Risiken für die menschliche Gesundheit betrachtet, welche aber nicht notwendigerweise eine direkte Gesundheitsgefahr darstellen [46 – 48]. In den letzten Jahren gibt es aber zunehmend Besorgnisse darüber, dass Gerüche selbst Krankheitssymptome hervorrufen können. Behaglichkeitsstörungen durch Geruchsbelastung der Luft treten oft bereits bei Schadstoffkonzentration auf, die nicht als gesundheitlich beeinträchtigend gelten [49]. Als unangenehm empfundene Gerüche und der Ärger bei den Betroffenen darüber haben synergistische Effekte [50].

Eine subjektiv negativ gefärbte Geruchswahrnehmung führt zu einer individuellen Störungen des Wohlbefindens, selbst wenn andere Personen hier keinerlei Reaktionen zeigen. Ein Geruch kann – zunächst unabhängig von der stofflichen Qualität der ihn verursachenden Substanzen – neben Belästigungen auch eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit zumindest bei der Ausführung komplexer Aufgaben verursachen [51].

Zusammenfassend sind gesundheitliche Risiken von MVOC in Innenräumen in üblicherweise vorkommenden Konzentrationen nicht abzuleiten.

## **7. Zusammenfassende Risikoanalyse**

Atopiker/Allergiker sind durch den Aufenthalt in feuchten und/oder schimmelbelasteten Innenräumen generell besonders gefährdet. Darüber hinaus ist eine Gefährdung insbesondere für immunsupprimierte Personen und solche mit Erkrankungen sowie Therapien, welche die Leistungsfähigkeit des Immunsystems herabsetzen, zu beachten.

Liegen gesundheitsrelevante Feuchte-/Schimmelpilzschäden vor, ist unter der Abschätzung des Sanierungszeitraums abzuklären, wie eine Sanierung durchzuführen ist. In vielen Fällen wird es möglich sein, durch Vereinbarung von Übergangsmaßnahmen (z.B. Luftfilter) und durch sinnvolle Teilsanierungen die Wohnungen/Gebäude mindestens teilweise weiter zu betreiben. Personen mit einer Disposition bezüglich gesundheitlicher Wirkungen von Schimmelpilzen in betroffenen Objekten sollten im Falle der klinischen Relevanz keiner Exposition während der Sanierung ausgesetzt sein.

Entscheidend für die Wirkung der inhalativ aufgenommenen Schimmelpilze, deren Sporen, Pilzfragmente, Stoffwechselprodukte und sonstigen flüchtigen organischen Verbindungen auf die Gesundheit sind das Alter, die Konstitution, die allergische Disposition der Exponierten, die Gesamtanzahl der einwirkenden Schimmelpilze, Schimmelpilzteile, Sporen und Stoffwechselprodukte und die Pathogenität der Schimmelpilze einschließlich ihrer Toxine sowie die Häufigkeit und Dauer der Exposition.

Ein weiterer gefährdeter Personenkreis wird durch Kinder, Schwangere und Personen im höheren Lebensalter mit stärker reduzierten Körperfunktionen gebildet.

Beschwerden nach Schimmelpilzbefall in feuchten Räumen können auf Schimmelpilze und deren Stoffwechselprodukte aber auch Milben, Bakterien, gasförmige Substanzen aus sich zu zersetzenden Materialien und/oder auf Abkühlung des menschlichen Körpers bei ungenügend isolierten oder durch Feuchte in der Isolationsfähigkeit verminderten Wänden in der kalten Jahreszeit zurückgeführt werden.

Unabhängig von den Bewertungsproblemen ist Schimmelpilzwachstum im Innenraum aber grundsätzlich ein hygienisches Problem, das nicht hingenommen werden sollte. Vielmehr ist nach dem Vorsorgeprinzip die Belastung zu minimieren oder wenn möglich zu beenden.

Eine eindeutige Bewertung von gesundheitlichen Wirkungen durch Schimmelpilzexpositionen in Innenräumen ist vor allem wegen der gleichzeitig vorhandenen erhöhten Konzentrationen an Schimmelpilzen und anderer Komponenten des Bioaerosols sowie des Fehlens hinreichend aussagekräftiger Expositionsdaten zurzeit nicht zuverlässig möglich.

Die Bewertung von durch einen Feuchte-/Schimmelpilzschaden ausgehenden gesundheitlichen Risiken kann mit ausreichender Sicherheit nur interdisziplinär durch Umweltmediziner, Allergologen, Mykologen und Mikrobiologen in Zusammenarbeit mit Bausachverständigen erfolgen [2].

