

Mikrobielle Belastung von Innenräumen: Spurensuche

Erfahrungsbericht nach der Auswertung von 330 Fällen

Dipl. Ing. Klaus- Peter Böge, Ambulanz für Gesundheit und Umwelt

Dr. rer.nat. Anke Bauer, Institut für Toxikologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

1. Einleitung

Obwohl der mikrobielle Befall von Innenräumen durch Schimmelpilze und Bakterien kein neues Problem ist, erfährt diese Thematik jedoch in den letzten Jahren erhöhte Aufmerksamkeit und es wird zunehmend deutlich, daß es sich nicht lediglich um ein raumkosmetisches Problem handelt, sondern daß mit einem erhöhten mikrobiellen Befall von Innenräumen erhebliche gesundheitsschädliche Auswirkungen verbunden sein können (FLANNIGAN und MILLER, 1994; NN, 1996).

Als mögliche Ursachen von Erkrankungen werden neben der reinen Zahl von Sporen und Bakterien als Infektionskeime die Bildung von mikrobiellen Toxinen, Allergenen, mikrobiellen flüchtigen organischen Verbindungen (MVOC) sowie entzündungssteigernde, immunsuppressive und neurotoxische Wirkungsmechanismen diskutiert (FLANNIGAN und MILLER, 1994).

Die Größenordnung der Problematik wird deutlich, wenn die Zahl der vermutlich durch Feuchteschäden und erhöhtes Wachstum von Schimmelpilzen bzw. Bakterien belasteten Wohnungen betrachtet wird. Während für Deutschland keine Zahlen vorliegen, so wird für das hinsichtlich der klimatischen Bedingungen ähnlich einzustufende Großbritannien die Zahl der betroffenen Gebäude auf 18% geschätzt (HUNTER und LEA, 1994).

Probleme bereiten jedoch die verlässliche Messung und Identifizierung von Schimmelpilzen und Bakterien in Innenräumen. Während lange Zeit die Messung von kultivierbaren Sporen in der Raumluft oder im Staub (keimbildende Einheiten pro m³ bzw. pro Gramm) als Grundlage für die Bewertung möglicher Gesundheitsgefahren durch Schimmelpilze angesehen wurde, zeigen neuere Studien, daß die Aussagekraft dieser Parameter begrenzt ist und insbesondere durch staubaufwirbelnde Aktivitäten determiniert zu sein scheint (FLANNIGAN und MILLER, 1994; FLANNIGAN et al., 1994). Die nicht sichtbaren „versteckt

wachsenden“ Schimmelpilze und Bakterien stellen in dieser Hinsicht eine neue Herausforderung bei der Quellensuche und der gesundheitlichen Beurteilung dar. Schimmelpilze und Bakterien können z.B. nicht sichtbar hinter Feuchtigkeitsabsperren oder Verkleidungen und unter Fußbodenbelägen wachsen und trotzdem erhebliche Gesundheitsprobleme verursachen (STRÖM et al., 1994). Neben der Aufklärung der ursächlich wirksamen Mechanismen der Gesundheitsschäden durch Schimmelpilze und Bakterien, steht insbesondere das erfolgreiche Aufspüren der **versteckten** Schimmelpilze und Bakterien und ihre Sanierung aus präventivmedizinischen Gründen im Vordergrund des Interesses.

Nachstehend zitieren wir aus einem Bericht des Umweltausschusses der Kassenärztlichen Vereinigung Schleswig-Holsteins über die neuen diesbezüglichen Strategien eines Umweltmobils (Ambulanz für Gesundheit und Umwelt (AGU), Betreiber K.-P. Böge), die in Zusammenarbeit mit dem Labor PEGASUS (Düsseldorf, Betreiber: Dr. U. Palmgren) erarbeitet wurden. Diese beinhalten für jeden Fall individuell zugeschnitten eine Wohnungsbegehung, die Messung von einigen flüchtigen organischen Verbindungen (MVOC) in der Innenraumluft als Indikatorverbindungen für mikrobielles Wachstum, die Quellensuche mit einem dafür ausgebildeten Schimmelpilzspürhund, die Bestimmung von Zahl und Spezies der Mikroorganismen im befallenen Material sowie die Nennung von Sanierungsempfehlungen. Die Aktivitäten der AGU hinsichtlich anderer gesundheitsrelevanter Innenraumschadstoffe sind an anderer Stelle beschrieben (BAUER et al., 1998; PRÖHL und BÖGE, 1997; PRÖHL et al., 1997).

2. Methodik

Die Mitarbeiter der AGU verwenden einen standardisierten Dokumentationsbogen, der bei der Begehung der Wohnung oder des Arbeitsplatzes ausgefüllt wird. Es handelt sich zum einen um Daten, die die örtlichen Gegebenheiten beschreiben und zum anderen werden Beschwerden und Symptome, die von den Bewohnern spontan geschildert werden, dokumentiert. Dabei ist nicht jede Symptommennung in Zusammenhang mit einer Exposition gegenüber Schadstoffen zu sehen. Weiterhin werden -unter dem umweltmedizinischen Aspekt- relevante

Auffälligkeiten innerhalb des Gebäudes bzw. der Wohnung festgehalten. Aufgrund dieser Begehung werden Empfehlungen hinsichtlich notwendiger Messungen von Schadstoffen ausgesprochen oder direkt Sanierungsmaßnahmen empfohlen, wie z.B. bei deutlich sichtbarem Schimmelpilzbefall.

Die Auftraggeber der mobilen Umweltambulanz werden bei der Dokumentation je nach vorgenommenen Maßnahmen (Begehung, Messungen) in fünf Kategorien eingeteilt (vgl. BAUER et al., 1998). Zur Einteilung der Fälle, in denen ein Befall durch Schimmelpilze vorlag bzw. vermutet wurde, mußten diese Kategorien etwas modifiziert werden. Dieses war notwendig, da die Art der Beurteilung bzw. die Art der Messungen bei Verdacht auf gesundheitliche Gefährdung durch Schimmelpilze sich von anderen Innenraumschadstoffen unterscheidet (heterogenes biologisches Material, verschiedenartigste Verbindungen, verursachendes Agens häufig unbekannt, z.T. stark allergenes Potential, keine Grenz- bzw. Referenzwerte, unklare Dosis-Wirkungsbeziehungen u.a.m.).

