

Leitfaden

zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“)

Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes
Vorsitz: **Dr. Bernd Seifert**, Umweltbundesamt

Mitglieder:

PD Dr. Dr. Wolfgang Bischof, Klinikum der Friedrich-Schiller-Universität Jena
Dr. Joachim Dullin, Verbraucher-Zentrale NRW
Prof. Dr. Martin Exner, Hygiene-Institut der Universität Bonn
Prof. Dr. Klaus Fitzner, Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin
Dr. Birger Heinzow, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
Prof. Dr. Olf Herbarth, UFZ-Umweltforschungszentrum, Leipzig-Halle GmbH
Dr. Caroline Herr, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Universität Gießen
Dr. Hermann Kruse, Klinikum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Dr. Inge Mangelsdorf, Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover
Dipl.-Chem. Wolfgang Misch, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
Prof. Dr. Hans-Günter Neumann, Institut für Toxikologie und Pharmakologie der Universität Würzburg
Prof. Dr. Henning Rüdén, Institut für Hygiene der Freien Universität Berlin
Dr. Helmut Sagunski, Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales, der Freien und Hansestadt Hamburg
Prof. (CS) Dr. Martin Schata, Madaus AG, Köln
Dr. Jürgen Wuthe, Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg.

Als weitere Sachverständige haben mitgewirkt:

Dipl.-Phys. Christoph Baudisch, Landesgesundheitsamt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
Dr. Andreas Czepuck, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Dr. Steffen Engelhart, Hygiene-Institut der Universität Bonn
Dr. Norbert Englert, Umweltbundesamt, Berlin
Dr. Guido Fischer, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dr. Thomas Gabrio, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart
Dr. Snezana Jovanovic, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart
Dr. Heinz-Jörn Moriske, Umweltbundesamt, Berlin
Dr. Elke Roßkamp, Umweltbundesamt, Berlin
Dr. Klaus Senkpiel, Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene, Medizinische Universität Lübeck
Dr. Hartmut Stirn, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin
Dr. Regine Szewzyk, Umweltbundesamt, Berlin
Dr. Christoph Trautmann, Umweltmykologie, Berlin
Dr. Detlef Ullrich, Umweltbundesamt, Berlin.

Impressum:

Herausgeber und Redaktion:
Umweltbundesamt
Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Bismarckplatz 1
14193 Berlin
Tel.: 030 - 8903 - 0
Fax: 030 - 8903 - 2285
<http://www.umweltbundesamt.de>

Bearbeiter:
Dr. Heinz-Jörn Moriske
Dr. Regine Szewzyk

Gesamtherstellung:
KOMAG GmbH

© 2002 Umweltbundesamt Berlin

Kapitel	Inhalt	Seiten
	Vorwort	1
	Einleitung	3
Teil A Grundsätzliches	A-1 Eigenschaften und Vorkommen von Schimmelpilzen in Innenräumen	5
	A-2 Wirkungen von Schimmelpilzen auf den Menschen	10
	A-2.1 Allergische Reaktionen	11
	A-2.2 Reizende und toxische Wirkungen	13
	A-2.3 Pulmonale Mykosen	15
Teil B Vorbeugende Maßnahmen gegen Schimmelpilzbefall	B-1 Bauseitige Maßnahmen	16
	B-2 Richtiges Lüftungs- und Heizverhalten	16
	B-2.1 Luftfeuchtigkeit und Lüftung	17
	B-2.2 Luftaustausch im Gebäude	19
	B-2.3 Richtiges Lüften	21
	B-2.4 Raumluftechnische Anlagen	23
Teil C Bestandsaufnahme und Sanierung bei Schimmelpilz- wachstum in Innenräumen	C-1 Schadensaufnahme bei Vorkommen von Schimmelpilzen in Gebäuden	25
	C-1.1 Begehung	27
	C-1.2 Bestimmung von Schimmelpilzbelastungen	30
	C-1.2.1 Messung kultivierbarer Schimmelpilze in der Innenraumluft	31
	C-1.2.2 Messung von kultivierbaren Schimmelpilzen im Hausstaub	33
	C-1.2.3 Messung kultivierbarer Schimmelpilze durch Sedimentation	34
	C-1.2.4 Messung der kultivierbaren Schimmelpilze in Material- und Oberflächenkontaktproben	34
	C-1.2.5 Messung der Gesamtzellzahl (Gesamtsporenzahl)	35
	C-1.3 MVOC-Messungen	36
	C-1.4 Schimmelpilzspürhunde	39
	C-1.5 Qualitätssicherung	40
	C-1.5.1 Qualitätsanforderungen an die Untersuchungseinrichtung	40
	C-1.5.2 Hilfestellungen zur internen und externen Qualitätssicherung	42
	C-2 Beurteilung von Schimmelpilzen im Innenraum	43
	C-2.1 Bewertung von Materialproben	43
C-2.2 Bewertung von Luft- und Staubproben	45	
C-2.2.1 Bewertung von Luftproben	46	
C-2.2.3 Bewertung von Staubproben	49	