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] World Health Organization, Regional Office for Europe (2009): WHO guidelines for indoor air quality: Dampness and mould, Copenhagen, Denmark
- [2] Wiesmüller, G.A., Szewzyk, R., Baschien, C. et al. (2012): „Häufige Fragestellungen in Zusammenhang mit der Bewertung möglicher toxischer Reaktionen von Schimmelpilzexpositionen“. *Umweltmed Forsch Prax* 17(3) 159–169
- [3] Mücke, W., Lemmen, Ch. (1999): Schimmelpilze, ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg
- [4] Mücke, W., Lemmen, Ch. (2012): Bioaerosole – Risiken durch biologische Luftinhaltsstoffe, Teil 3: Allergien und Infektionen durch Bioaerosole, *Umweltmed Forsch Prax* 17(2) 104 – 113
- [5] Walsh, T. J., Groll, A. H. (1999): Emerging fungal pathogens: Evolving challenges to immunocompromised patients for the twenty-first century, *Transpl Infect Dis* 1(4) 247 – 261
- [6] Pattersen, J. E. (1999): Epidemiology of fungal infections in solid organ transplant patients, *Transpl Infect Dis* 1(4) 229 – 236
- [7] Sorenson, W.G., Frazer, D.G., Jarvis, B.B., et al. (1987): Trichothecene mycotoxins in aerosolized conidia of *Stachybotrys atra*, *Appl Environ Microbiol* 53 1370 – 1375
- [8] Wicklow, D.T., Shotwell, O.L. (1983): Intrafungal distribution of aflatoxins among conidia and sclerotia of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*, *Can J Microbiol* 29 1 – 5
- [9] Regierungspräsidium Baden-Württemberg (Autorenkollektiv) (2006): Belastung und Beanspruchung von Beschäftigten in Archiven und Bibliotheken durch Schimmelpilze und Milben, Abschlussbericht, Stuttgart
- [10] Kasel, U., Wichmann, G., Bleck, M. (1999): Ochratoxin A im Hausstaub, *Umweltmed Forsch Prax* 4 301 – 303
- [11] Bloom, E., Bal, K., Nyman, E. et al. (2007): Mass spectrometry-based strategy for direct detection and quantification of some mycotoxins produced by *Stachybotrys* and *Aspergillus* spp. in indoor environments, *Appl Environ Microbiol* 73 4211 – 4217
- [12] Burge, H. A. (2000): The Fungi. In: *Indoor Air Quality Handbook*, Elsevier 45.1 – 45.32
- [13] Institute of Medicine (2004): *Damp indoor spaces and health*, Washington, DC, National Academies Press
- [14] Jäger, L. (2001): Rekombinante Allergene – Möglichkeiten und Grenzen ihrer Anwendung, *Allergologie* 24 563 – 568
- [15] Cramer, R. (2002): Molecular Cloning of *Aspergillus fumigatus* Allergens and their Role in Allergic Bronchopulmonary Aspergillosis. In: Breitenbach, Cramer, Lehrer (eds.): *Fungal Allergy and Pathogenicity*, Karger Verlag, Basel, 74 – 93
- [16] Breitenbach, M., Simon-Nobbe, B. (2002): The Allergens of *Cladosporium herbarum* and *Alternaria alternata*. In: Breitenbach, Cramer, Lehrer (eds.): *Fungal Allergy and Pathogenicity*, Karger Verlag, Basel, 48 – 72
- [17] Helbling, A., Reimers, A. (2003): Immunotherapy in fungal allergy, *Curr Allergy Asthma Rep* 3: 447 – 453
- [18] Kauffman, H. F., Zuidema, S., Monchy, G. R. (1994): Clinical significance of fungi in asthma: Aerobiologie and clinical studies. In: Samson, R., A (Hrsg.), Flannigan, B. Flannigan, M. E., et al.: *Health implications of fungi in indoor environments*, Air Quality Monographs, Vol. 2, Elsevier
- [19] Reiß, J. (1997): *Schimmelpilze – Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2. Aufl.
- [20] Nordvall, S. L., Eriksson, M., Rylander, E. et al. (1990): Fungal allergy in children, *J Pediatr Allergy Immunol* 1 68 – 73
- [21] Reinhardt, D. (1987): Asthma bronchiale. In: Wahn, U., Seger, R., Wahn V. (Hrsg.): *Pädiatrische Allergologie und Immunologie in Klinik und Praxis*, Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York 205 – 228
- [22] Kolossa-Gehring, M., Babisch, W., Szewzyk, R., et al. (2006): *Kinder-Umwelt-Survey*. Symposium zu Studien zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland, Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 49 1056 – 1057
- [23] Horner, W. E., Helbling, A., Salvaggio, J. E. et al. (1995): Fungal allergens, *Clin Microbiol Rev* 8 161 – 179
- [24] Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2007): *Aktuelle umweltmedizinische Probleme in Innenräumen*, Teil 2, Erlangen
- [25] O'Hollaren, M. T., Yunginger, J. W., Offord, K. P., et al. (1991): Exposure to an aeroallergen as a possible precipitating factor in respiratory arrest in young patients with asthma, *N Engl J Med* 324 359 – 363
- [26] Targonski, P. V., Persky, V. W., Ramekrishnan, V. (1995): Effect of environmental molds on risk of death from asthma during the pollen season, *J Allergy Clin Immunol* 95 955 – 961
- [27] Black, P. N., Udy, A. A., Brodie, S. M. (2000): Sensitivity to fungal allergens is a risk factor for life threatening asthma, *Allergy* 55 501 – 504
- [28] Lin, R. Y., Williams, K. D. (2003): Hypersensitivity to molds in New York City in adults who have asthma, *Allergy Asthma Proc* 24 13 – 18
- [29] Dales, R. E., Cakmak, S., Judek, S. et al. (2003): The role of fungal spores in thunderstorm asthma, *Chest* 123 745 – 750
- [30] Bush, R. K., Prochnau, J.J. (2004): *Alternaria* induced asthma, *J Allergy Clin Immunol* 113 227 – 234
- [31] Zureik, M., Neukirch, C., Leynaert, B. et al. (2002): Sensitisation to airborne moulds and severity of asthma: cross sectional study from European Community respiratory health survey, *BMJ* 325 411 – 414
- [32] Garrett, M. H., Rayment, P. R., Hooper, M. A. et al. (1998): Indoor airborne fungal spores, house dampness and association with environmental factors and respiratory health in children, *Clin Exp Allergy* 28 459 – 467