Kategorien:

A.: *Es sind Krankheitssymptome vorhanden, die nach der wissenschaftlichen Literatur von Schimmelpilzen/Bakterien in Innenräumen verursacht werden können und der Befall wurde nachgewiesen (sichtbarer Befall, Aufspüren der Quelle durch den Schimmelpilzspürhund + Nachweis in befallenem Material)*

B.: *Es sind Krankheitssymptome vorhanden, die nach der wissenschaftlichen Literatur von Schimmelpilzen/Bakterien in Innenräumen verursacht werden können und der Befall ist wahrscheinlich, da erhöhte Konzentrationen an mikrobiellen flüchtigen organischen Verbindungen (Mikrobiale Volatile Organic Compounds = MVOC) nachgewiesen wurden*

C.: *Es sind keine Krankheitssymptome vorhanden, die Untersuchung wurde aus Vorsorgegründen durchgeführt; der Befall wurde jedoch nachgewiesen (sichtbarer Befall, Aufspüren der Quelle durch den Schimmelpilzspürhund, Nachweis in befallenem Material)*

D.: *Es sind Krankheitssymptome vorhanden, die nach der wissenschaftlichen Literatur von Schimmelpilzen/Bakterien in Innenräumen verursacht werden können und der Befall wird aufgrund eines muffigen/pilzartigen Geruchs oder aufgrund von Feuchteschäden vermutet. Der Nachweis des Befalls steht noch aus*

E.: *Die Untersuchung ergab keine Hinweise auf mikrobielles Wachstum als mögliche Ursache von Erkrankungen*

Die Einsätze des Schimmelpilzspürhundes und die Probennahmen (Raumluft, Material) wurden von Mitarbeitern der AGU durchgeführt. Die Bestimmung der MVOC in der Raumluft sowie der Gesamtmenge und Gattungen/Arten der gefundenen Schimmelpilze und Bakterien im Material wurden von dem

schwedischen Labor PEGASUS durchgeführt (vgl. PALMGREN et al., 1986; STRÖM et al., 1994; WESSÉN und SCHOEPS, 1996).

Die Anzahl der lebenden bzw. der Gesamtanzahl der in/auf dem befallenen Material gefundenen Schimmelpilze und Bakterien wurde von dem schwedischen Labor PEGASUS in die Kategorien *nicht erhöht*, *etwas erhöht*, *erhöht* und *sehr hoch* eingeordnet. Die Einordnung muß jeweils unter Berücksichtigung von Quelle und Ort erfolgen, so daß eine einfache Mengenangabe hier nicht möglich ist.

Es wurde in 32 Fällen eine Bestimmung von MVOC vorgenommen. Es handelt sich um eine Auswahl von Verbindungen, die typischerweise von Mikroorganismen gebildet werden und deshalb als *Mikrobial Volatile Organic Compounds* = MVOC bezeichnet werden. Als Beurteilungskriterium wurde die Summe der Innenraumlufkonzentrationen von acht MVOC (Σ MVOC) benutzt: 1-Octen-3-ol, 3-Methylfuran, 2-Pentanol, 3-Methyl-1-Butanol, 2-Heptanon, 2-Hexanon, Dimethyldisulfid und 3-Octanon. Zusätzlich werden 1-Butanol und Isobutanol bestimmt. Da diese Verbindungen jedoch auch aus Raummaterialien ausgasen können, werden sie im allgemeinen getrennt betrachtet. Die aufgeführten acht Indikatorverbindungen stellen nur einen Teil der flüchtigen Verbindungen mikrobiellen Ursprungs dar. Daher ist die Summe der MVOC (Σ MVOC) nicht als Gesamtmenge flüchtiger Verbindungen mikrobiellen Ursprungs anzusehen, diese wäre weitaus höher.

Da in der Außenluft in 76 Fällen maximal $0,2 \mu\text{g } \Sigma\text{MVOC}/\text{m}^3$ Luft gemessen wurden (STRÖM et al., 1994; WESSEN und SCHOEPS, 1996), wurde von den Mitarbeitern der AGU dementsprechend eine Konzentration der Σ MVOC von $0,3$ - $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den untersuchten Innenräumen als „geringfügig erhöht“ und Konzentrationen der Σ MVOC $>1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als „erhöht“ angesehen und als Hinweis auf das erhöhte Wachstum von Schimmelpilzen/Bakterien gewertet.

3. Ergebnisse

3.1 Kategorien und Vorgehensweisen

Im Jahr 1996 wurde bei 330 Auftraggebern der AGU der Verdacht auf mikrobielle Schäden in Innenräumen geäußert. Davon wurden 311 Auftraggeber in die Kategorien A bis D eingeordnet (d.h. Nachweis von oder Verdacht auf mikrobielle Schäden in den betroffenen Innenräumen). Ein Maximum der diesbezüglichen Aufträge ergab sich am Anfang des Jahres in den Monaten Januar und Februar. Die Zahl der Aufträge, die mit mikrobiellen Schäden in Innenräumen in Zusammenhang standen, nahm bis zum Hochsommer (Juli/August) kontinuierlich ab, um dann bis November/Dezember wieder etwas anzusteigen.