Inhalt

Kapitel	Inhalt	Seiten
	C-3 Ursachensuche und Sanierungsmaßnahmen	49
	C-3.1 Ursachensuche	50
	C-3.2 Sanierung	53
	C-3.2.1 Kurzfristige Maßnahmen	54
	C-3.2.2 Langfristige Maßnahmen	54
Teil D	Fallbeispiel 1: Autohaus	58
Fallbeispiele	Fallbeispiel 2: Schule A	59
	Fallbeispiel 3: Kindergarten	60
	Fallbeispiel 4: Verbindungsflur mit Altschaden	61
	Fallbeispiel 5: Schule B	63
Anhänge	Anhang 1: Begehungsprotokoll	66
	Anhang 2: Weiterführende Literatur	72

Vorwort

Im Umweltbundesamt häufen sich in letzter Zeit die Anfragen mit der Bitte um Informationen über das Auftreten von Schimmelpilzen in Gebäuden. Schimmelpilzwachstum kann bei Feuchteschäden in Mauerwerks- und Gebäudestrukturen auftreten, wird zunehmend aber auch in Gebäuden beobachtet, die aus energetischen Gründen aufwändig abgedichtet wurden. Die Feuchtigkeit – in Wohnungen vor allem durch die Bewohnerinnen und Bewohner verursacht – wird in solchen Gebäuden oftmals nur unzureichend durch natürliche Lüftung abgeführt und reichert sich deshalb im Raum an. An wenig durchlüfteten Stellen kann es dann im Laufe der Zeit zum Schimmelpilzwachstum kommen, das nicht immer nur mit verstärktem Lüften vermeidbar ist.

Bis heute gibt es in der Fachwelt keine schlüssige Antwort auf die schwierige Frage, wie Schimmelpilzschäden methodisch sicher und auf einheitliche Weise zu erfassen sind und wie man insbesondere verdeckte Schäden feststellen kann. Auch die gesundheitliche Bewertung der Schimmelpilzbelastungen geschieht wegen einer

Reihe noch offener Fragen nicht immer sicher.

Die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes hat in dem vorliegenden Leitfaden das gesamte Thema aufgegriffen und die derzeit vorliegenden Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt. Ihr Ziel ist es, mit diesem Leitfaden die Öffentlichkeit zu informieren und den Weg für eine einheitliche Erfassung und Bewertung von Schimmelpilzen in Innenräumen zu ebnen. Praktische Hinweise zeigen, wie sich Schimmelpilzschäden vermeiden lassen.

Die Mitglieder der Kommission wurden bei ihrer Arbeit von anderen Fachleuten und von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Umweltbundesamtes unterstützt. Ich danke allen Beteiligten für ihre Arbeit.

Berlin, November 2002

Prof. Dr. Andreas Troge
Präsident des Umweltbundesamtes



Einleitung

Dem Auftreten von Schimmelpilzen in Gebäuden wird zunehmend Beachtung geschenkt. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Voraussetzung für das Schimmelpilzwachstum ist generell Feuchtigkeit. Höhere Feuchte im Innenraum kann durch bauliche Mängel oder durch falsches Nutzerverhalten auftreten.

In älteren und in nicht vorschriftsgemäß errichteten neuen Gebäuden kann durch bauliche Mängel (undichtes Dach, Risse im Mauerwerk) oder Fehler in der Gebäudekonstruktion Feuchtigkeit in Wände, Fußböden und Decken eindringen sowie zur Gebäudeinnenseite wandern. Durch Wärmebrücken oder unzureichend oder falsch angebrachte Wärmedämmungen kommt es zu einer erhöhten relativen Feuchte an der Oberfläche bis hin zur Tauwasserbildung an Innenflächen der Gebäudewände. Um dies zu verhindern und einem Schimmelpilzbefall vorzubeugen, müssen an erster Stelle solche baulichen Mängel beseitigt werden.

Das Verhalten der Raumnutzer kann ebenfalls zu erhöhter Feuchte im Innenraum beitragen. Vor allem unsachgemäßes Lüftungsverhalten der Bewohnerinnen und Bewohner in Verbindung mit Tätigkeiten, bei denen Feuchtigkeit entsteht (Duschen, Kochen, Wäschetrocknen etc.), erhöht die Feuchtigkeit der Raumluft. Dies kann zu Schimmelpilzwachstum führen. Besonders bei nachträglich wärmegeämmten und nach den geltenden Wärmeschutzvorschriften neu errichteten Gebäuden ist wegen des verringerten natürlichen Luftwechsels (das ist der Luftaustausch mit der Außenluft, der z.B. über Fugenundichtigkeiten bei geschlossenen Fenstern und Türen auftritt) ein sachgerechtes Lüften erforderlich.