- [33] Robert-Koch-Institut (2007): Schimmelpilzbelastung in Innenräumen – Befunderhebung, gesundheitliche Bewertung und Maßnahmen, Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 50 1308 – 1323
- [34] Nono, I., Ohno, N., Masuda, A. et al. (1991): Oxidative degradation of an antitumor: (1-3)- $\beta$ -D-glucan, grifolan, J Pharmacobiodyn 14 9 – 19
- [35] Rylander, R., Persson, K., Goto, H. et al. (1992): Airborne 1,3- $\beta$ -glucan may be related to symptoms in sick buildings, Indoor Environ. 1: 263 – 267
- [36] Rylander, R., Hsieh, V., Courteheuse, C. (1994): The first case of sick building syndrome in Switzerland, Indoor Environ 3 159 – 162
- [37] Thorn J, Rylander R. (1998): Airways inflammation and glucan in a rowhouse area, Am J Respir Crit Care Med 157 1798 – 1803
- [38] Douwes, J., Zuidhof, A., Doekes, G. et al. (2000): 1,3- $\beta$ -D-glucan and endotoxin in house dust and peak flow variability in children, Am J Respir Crit Care Med 162 1348 – 1354
- [39] Bønløkke J. H., Stridh, G., Sigsgaard, T. et al. (2006): Upper-airway inflammation in relation to dust spiked with aldehydes or glucan, Scand J Work Environ Health 32 374 – 382
- [40] Wilkins, K., Larsen, K., Simkus, M. (2000): Volatile metabolites from mold growth on building materials and synthetic media. Chemosphere 41 437 – 446
- [41] Blei, M., Fiedler, K., Rüdén, H. et al. (2005): Differenzierung von holzerstörenden Pilzen mittels ihrer flüchtigen organischen Verbindungen (MVOC), Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität zu Lübeck 163 – 178
- [42] Norbäck, D., Wieslander, G., Nordström, K. et al. (2000): Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air, Int J Tuberc Lung Dis 4 1016 – 1025
- [43] Tuomainen A, Seuri M, Sieppi A. (2004): Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings, Int Arch Occup Environ Health 77 222 – 226
- [44] Herr, C., Harpel, S. (2001): MVOC – ein relevantes gesundheitliches Problem für die Bevölkerung, Umweltmed Forsch Prax 6 125 – 126
- [45] Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft (2009): Vorsicht Schimmel – Eine Wegleitung zu Feuchtigkeitsproblemen und Schimmel in Wohnräumen, Bern
- [46] Phillips, M. (1992): Breath test in medicine, Sci Am 267 74 – 79
- [47] Gardner, J. W., Shin, H. W., Hines, E. L. (2000): An electronic nose system to diagnose illness, Sens. Actuators 70 19 – 24
- [48] Persaud, K. C., Pisanelli, A. M., Evans, P. (2003): Medical diagnostics and health monitoring. In: Pearce T. C., Schiffman S. S., Nagle H. T. et al.: Handbook of machine olfaction: Electronic nose technology, Wiley VCH, Weinheim 445 – 460
- [49] Bitter, F., Müller, D. (2005): Bewertung der Geruchsabgabe von Baumaterialien mit elektronischen Sensorsystem, HLH 56 93 – 99
- [50] Nimmermark, S. (2004): Odour influence on well-being and health with specific focus on animal production emissions, Ann Agric Environ Med 11 163 – 173
- [51] Knasko, S. C. (1993): Performance, mood, and health during exposure to intermittent odors, Arch Environ Health 48 305 – 308

WERBUNG

## Mobiler Luftreiniger XG 460

Leistungsstarker Roters Luftreiniger XG 460 für Gewerbe und Privat.



### Dreistufiges Filtersystem

- G4 Vorfilter
  - H13 Schwebstofffilter
  - Aktivkohlefilter
- Kostengünstige Standard-Filterpatronen

### Geeignet für

- Schimmel-, Wasser- und Brandsanierung
- Asthmatiker und Allergiker
- Feinstaub- und Formaldehydreinigung

ROTTERS

Tempelweg 32a | 47918 Tönisvorst  
 Telefon: 0 21 51- 74 30 11 | Fax: 74 30 12  
 Web: [www.roters-metall.de](http://www.roters-metall.de)  
 E-Mail: [info@roters-metall.de](mailto:info@roters-metall.de)