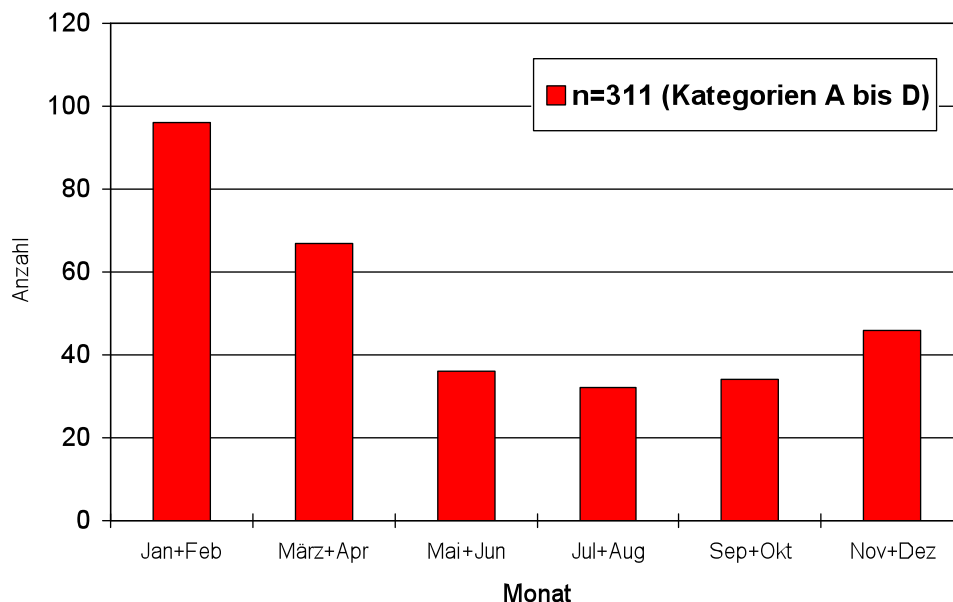
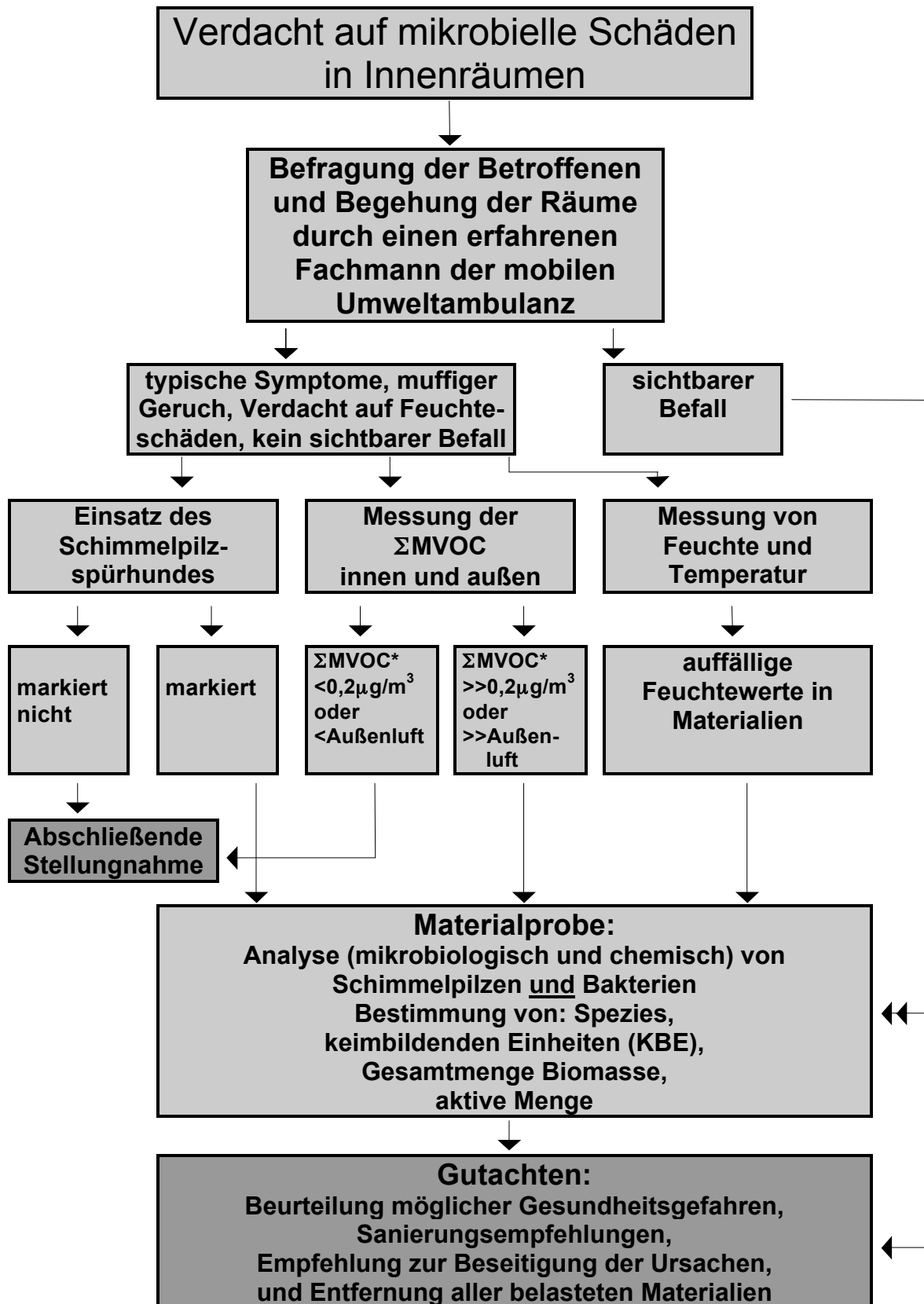


Abbildung 1: Jahreszeitliche Entwicklung der Aufträge der Ambulanz für Gesundheit und Umwelt (AGU), die mit mikrobiellen Schäden in Innenräumen in Zusammenhang standen

Liegt in untersuchten Innenräumen ein mikrobieller Schaden bzw. der Verdacht auf einen mikrobiellen Schaden vor, so versuchen die Mitarbeiter der AGU die Quelle und Ursache (Feuchtigkeit) des mikrobiellen Wachstums aufzufinden. Anschließend müssen häufig Sanierungsempfehlungen gegeben werden. Die Vorgehensweise der Mitarbeiter der AGU bei mikrobiellen Schäden in Innenräumen ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.



*MVOC= mikrobielle flüchtige organische Verbindungen (microbial volatile organic compounds)

Abbildung 2: Vorgehensweise der Mitarbeiter der Ambulanz für Gesundheit und Umwelt (AGU) bei mikrobiellen Schäden bzw. dem Verdacht auf mikrobielle Schäden in Innenräumen

Mögliche Instrumentarien oder Methoden, die in Einzelfällen individuell zugeschnitten eingesetzt werden können, sind: Begehung der Räumlichkeiten durch einen Umweltingenieur und Begutachtung verdächtiger Stellen, Feststellen von Baumängeln etc., Einsatz des Schimmelpilzspürhundes, Messung der MVOC, Probennahmen von verdächtigem Material und Bestimmung von Anzahl und biologischer Aktivität der Schimmelpilze und Bakterien in diesem Material.

Von besonderer Bedeutung ist auch die Bestimmung der Art und Gattung der aufgefundenen Schimmelpilze und Bakterien. Da nur anhand der genauen Kenntnis dieser Fakten eine Abschätzung der Gefährdung der Bewohner der belasteten Räumlichkeiten gegeben werden kann (z.B. Gefahr von Toxinbildung, allergenes Potential, immunsuppressive Wirkungen etc.).

Die Einordnung der 330 in diese Dokumentation einbezogenen Auftraggeber in die Kategorien A bis E ist in Tabelle 1 dargestellt. 161 (48,8%) der 330 Auftraggeber hatten aufgrund gesundheitlicher Beschwerden den Auftrag zur Untersuchung der Räumlichkeiten erteilt und es waren deutlich sichtbare mikrobielle Schäden vorhanden bzw. im Laufe der Untersuchung wurde ein erhöhter mikrobieller Befall nachgewiesen (Kategorie A).

Bei 17 Auftraggebern wurden erhöhte Konzentrationen an MVOC gemessen, bis zum Ende des Dokumentationszeitraumes aber keine weiteren Messungen (z.B. Bestimmung von Schimmelpilzen und Bakterien) vorgenommen, so daß in diesen Fällen ein Verdacht auf mikrobielles Wachstum bestand (Kategorie B). In weiteren 17 Fällen wurde die Untersuchung auf mikrobiellen Schäden vorbeugend durchgeführt und entsprechende Schäden wurden durch die Mitarbeiter der AGU festgestellt (Kategorie C).

Bei 116 Auftraggebern fand eine Begehung durch einen Mitarbeiter der AGU statt, ohne daß ein sichtbarer mikrobieller Befall festgestellt wurde. In den Innenräumen waren jedoch Feuchteschäden sichtbar und/oder ein muffiger Geruch wies auf mikrobielles Wachstum hin. Weitere Maßnahmen zur Aufklärung eines mikrobiellen Schadens wurden jedoch bis zum Ende des Dokumentationszeitraumes nicht in Auftrag gegeben (Kategorie D).