Nicht zuletzt können unvollständig oder unsachgemäß beseitigte Wasserschäden oder

Restbaufeuchte das Schimmelpilzwachstum begünstigen.

Bis heute gibt es keine einheitlichen Erfassungsmethoden und Bewertungsmaßstäbe für Schimmelpilzkontaminationen in Innenräumen. Dieser Leitfaden soll helfen, einheitliche Vorgehensweisen und Empfehlungen zu schaffen. Er soll darüber hinaus dazu beitragen, Schimmelpilzbelastungen in Gebäuden vorzubeugen.

Der Leitfaden wendet sich an alle diejenigen, die mit der Vorbeugung, Erfassung, Bewertung und Beseitigung von Schimmelpilzbelastungen in Gebäuden befasst sind. Hierzu gehören die Fachleute der einschlägigen Behörden (Umwelt-, Gesundheits-, Bauaufsichtsämter) und verschiedenen Berufsgruppen (Baufachleute, Analytiker, Hygieniker und Mikrobiologen) sowie die Gebäudeeigentümer und -betreiber (Hausverwaltungen, Wohnungsbaugesellschaften etc.).

Der Leitfaden beschränkt sich grundsätzlich auf die Problematik der Schimmelpilzbelastungen in Räumen und Gebäuden, die auf natürliche Weise (Fenster, Türen) belüftet werden können. Auf Besonderheiten, die sich durch den Betrieb von mechanischen Be- und Entlüftungseinrichtungen, z.B. in klimatisierten Büroarbeitsräumen, ergeben, wird jedoch ergänzend hingewiesen. Schimmelpilzprobleme in Krankenhäusern und in produktionstechnisch belasteten Arbeitsplatzinnenräumen (z.B. Abfallverwertungsanlagen) werden nicht behandelt; ebenso wenig derjenige Schimmelpilzbefall, der durch verdorbene oder unsachgemäß gelagerte Lebensmittel entsteht und bei Genuss dieser Lebensmittel für die Betroffenen gesundheitliche Probleme verursachen kann.

Der Leitfaden ist folgendermaßen aufgebaut:

Im einem Grundsatzteil (Teil A) wird zunächst auf Eigenschaften, Quellen und Vor-

kommen der verschiedenen Schimmelpilzarten in Gebäuden eingegangen und die gesundheitliche Bedeutung von Schimmelpilzen und der von ihnen gebildeten Stoffwechselprodukte beschrieben.

Teil B befasst sich mit vorbeugenden Maßnahmen, um Schimmelpilzbefall in Gebäuden zu vermeiden. Es werden Hinweise auf bauseitige Maßnahmen sowie auf richtiges Nutzerverhalten gegeben.

Teil C betrifft den Schadensfall. Es werden geeignete Vorgehensweisen bei der Bege-

hung der betroffenen Gebäude, der messtechnischen Erfassung der Schimmelpilzbelastung und der hygienischen Bewertung beschrieben. Hieran schließt sich eine Darstellung kurz- und langfristiger Maßnahmen zur Reduzierung des Schimmelpilzbefalls und zur Sanierung betroffener Räume an.

Teil D enthält Fallbeispiele, wie in der Praxis vorgegangen werden kann.

Der Anhang umfasst – neben einem Begehungsprotokollmuster – weiterführende Literatur zum Thema „Schimmelpilze“.

Teil A Grundsätzliches

Schimmelpilze sind ein natürlicher Teil unserer belebten Umwelt und ihre Sporen sind daher auch in Innenräumen vorhanden. Die Vermehrung von Schimmelpilzen in Innenräumen kann dagegen ein hygienisches Problem darstellen.

Wirksame Maßnahmen, um Schimmelpilzwachstum zu vermeiden, setzen die genaue Kenntnis der Schimmelpilze und ihrer Umweltansprüche voraus.

A-1 Eigenschaften und Vorkommen von Schimmelpilzen in Innenräumen

„**Schimmelpilze**“ ist ein Sammelbegriff für Pilze, die typische Pilzfäden und Sporen ausbilden können und dadurch makroskopisch als (oft gefärbter) Schimmelbelag sichtbar werden. Es handelt sich dabei aber nicht um eine einheitliche Gruppe von Pilzen, vielmehr sind unter dem Begriff „Schimmelpilze“ Fadenpilze aus mehreren Pilzgruppen (*Zygomycetes*, *Ascomycetes*, *Fungi imperfecti*) zusammengefasst.