In 19 Fällen eines anfänglichen Verdachts auf einen mikrobiellen Schaden in Innenräumen (z.B. aufgrund eines Wasserschadens) konnte die Untersuchung diesen Verdacht nicht bestätigen (Kategorie E).

Tabelle 1: Einordnung der Auftraggeber der Ambulanz für Gesundheit und Umwelt (AGU), bei denen 1996 ein Schimmelpilzschaden vermutet oder nachgewiesen wurde, in die Kategorien A bis E

	Anzahl der Auftraggeber (n=330)	%
Kategorie A	161	48,8%
Kategorie B	17	5,2%
Kategorie C	17	5,2%
Kategorie D	116	35,2%
Kategorie E	19	5,8%

In allen Fällen wurde eine genaue Begutachtung der betroffenen Räumlichkeiten durchgeführt und eventuell vorliegende Feuchteschäden bzw. sichtbarer mikrobieller Befall festgehalten. Zusätzlich wurden in 141 Fällen Material auf mikrobielles Wachstum untersucht, der Schimmelpilzspürhund zur Quellensuche eingesetzt und/oder Messungen der MVOC durchgeführt (vgl. Tabelle 2). Von den 141 Fällen wurden 120 in die Kategorien A, B und C eingeordnet.

Tabelle 2: Prozentualer Anteil des Einsatzes verschiedener Methoden* zum Aufspüren bzw. Nachweis von Schimmelpilzschäden in Innenräumen bei 141 Auftraggebern der Ambulanz für Gesundheit und Umwelt (AGU) sowie der Anteil der Auftraggeber bei denen die Methoden positive Ergebnisse lieferten (Kategorien A, B, C)**

	Einsatz der verschiedenen Methoden insgesamt (n=141)**	davon Kategorie A,B,C (n=120)	%
Schimmelpilzspürhund	28	22	79%
MVOC - Messung	32	27	84%
Bakterien-Kultur	101	76	75%
Schimmelpilz-Kultur	104	89	86%

*: meist Einsatz mehrerer Methoden

** : ohne die deutlich sichtbaren Schimmelpilzschäden, die schon bei der Begehung festgestellt wurden und bei denen keine Messungen bzw. Quellensuche erforderlich waren (n=65)

3.2 Einsätze des Schimmelpilzspürhundes

Der Schimmelpilzspürhund kam in 28 Fällen zum Einsatz und konnte in 23 Fällen eine oder mehrere Stellen markieren. In einem Fall lag die markierte Stelle jedoch außerhalb der Wohnung, so daß dieser Auftraggeber nicht in die Kategorie A eingeordnet wurde (es verblieben daher 22). In 20 Fällen wurde nachfolgend erhöhtes oder sehr hohes und in 2 Fällen etwas erhöhtes Schimmelpilzwachstum in dem befallenen Material durch die Kultivierung entnommener Proben nachgewiesen. In 16 dieser Fälle lag zusätzlich erhöhtes oder sehr hohes bakterielles Wachstum vor.

Insgesamt wurden in den 22 Räumlichkeiten von dem Schimmelpilzspürhund 59 Stellen markiert, an 52 dieser Stellen (88%) konnte ein erhöhter mikrobieller Befall durch Untersuchung der markierten Stellen nachgewiesen werden. Insbesondere in Häusern, in denen ausgedehnter mikrobieller Befall (an ≥ 4 Stellen) vorlag, markierte der Hund zum Teil ein oder zwei Stellen mehr als tatsächlich befallen waren. Bei 38 Markierungen in 19 Häusern mit weniger als 4 befallenen Stellen lag die Erfolgsquote des Schimmelpilzspürhundes mit 95% noch höher.

3.3 Schimmelpilze und Bakterien

Bei 104 Auftraggebern wurden verdächtige Materialproben entnommen und hinsichtlich des Schimmelpilzwachstums untersucht. Bei 89 Auftraggebern (86%) wurde erhöhtes oder sehr hohes Wachstum (vgl. Kap. 2) in einer (o. mehreren) Materialproben festgestellt. Bei 84 dieser Auftraggeber lagen gesundheitliche Beschwerden vor (Kategorie A) und in 5 Fällen war die Untersuchung vorbeugend durchgeführt worden (Kategorie C). Bei 75 der 89 Auftraggeber lagen zusätzlich erhöhte oder sehr hohe Konzentrationen an Bakterien vor.

Die Häufigkeit, mit der einzelne Pilzgattungen in den Materialien aus den betroffenen Innenräumen identifiziert wurden, ist in Abbildung 3 dargestellt. Am häufigsten wurden die Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Hefen*, *Acremonium* und *Ulocladium* identifiziert.

Die Arten, die am häufigsten festgestellt wurden, waren *Aspergillus versicolor*, *Penicillium cyclopium* und *Aspergillus glaucus* (nicht abgebildet).

Eine besondere gesundheitliche Gefährdung stellt das Wachstum von Spezies der Gattung *Stachybotrys* dar, die in 8% der Fälle vorgefunden wurden.

Bei 101 Auftraggebern wurden Materialproben hinsichtlich des bakteriellen Wachstums untersucht. Bei 76 Auftraggebern (75%) wurde erhöhtes oder sehr hohes bakterielles Wachstum in einer (o. mehreren) Materialproben festgestellt. Nur in einem Fall lag nicht zusätzlich eine erhöhte Belastung durch Schimmelpilze vor. Neben erhöhtem Wachstum der *Normalflora* (die auch sonst üblicherweise in Räumen vorkommt, aber in niedrigeren Konzentrationen), wurden zum Teil erhöhte oder sehr hohe Konzentrationen an *Streptomyces sp.* (41%), *Bacillus sp.* (41%) und *Pseudomonas sp.* (21%) festgestellt.