Die einzelnen Schimmelpilze werden mit einem lateinischen Doppelnamen bezeichnet. Dabei steht der erste Teil des Namens für die übergeordnete Pilzgattung (z.B. *Aspergillus*, *Penicillium*), der zweite Teil benennt die einzelne Pilzart (synonym: Pilzspezies; z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium chrysogenum*).

Manchmal werden in den Begriff „Schimmelpilze“ zusätzlich bestimmte schimmelpilzartig bzw. fadenförmig wachsende Bakterien, die **Actinomyceten**, eingeschlossen. Dies mag aus praktischen Gründen gerechtfertigt sein, aus systematischen Gründen ist eine solche Zuordnung jedoch nicht korrekt. Obwohl auch Actinomyceten zu

Problemen im Innenraum führen können (typischer erdig-modriger Geruch), wird in diesem Leitfaden nur auf die Schimmelpilze eingegangen.

Schimmelpilze bilden in der Wachstumsphase Zellfäden (Hyphen), deren Gesamtheit man als **Myzel** bezeichnet. Da diese Fäden meist farblos sind, ist der Schimmelpilz in dieser Phase normalerweise mit dem bloßen Auge nicht sichtbar. Zur Vermehrung und Verbreitung bilden Schimmelpilze asexuelle Verbreitungsorgane (Sporangiosporen und Konidien) und, viel seltener, sexuelle Verbreitungsorgane (Zygosporen, Ascosporen). Alle Verbreitungsorgane werden im folgenden unter dem Begriff „**Sporen**“ zusammengefasst (vgl. Abb.1). Da die asexuellen Sporen meist in großer Zahl produziert werden und oft gefärbt sind, werden die Schimmelpilze in diesem Stadium mit bloßem Auge (z.B. als Schimmelpilzflecken) sichtbar.

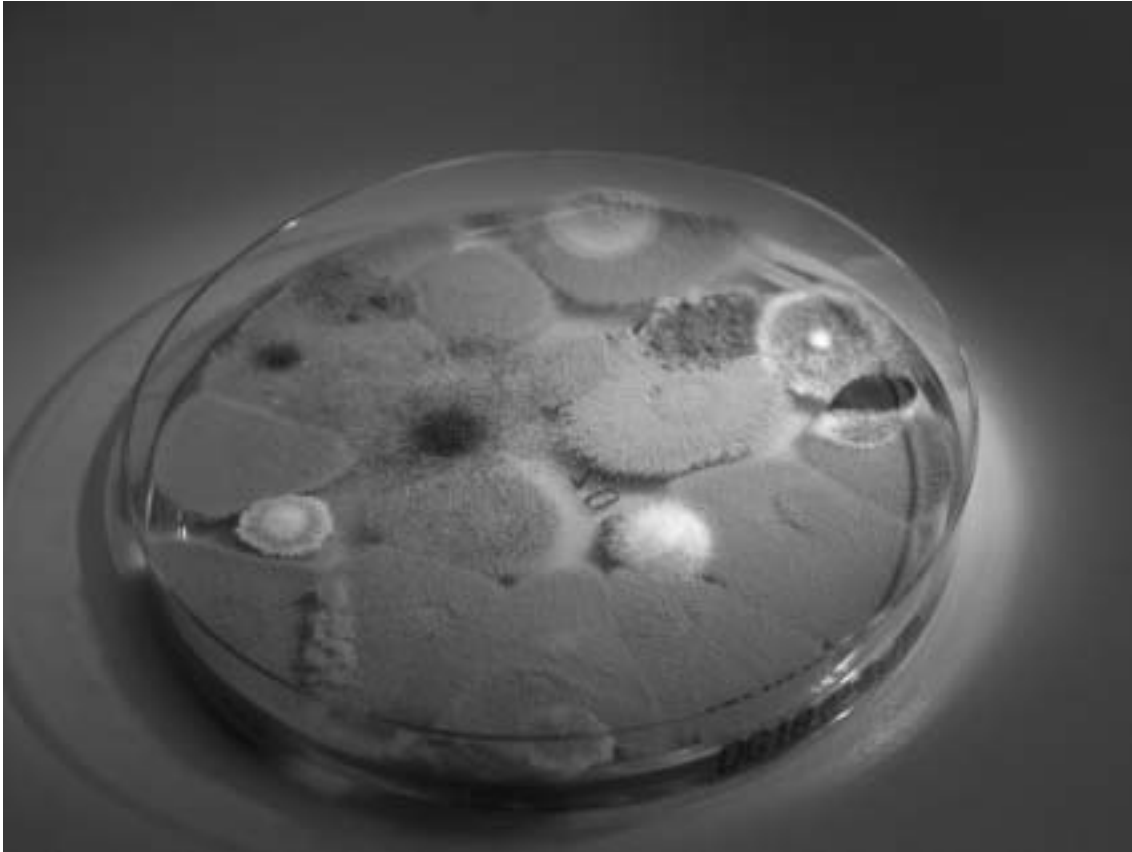
Schimmelpilzsporen umfassen mit wenigen Ausnahmen den Größenbereich von 3 bis 20 µm (maximaler Bereich 2-100 µm, 1 µm entspricht 1/1000 mm). Die meisten Sporen haben Durchmesser unter 10 µm. Sie können damit eingeatmet werden sowie in der Luft über weite Strecken schweben und mit dem Wind transportiert werden.

Schimmelpilze sind ein natürlicher Teil unserer Umwelt und daher auch in Innenräumen vorhanden.

Ein Schimmelpilzwachstum im Innenraum sollte jedoch vermieden werden.

Die Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft ist starken Schwankungen unterworfen. Daher muss bei Schimmelpilzmessungen in der Innenraumluft parallel auch die Außenluft untersucht werden.

Abb.1: Verschiedene Schimmelpilzarten, die in einer Petrischale auf Nährmedium wachsen und Sporen bilden (Bild: Trautmann, Umweltmykologie)

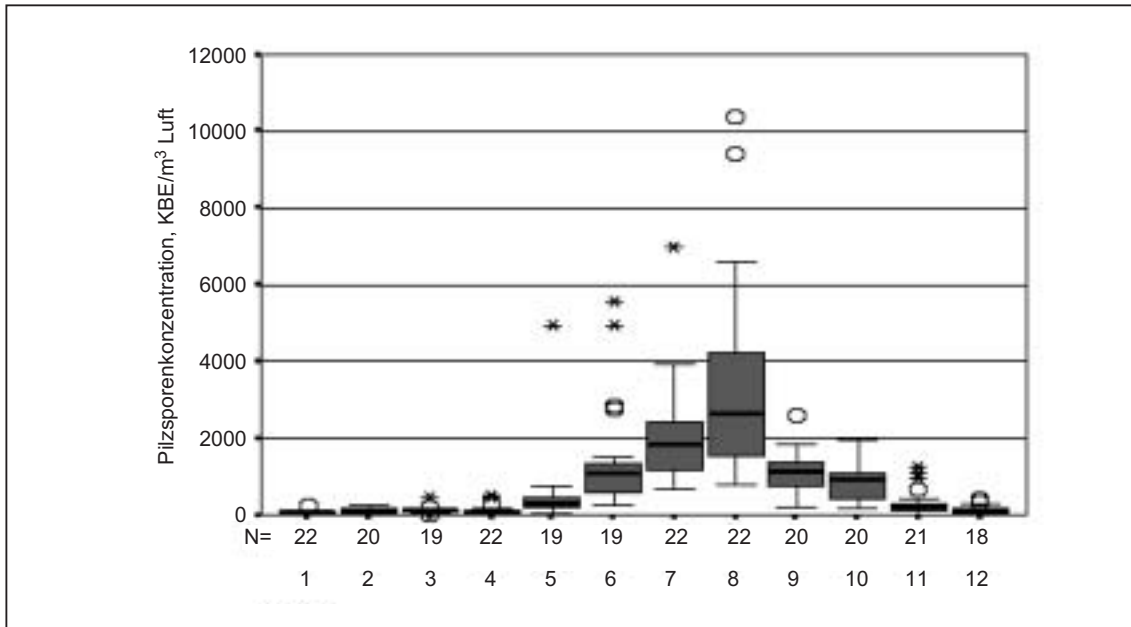


Schimmelpilze sind an der Zersetzung von organischem Material beteiligt und spielen damit eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf der Natur. Ihre Konzentration in der Außenluft ist je nach Ort, Klima, Tages- und Jahreszeit großen Schwankungen unterworfen (vgl. Abb. 2). Diese Schwankungen werden durch natürliche Einflüsse hervorgerufen, beispielsweise durch Änderung der Temperatur und Feuchtigkeit im Jahresverlauf sowie durch Abhängigkeit von der geographischen Lage, Ansammlung von verrottem Material oder Aufwirbelung von Erde. Weiterhin können Schimmelpilze auch durch Produktionsprozesse freigesetzt werden, wie z.B. in Kompostierungsanlagen, Wertstoffsortierungsanlagen, Tierhaltungsanlagen oder in der Getreideverarbeitung.

Schimmelpilze, die in der Innenraumluft nachgewiesen werden, können zwei Quellen haben. Zum einen können sie bei Lüftungsvorgängen aus der Außenluft in den Innenraum gelangt sein; zum anderen können sie aus Quellen im Innenraum stammen. Um hier unterscheiden zu können, ist es notwendig, bei Untersuchungen der Innenraumluft immer parallel eine vergleichende Messung in der Außenluft durchzuführen.