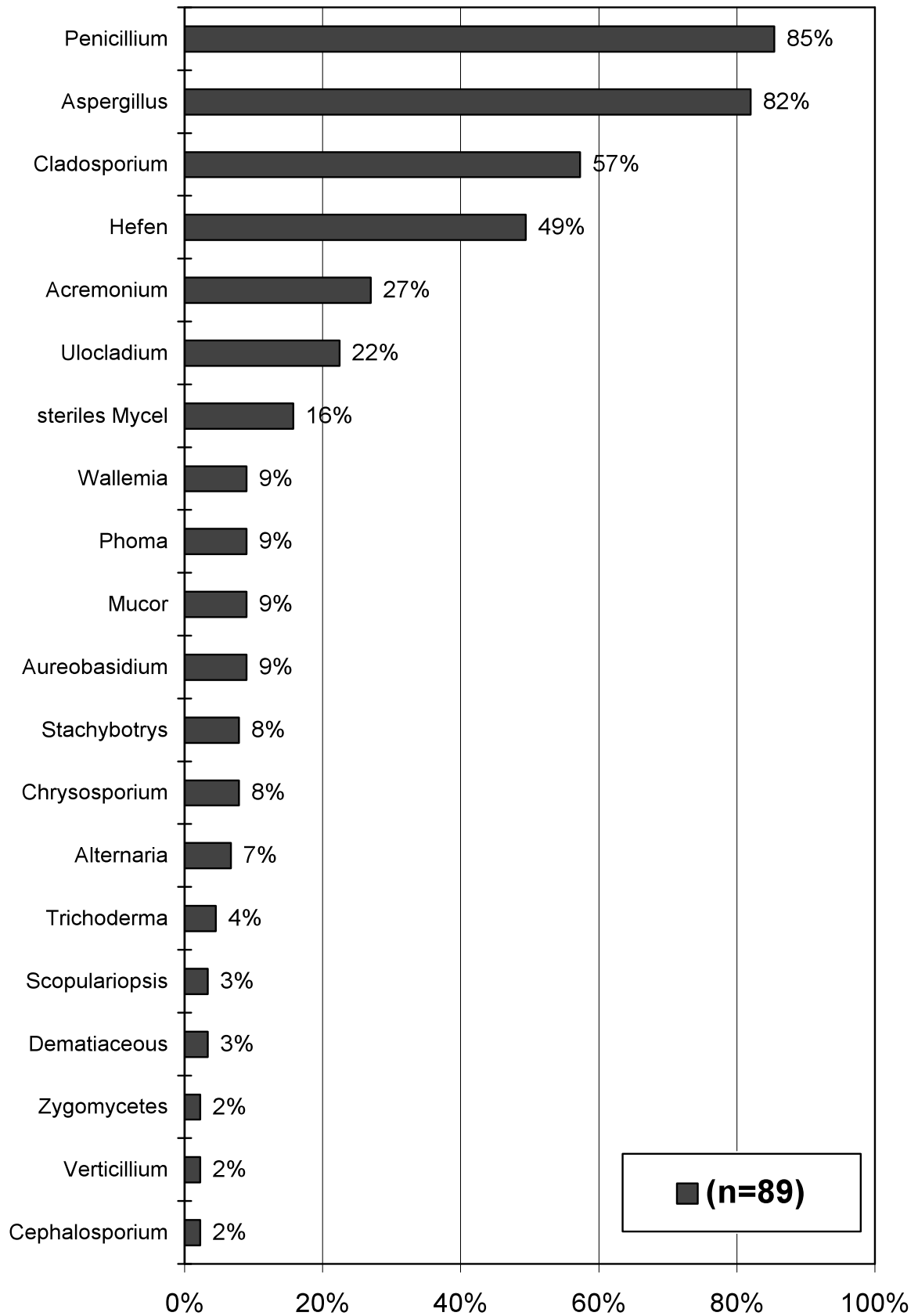


Abbildung 3: Die in 89 Wohnungen bzw. Arbeitsräumen mit Schimmelpilzbelastung am häufigsten in erhöhten oder sehr hohen Konzentrationen nachgewiesenen Schimmelpilzgattungen (Kategorien A und C)

3.4 Messung von mikrobiellen flüchtigen organischen Verbindungen (Mikrobial Volatile Organic Compounds = MVOC)

Bei 32 Auftraggebern der AGU wurden im Jahr 1996 Messungen von MVOC durchgeführt. Als Beurteilungskriterium wurde die Summe der acht angegebenen MVOC (Σ MVOC) benutzt. Die Σ MVOC eignet sich nach STRÖM et al. (1994) aufgrund der Schwankungen der Konzentrationen der einzelnen MVOC je nach befallenem Material und nach vorherrschender Schimmelpilzgattung bzw. -art besser als Maß eines möglichen Schimmelpilzwachstums als die Einzelverbindungen. Allerdings ist bei den von uns dokumentierten Messungen auch der prozentuale Anteil der Einzelverbindungen an der Σ MVOC innerhalb gewisser Schwankungsbreiten relativ konstant.

In welcher Form die Konzentration der Summe Σ MVOC mit erhöhtem Schimmelpilzwachstum oder mit Gesundheitsschäden korreliert, muß Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. In der vorliegenden Dokumentation sowie in anderen Studien (STRÖM et al., 1994; WESSÉN und SCHOEPS, 1996) korrelierte jedoch die semiquantitative Aussage „erhöhte Σ MVOC ($>> 0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)“ bzw. „ Σ MVOC im Innenraum $>> \Sigma$ MVOC in der Außenluft“ gut mit Schimmelpilzschäden in den untersuchten Räumlichkeiten. Alle weitergehenden Aussagen wären zu diesem Zeitpunkt lediglich spekulativ. Die hier dargestellten Daten sollen deshalb deskriptiven Zwecken dienen, können jedoch bei der Durchführung weitergehender Studien hilfreich sein.

Von den 32 Auftraggebern, bei denen MVOC gemessen wurden, wurden 27 in die Kategorien A, B oder C eingeordnet. Bei 17 Auftraggebern lagen nur MVOC-Messungen vor, bei 10 waren zusätzlich Materialproben auf mikrobielles Wachstum überprüft worden. In 9 dieser 10 Fälle mit Σ MVOC-Konzentrationen von $0,4$ bis $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde in verdächtigen Materialproben erhöhtes bis sehr hohes Schimmelpilzwachstum (und zusätzlich bakterielles Wachstum) festgestellt. In 6 dieser Fälle war auch der Schimmelpilzspürhund zum Einsatz gekommen, der bei allen 6 Auftraggebern 2 oder mehr Stellen markierte. Damit lag in diesen Fällen eine gute Übereinstimmung aller Methoden vor.

3.5 Symptome

Von den 330 Auftraggebern der AGU, bei denen ein mikrobieller Schaden vermutet bzw. nachgewiesen wurde, waren 161 in die Kategorie A und 17 in die Kategorie B eingeordnet worden. Bei insgesamt 178 Auftraggebern lagen bei nachgewiesenem oder sichtbarem mikrobiellen Befall bzw. dem dringenden Verdacht auf einen Befall (Kategorie B, n=17) auch Krankheitssymptome vor, die in der wissenschaftlichen Literatur mit der Exposition gegenüber Schimmelpilzen bzw. deren Produkten in Verbindung gebracht werden. Allerdings muß nicht jedes Symptom ursächlich in Zusammenhang mit dem mikrobiellen Schaden stehen. Da die Symptome spontan von den betroffenen Personen geschildert wurden, erhebt die Auflistung weiterhin keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Jedoch ergab die Auswertung einige Abweichungen von früheren Auswertungen, die Symptommhäufigkeiten in Zusammenhang mit anderen Schadstoffbelastungen (Pentachlorphenol (PCP)-haltige Holzschutzmittel, Pyrethroide, Formaldehyd) in Innenräumen zum Thema hatten (BAUER et al., 1998).