Das **Schimmelpilzwachstum** im Innenraum wird hauptsächlich durch drei Faktoren bestimmt: Feuchtigkeit, Nährstoffangebot und Temperatur. Weitere Faktoren, die das Wachstum oder bestimmte Stoffwechselfvorgänge beeinflussen können, sind der pH-Wert des Substrates, Licht (Sporenbil-

Abb. 2: Jahreszeitlicher Verlauf der Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft. Die Boxplots zeigen den Medianwert (dicke schwarze Linie), das 25. und 75. Perzentil (Begrenzung grauer Bereich), das 5. und 95. Perzentil sowie Ausreißer (○) und maximale Werte (*).



Quelle: Koch, A., K.J., Heilemann, J., Heinrich, H.E., Wichmann; W., Bischof (2000): Indoor viable mold spores – a comparison between two cities, Erfurt (Eastern Germany) and Hamburg (Western Germany). Allergy 55: 176-180

derung), der Sauerstoffgehalt der Luft sowie chemische Substanzen.

Schimmelpilze können in einem weiten **Temperaturbereich** wachsen (vgl. Tab. 1). Pilzarten, die in einem mittleren Temperaturbereich wachsen, werden als mesophil, solche, die auch noch bei hohen Temperaturen gut wachsen können, als thermotolerant bezeichnet. Liegt das Wachstumsoptimum bei hohen Temperaturen, handelt es sich um thermophile Pilze.

In unseren Breiten finden mesophile Schimmelpilze am ehesten optimale Temperaturbedingungen außerhalb von Räumen. In diese Gruppe gehören die wichtigsten Vertreter der Gattung *Penicillium*. *Aspergillus*-Arten bevorzugen höhere Temperaturen und zählen daher zum großen Teil zu den thermotoleranten Schimmelpilzen. Thermophile Schimmelpilze, wie der gesundheitlich bedeutsame *Aspergillus fumigatus*, kommen dagegen vergleichsweise selten vor.

Tabelle 1: Wachstumstemperaturen mesophiler, thermotoleranter und thermophiler Schimmelpilze

Bezeichnung	Wachstumstemperatur °C		
	Minimum	Optimum	Maximum
Mesophile Schimmelpilze	0–5	25–35	ca. 40
Thermotolerante Schimmelpilze	0–5	30–40	ca. 50
Thermophile Schimmelpilze	20–25	35–55	ca. 60

Quelle: Mücke M, Lemmen Ch (1999): Schimmelpilze, Vorkommen, Gesundheitsgefahr, Schutzmaßnahmen. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg. Verändert.

Schimmelpilze können eine Vielzahl von Materialien als nutzen wie z.B.:

- Holz, Spanplatten,
- Papier, Pappe, Karton (auch Gipskarton),
- Tapeten, Tapetenkleister,
- Kunststoffe, Gummi, Silikon, Folien,
- Teppichböden, Kleber für Fußbodenbelag,
- Farben, Lacke,
- Leder.

Auch Materialien wie Zement und Beton können Nährstoffe für Schimmelpilze enthalten. Schimmelpilze können außerdem auf Materialien wachsen, die selbst keine Nährstoffe abgeben, wenn sich organische Partikel und Stäube aus der Luft auf diesen abgesetzt haben (z.B. auf Glas).

Da die Temperaturen in Innenräumen meist in einem für Schimmelpilzwachstum günstigen Bereich liegen und sich außerdem in Innenräumen genügend Nährstoffe für Schimmelpilze in Form von Holz, Tapeten, Teppichen, Wandfarbe, u. ä. befinden, kommt der **Feuchtigkeit** die entscheidende Rolle für das Wachstum zu.

Schimmelpilze in Innenräumen können auf einer Vielzahl von Materialien und in einem weiten Temperaturbereich wachsen.

Feuchtigkeit hat dabei eine entscheidende Bedeutung.

Schimmelpilze können auf Materialien nur wachsen, wenn eine bestimmte Mindestfeuchte vorhanden ist. Dabei ist nicht die Gesamtfeuchte des Materials ausschlaggebend, sondern nur das den Pilzen zur Verfügung stehende „freie“ Wasser. Dieser Anteil wird ausgedrückt als **Wasseraktivität (a_w -Wert)** und ist definiert als Quotient des Wasserdampfdruckes im bzw. auf dem Substrat (p_D)¹ und des Sättigungsdruckes (p_S) des reinen Wassers bei derselben Temperatur:

$$a_w = p_D/p_S \quad (1)$$

Der a_w -Wert kann berechnet werden, wenn die relative Luftfeuchtigkeit (RH) über dem Material bekannt ist:

$$a_w = \text{RH} (\%)/100 \quad (2)$$

Diese Zusammenhänge gelten exakt jedoch nur unter Gleichgewichtsbedingungen in geschlossenen Systemen, wie sie bei Laborexperimenten in Feuchtekammern eingestellt werden können. Die Einstellung solcher Gleichgewichtsbedingungen kann je nach Material Wochen oder Monate dauern.

In der Praxis treten fast nie Gleichgewichtszustände auf, da die Feuchte über dem Material laufend durch Temperaturänderungen, Luftströmungen und Feuchteproduktion im Raum u.a. beeinflusst wird.

Um diesen Schwankungen gerecht zu werden, sollte daher in der Praxis zur Beurteilung der Oberflächenfeuchte die relative Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Materials über einen längeren Zeitraum mit einem Hygrometer bestimmt werden. Der a_w -Wert kann dann aus diesen Daten nach Gleichung (2) berechnet werden. Eine Berechnung aus einem einzelnen Messwert ist nicht sinnvoll. Genauere Daten, auch bei Einzelmessungen, erhält man durch eine Feuchtebestimmung mit einem Feuchtefühler, der ins Material eingebracht wird.

Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung des a_w -Wertes führt über die Bestimmung des Wassergehaltes von entnommenen Ma-

¹ Bringt man ein anfangs getrocknetes Material in eine Umgebung konstanter relativer Luftfeuchte, so nimmt dieses solange Feuchtigkeit auf, bis ein Gleichgewicht entstanden ist. Bei einer Erhöhung dieser Luftfeuchte wird vom Material weitere Feuchte aufgenommen bzw. bei einer Erniedrigung abgegeben. Das Erreichen eines Gleichgewichts bedeutet, dass der Wasserdampfdruck in den Poren des Materials der gleiche ist wie in der Umgebungsluft.

materialproben. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Wasseradsorption verschiedener Materialien sehr verschieden sein kann. In Abbildung 3 sind vergleichend verschiedene Materialien und ihr Verhalten bei Feuchtigkeit dargestellt. Deutliche Unterschiede sind z.B. zwischen dem Verhalten von Holz und Ziegelstein zu beobachten. Mit Hilfe von solchen Sorptionsisothermen (vgl. Abb. 3) kann der a_w -Wert bestimmt werden.

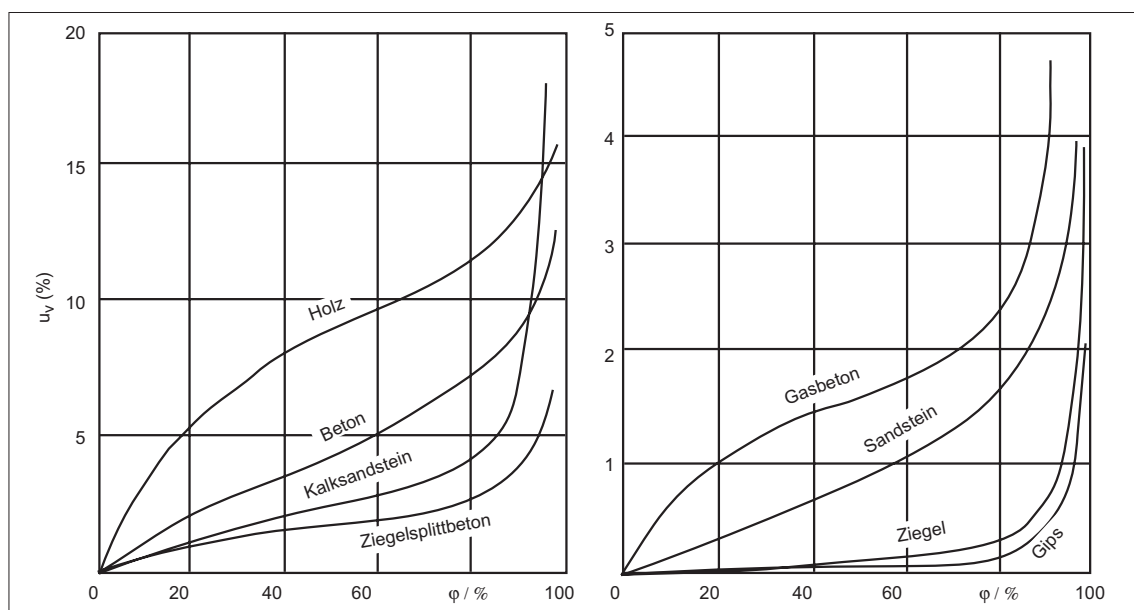
Der Wassergehalt des Materials (und damit der a_w -Wert) ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung des jeweiligen Substrates, der Temperatur und dem pH-Wert des Materials.