In der vorliegenden Dokumentation wurden alle von Gesundheitsbeschwerden betroffenen Personen, die sich in den untersuchten Innenräumen aufhielten (meist Wohnräume, in einigen Fällen Arbeitsstätten) in die Auswertung der Symptommhäufigkeiten einbezogen. So waren bei 178 Auftraggebern (Kategorien A und B) insgesamt 345 Personen von Krankheitssymptomen betroffen, darunter waren 141 Frauen, 103 Kinder (≤ 14 Jahre) und 101 Männer. Da häufig Mischexpositionen vorlagen (z.B. mit Holzschutzmitteln oder Formaldehyd) wurden in die Auswertung der Symptommhäufigkeiten nur die Auftraggeber ohne Mischexposition einbezogen. Dies traf für 123 Auftraggeber zu. Hier waren insgesamt 233 Personen von gesundheitlichen Beschwerden betroffen, darunter waren 103 Frauen, 69 Kinder und 61 Männer.

Mit 79% wurden *Atemwegserkrankungen* von den betroffenen Personen am häufigsten benannt. 8% der Personen benannten zusätzlich eine Asthmaerkrankung (nicht dargestellt) und sind daher durch Schimmelpilze und ihre Produkte besonders gefährdet. Unter *Infektanfälligkeit* litt mehr als die Hälfte der exponierten Personen. 41% der Personen benannte eine allergische Disposition, jedoch berichteten nur 7 Fälle speziell von einer Allergie gegen Schimmelpilze. Aber auch unspezifische Symptome wie *Müdigkeit/ Antriebsstörung* (40%), *Kopfschmerzen*

(33%) und *Konzentrationsstörungen* (23%) wurden von den betroffenen Personen als Symptome benannt. Die Symptome *Hautaffektionen* bzw. *Augenreizungen* schilderten 26% bzw. 24% der 233 Personen.

Die genannten Symptome stimmen gut mit denen überein, die in der Literatur mit der Exposition gegenüber Schimmelpilzen und ihren Produkten in Zusammenhang gebracht werden. Die möglichen Mechanismen, die zur Entstehung dieser Symptome führen können, werden bei Flannigan und Miller (1994) ausführlich beschrieben.

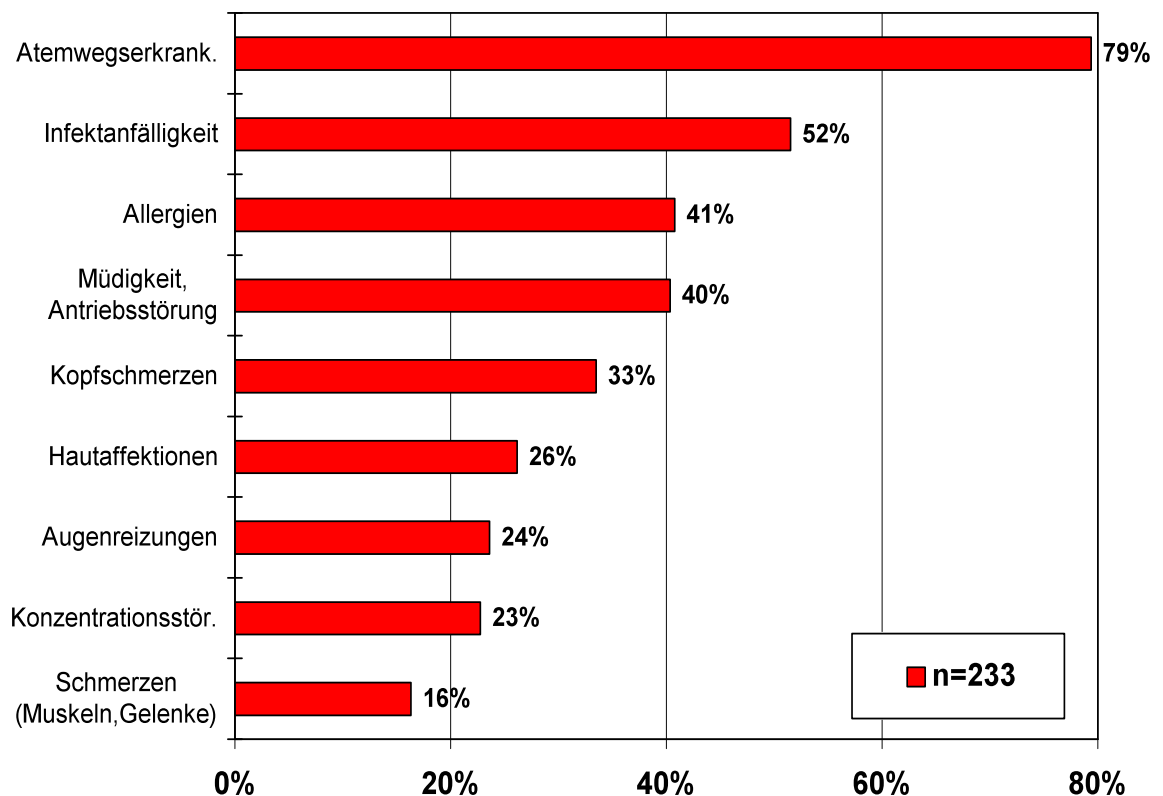


Abbildung 4: Prozentualer Anteil der häufigsten Gesundheitsstörungen, die von 233 Personen, die gegenüber erhöhtem mikrobiellen Wachstum in Innenräumen exponiert waren, geschildert wurden

4. Diskussion

4.1 Gesundheitliche Aspekte

Der mikrobielle Befall von Innenräumen durch Schimmelpilze und Bakterien wurde lange Zeit vor allem als raumkosmetisches Problem oder als Risiko für allergische oder immungeschwächte Personen angesehen. Erst in den letzten Jahren wird der Thematik von der Wissenschaft erhöhte Aufmerksamkeit zuteil (FLANNIGAN und MILLER, 1994). Als mögliche Ursachen für die gesundheitsschädigenden Auswirkungen werden neben der reinen Zahl von Sporen und Bakterien als Infektionskeime die Bildung von mikrobiellen Toxinen, Allergenen, mikrobiellen flüchtigen organischen Verbindungen (MVOC) sowie entzündungssteigernde, immunsuppressive und neurotoxische Wirkungsmechanismen diskutiert (FLANNIGAN und MILLER, 1994).

4.2 Methodische Aspekte

Üblicherweise werden seit vielen Jahren zur Beurteilung eines möglichen Schimmelpilzschadens in Innenräumen die sogenannten „Keimbildenden Einheiten“ (KBE) in der Luft (pro m³) oder im Staub (pro Gramm) gemessen. Dabei wird Luft angesaugt, über ein geeignetes Medium geleitet, dieses inkubiert und die Anzahl und Spezies der Schimmelpilze bestimmt. Diese Art der Probennahme hat jedoch einige Nachteile, so daß in den letzten Jahren Kritik an dieser Methodik geäußert wurde. Die Hauptkritikpunkte sind folgende:

1. Es werden nur die lebenden, kultivierbaren Schimmelpilze erfaßt. Biologisch, toxisch oder allergen wirksam sind jedoch auch Bestandteile toter Mikroorganismen. Die Gesamtzahl liegt häufig 2-3 Größenordnungen über der Anzahl der lebenden kultivierbaren Schimmelpilze (BLOMQUIST und ANDERSSON, 1994) Die Kultivierung etlicher Schimmelpilze ist, aufgrund besonderer Kulturanforderungen oder der Empfindlichkeit der Spezies schwierig. Diese Schimmelpilze sind dann in den Proben unterrepräsentiert (z.B. *Stachybotrys sp.*). Schimmelpilze, die auf dem verwendeten Kulturmedium schnell wachsen, hemmen das Wachstum von gleichzeitig vorhandenen

Schimmelpilzen und sind daher überrepräsentiert (FLANNIGAN und MILLER, 1994).

2. Leichte kleine Sporen sind eher in der Luft vorhanden (z.B. *Aspergillus*, *Penicillium*) als schwere Sporen (z.B. *Ulocladium*), da diese schneller absinken und eher im Staub vorhanden sind (FLANNIGAN und MILLER, 1994).
3. Von versteckt wachsenden Schimmelpilzen gelangen kaum Sporen in die Luft oder in den Staub, während biologisch aktive Verbindungen (Toxine, Allergene, MVOC) durchaus in Raumluft bzw. Staub vorhanden sein können und möglicherweise zu Gesundheitsstörungen führen (STRÖM et al., 1994).
4. Die Ergebnisse einer Staubmessung sind im wesentlichen von der verwendeten Probennahme- und Analysemethode abhängig. Die Ergebnisse verschiedener Methoden sind daher nicht vergleichbar (VERHOEFF et al., 1994a).
5. Die Konzentrationen in der Luft sind in hohem Maße von den staubaufwirbelnden Aktivitäten in dem untersuchten Raum abhängig, jedoch nicht mit Schimmelpilzschäden oder Gesundheitsstörungen korreliert. Je nach Aktivitäten ergaben sich Differenzen der gemessenen KBE von drei bis vier Größenordnungen (BLOMQUIST und ANDERSSON, 1994). FLANNIGAN und MILLER (1994) kamen sogar zu der Aussage, daß wahrscheinlich die Sporenkonzentrationen in der Raumluft am meisten durch die Aktivität des Untersuchers selbst beeinflusst werden.
6. In einigen Studien konnten nicht einmal bei sichtbarem Befall der Wände durch Schimmelpilze erhöhte Konzentrationen an KBE in Luft oder Staub im Vergleich mit Kontrollhäusern ohne Befall festgestellt werden (FLANNIGAN und MILLER, 1994; VERHOEFF et al., 1994b).
7. Zusätzlich zu Schimmelpilzen können hohe Konzentrationen an Bakterien vorliegen und zu Gesundheitsstörungen beitragen.

Es muß aus diesen Untersuchungen geschlossen werden, daß die Messung von lebenden, kultivierbaren Sporen in der Raumluft nur geringe Aussagekraft hinsichtlich der möglichen Gefährdung der Raumnutzer durch Schimmelpilze oder ihrer Produkte besitzt. Insbesondere niedrige Konzentrationen an KBE geben keine Sicherheit dahingehend, daß kein gesundheitsgefährdender Schimmelpilzschaden vorliegt. Für die Messung der KBE im Staub gelten etwas eingeschränkt

dieselben Einwendungen. Dringend erforderlich ist aus diesen Gründen die Entwicklung neuer Methoden und Wege, um eine entsprechende reproduzierbare Beurteilung vornehmen zu können (FLANNIGAN und MILLER, 1994).

Schimmelpilze und Bakterien können nicht nur in der Luft und im Staub, sondern auch im befallenen Material, also der eigentlichen Quelle der Kontamination, bestimmt werden. Dies hat den Vorteil, daß ein größerer Anteil der vorkommenden Spezies erfaßt sowie die Anzahl der lebenden Mikroorganismen und die Gesamtmenge bestimmt werden können. Bei Vorhandensein von bekanntermaßen toxinbildenden Spezies wie z.B. *Stachybotrys sp.* können besondere Empfehlungen hinsichtlich einer schnellen Sanierung (oder Auszug!) gegeben werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die Bestimmung von Metaboliten (z.B. MVOC) oder Toxinen. Die Analyse ist jedoch schwierig und wird nur von wenigen Laboratorien beherrscht. Die gesundheitliche Relevanz dieser Verbindungen für die Bewohner der belasteten Räume ist in vielen Fällen nicht bekannt.

MVOC-Konzentrationen in mit Schimmelpilzen kontaminierten Innenräumen bewegen sich im unteren Mikrogramm pro m³-Bereich, die Einzelverbindungen liegen zum Teil im Nanogramm/m³- Bereich vor (WESSÉN und SCHOEPS, 1996; KELLER und GROH, 1997). Über die Toxizität dieser Verbindungen insbesondere in diesen niedrigen Konzentrationen ist nichts bekannt. Es muß daran erinnert werden, daß in Innenräumen meist zusätzlich hundertfach höhere Konzentrationen eines Gemischs von anderen flüchtigen organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds=VOC) vorliegt, die nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung im Bereich <300 µg/m³ keine nachteiligen gesundheitlichen Effekte haben (ENGLERT, 1994).

Da jedoch eine offen sichtbare oder versteckte erhöhte mikrobielle Kontamination in Wohnungen oder an Arbeitsplätzen auch ohne MVOC mit einem gesundheitlichen Risiko (s.o.) einhergeht, ist die entscheidende Frage zur Zeit nicht, ob MVOC Gesundheitsstörungen verursachen, sondern vor allem, ob sie als Indikator für verdecktes mikrobielles Wachstum geeignet sind.

In der vorliegenden Dokumentation wurden bei 10 Auftraggebern der AGU im Jahr 1996, zusätzlich zu den MVOC-Messungen Materialproben auf mikrobielles Wachstum überprüft. In 9 dieser 10 Fälle mit MVOC-Konzentrationen (Σ MVOC) von 0,46 bis $3,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde in verdächtigen Materialproben tatsächlich erhöhtes bis sehr hohes Schimmelpilzwachstum (und zusätzlich bakterielles Wachstum) festgestellt. In 6 dieser Fälle war auch der Schimmelpilzspürhund zum Einsatz gekommen, der bei allen 6 Auftraggebern 2 oder mehr Stellen markierte. In 9 von 10 Fällen gab die Summe der acht MVOC (Σ MVOC) dementsprechend einen verlässlichen Hinweis auf mikrobielle Schäden.

Die Konzentrationen einzelner MVOC in der Außenluft können jedoch durchaus Konzentrationen $>0,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichen, so daß Sekundärkontaminationen durch die Außenluft nicht ausgeschlossen werden können und der Parameter „ Σ MVOC im Innenraum \gg Σ MVOC in der Außenluft“ möglicherweise besser als Indikator für erhöhtes mikrobielles Wachstum in Innenräumen geeignet ist, als die Luftkonzentration allein (DEWEY et al., 1995; SMEDJE et al., 1996).

Die von der AGU abgegebenen Empfehlungen zur Bewertung von mikrobiellen Schäden in Innenräumen lauten zur Zeit wie folgt (vgl. auch MILLER et al., 1988; SAMSON et al., 1994):

- 1. Sichtbares Schimmelpilzwachstum in nicht-industriell genutzten Innenräumen (Wohnungen, Büros) ist nicht akzeptabel.**
- 2. Sichtbare und auch nicht sichtbare Feuchteschäden bergen die Gefahr eines mikrobiellen Wachstums und sollten daher beseitigt werden.**
- 3. Der Einsatz von Fungiziden zur Bekämpfung eines vorhandenen mikrobiellen Schadens wird nicht empfohlen.**
- 4. Zur Zeit existiert keine optimale Methode zur Messung von Pilzsporen oder Pilzpartikeln in der Raumluft oder im Staub. Diese Methoden können allein nicht zur Bewertung herangezogen werden.**
- 5. Wird Wachstum von bekanntermaßen toxinbildenden oder in anderer Weise gesundheitsgefährdenden Schimmelpilzen (z.B. *Stachybotrys atra*, *Aspergillus fumigatus*) festgestellt, so besteht Gefahr für die Gesundheit der Bewohner. Eine sofortige sachgemäße Sanierung ist erforderlich.**

6. Schon der Verdacht auf ein verstecktes mikrobielles Wachstum (z.B. muffiger Geruch, andauernder Feuchteschaden) sollte aufgrund möglicher gesundheitlicher Implikationen (Toxine, Allergene, MVOC) zu genaueren Untersuchungen Anlaß geben (vgl. auch STRÖM et al., 1994).

5 Literaturverzeichnis

Bauer A., Böge K.-P., Lohmann K., Schwarz E., Alsen-Hinrichs C., Wassermann O.: Fortsetzung der Dokumentation umweltmedizinischer Daten in Schleswig-Holstein und umweltmedizinisch relevante Besonderheiten bei Kindern. Im Auftrag des Umweltausschusses der Kassenärztlichen Vereinigung Schleswig-Holstein und der AOK Schleswig-Holstein. Schriftenreihe des Institutes für Toxikologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Nr. 38 (1998)

Blomquist G., Andersson B.: Measurements of microorganisms in non-industrial indoor environment in northern sweden. In: Health Implications of Fungi in Indoor Environments (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 39-47, Elsevier, Amsterdam (1994)

Dewey S., Sagunski H., Palmgren U., Wildeboer B.: Mikrobielle flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft: Ein neuer diagnostischer Ansatz bei feuchten und verschimmelten Wohnräumen? Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin, 197, 504-515 (1995)

Englert N.: Wirkungen von häufig in Innenräumen vorkommenden Luftverunreinigungen. VDI-Berichte, 1122, 575-596 (1994)

Flannigan B., Miller J.D.: Health implications of fungi in indoor environments - an overview. In: Health Implications of Fungi in Indoor Environments (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 3-28, Elsevier, Amsterdam (1994)

Flannigan B., Vicars S., Pasanen A., Pasanen P.: Bioaerosols from housedust. In: Health Implications of Fungi in Indoor Environments (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 65-74, Elsevier, Amsterdam (1994)

Hunter C.A., Lea R.G.: The airborne fungal population of representative British homes. In: Health Implications of Fungi in Indoor Environments (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 141-153, Elsevier, Amsterdam (1994)

Keller R., Groh J.: Nachweis und quantitative Bestimmung von MVOC's in pilzbelasteten und -unbelasteten Innenräumen. Schriftenreihe des Institutes für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck, Heft 1, 193-216 (1997)

Miller J.D., Laflamme A.M., Sobol Y., Lafontaine P., Greenhalgh R.: Fungi and fungal products in some Canadian houses. International Biodeterioration, 24, 103-120 (1988)

N.N.: News and Trends: Molds, fungi cause sick building syndrome. Occupational Health and Safety, 65, 13-14 (1996)

Palmgren U., Ström G., Blomquist G., Malmberg P.: Collection of airborne microorganisms on Nucleopore filters, estimation and analysis - Camnea method. Journal of Applied Bacteriology, 61, 401-406 (1986)

Pröhl A., Böge K.-P.: Auswertung von 1793 Fällen der mobilen Umweltambulanz der Kassenärzte Schleswig-Holsteins. In: Umweltambulanz-Fachbuch (Hrsg.: Guzek B., Böge K.-P.) S. 133-142 (1997)

Pröhl A., Böge K.-P., Alsen-Hinrichs C.: Report on the Activities of an Environmental Analysis Van in the German Federal State Schleswig-Holstein. *Environmental Health Perspectives*, 105, 844-849 (1997)

Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.(Hrsg.): *Health Implications of Fungi in Indoor Environments*. Air Quality Monographs Vol. 2, Elsevier, Amsterdam (1994)

Smedje G., Norbäck D., Wessén B., Edling C.: Asthma among school children and employees in relation to the school environment. In: *Indoor Air 96*. The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. July 21-26, Nagoya, Japan. Vol 3, 103-108 (1996)

Ström G., West J., Wessén B., Palmgren U.: Quantitative analysis of microbial volatiles in damp swedish houses. In: *Health Implications of Fungi in Indoor Environments* (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 291-305, Elsevier, Amsterdam (1994)

Verhoeff A.P., Hoekstra E.S., Samson R.A., Brunekreef B., van Wijnen J.H.: Fungal propagules in house dust, a comparison of analytical methods. In: *Health Implications of Fungi in Indoor Environments* (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 49-63, Elsevier, Amsterdam (1994a)

Verhoeff A.P., van Wijnen J.H., Hoekstra E.S., Samson R.A., van Strien R.T., Brunekreef B.: Fungal propagules in house dust: relation with home-characteristics. In: *Health Implications of Fungi in Indoor Environments* (Hrsg.: Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G., Hoekstra E.S.) Air Quality Monographs Vol. 2, 129-140, Elsevier, Amsterdam (1994b)

Verhoeff A.P., van Strien R.T., van Wijnen J.H., Brunekreef B.: Damp housing and childhood respiratory symptoms: The role of sensitization to dust mites and molds. *American Journal of Epidemiology*, 141, 103-110 (1995)

Wessén B., Schoeps K.O.: Microbial volatile organic compounds. What substances can be found in sick buildings? *The Analyst*, 121, 1203-1205 (1996)