Durch Laborexperimente konnte gezeigt werden, dass die meisten Schimmelpilze zum Wachstum a_w -Werte von mindestens 0,80-0,85 benötigen. Besonders **xerophile** (trockenliebende) **Pilze** können aber bereits bei a_w -Werten von 0,7 wachsen (Tab.2). Optimal für Schimmelpilzwachstum sind a_w -Werte im Bereich von 0,90–0,99. Schim-

melpilze können also auch auf Materialien wachsen, die nicht sichtbar nass sind. Es genügt eine relative Luftfeuchtigkeit von ungefähr 80 % an der Oberfläche des Materials. Besonders gute Wachstumsbedingungen finden sich immer dann, wenn es zu Tauwasserbildung auf oder im Material kommt. Die unterschiedlichen Stoffwechselfunktionen von Pilzen laufen bei unterschiedlichen Mindest-Wasseraktivitäten ab. So tritt bei niedrigeren a_w -Werten zwar Wachstum auf; für die Sporenproduktion und auch die Mykotoxinproduktion sind in der Regel jedoch höhere a_w -Werte notwendig.

In Tabelle 2 sind einige Schimmelpilzarten mit ihren minimalen zum Wachstum benötigten a_w -Werten aufgeführt. Xerophile Vertreter, wie z.B. *Aspergillus restrictus* können bereits ab einer Feuchte von 71–75 % über dem Material wachsen. *Stachybotrys chartarum* dagegen braucht sehr viel mehr Feuchtigkeit zum Wachstum (minimaler a_w -Wert von 0,94) und tritt daher nur bei

Abb.3: Zusammenhang zwischen Materialfeuchte (Volumenfeuchte) u_v und relativer Luftfeuchte ϕ über dem Material für unterschiedliche Materialien.



Quelle: Kupfer, K. et al. (1997) Materialfeuchtemessung. Grundlagen-Meßverfahren-Applikationen-Normen, S. 236. expert-Verlag Renningen-Malmsheim. Verändert.

starker Durchfeuchtung des Materials, z.B. nach Wasserschäden, auf.

Tabelle 2: Für das Wachstum unterschiedlicher Schimmelpilze erforderliche minimale Wasseraktivitäten (minimale a_w -Werte)

Schimmelpilzart	Minimale a_w -Werte
<i>Aspergillus restrictus</i>	0,71–0,75
<i>Aspergillus versicolor</i>	0,78
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0,85–0,94
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0,86–0,88
<i>Fusarium solani</i>	0,87–0,90
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,78–0,81
<i>Rhizopus stolonifer</i>	0,93
<i>Stachybotrys chartarum</i>	0,94
<i>Wallemia sebi</i>	0,69–0,75

Quelle: Northolt MD, Frisvad JC, Samson RA (1995): Occurrence of food-borne fungi and factors for growth. In: Samson RA et al. (ed.) Introduction to food-borne fungi., CBS, Baarn, NL

Zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum im Innenraum ist die Reduktion der Feuchte im Material bzw. auf seiner Oberfläche von entscheidender Bedeutung (vgl. Teil B). Auch bei der Sanierung von Wohnungen, die mit Schimmelpilzen befallen sind, ist ein langfristiger Erfolg nur zu erreichen, wenn die Ursachen für die erhöhte Feuchtigkeit gefunden und beseitigt werden (vgl. C-3).

Die Konzentration von vermehrungsfähigen Schimmelpilzen wird nach Entnahme einer Probe (Luft, Staub, Material) durch **Kultivierung** auf festen Nährmedien bestimmt. Auf den Agar-Nährmedien wachsen die Schimmelpilze zu sichtbaren Schimmelpilzkolonien heran. Die Konzentrationsabgabe erfolgt als koloniebildende Einheiten (**KBE**) pro untersuchtem Volumen (m^3), pro g oder pro Flächeneinheit (vgl. C-1.2).

Da auch von nicht vermehrungsfähigen Schimmelpilzen gesundheitliche Wirkungen ausgehen können (vgl. A-2), gibt es Methoden, bei denen alle Schimmelpilze – vermehrungsfähige und nicht vermehrungsfähige – gezählt werden. Die Angabe der Konzentration erfolgt in diesem Fall als **Gesamtsporenzahl** bzw. **Gesamtzellzahl** pro m^3 , pro g oder pro Flächeneinheit (vgl. C-1.2.5).

A-2 Wirkungen von Schimmelpilzen auf den Menschen

Zahlreiche epidemiologische Studien zu gesundheitlichen Auswirkungen durch Schimmelpilze belegen einen Zusammenhang zwischen einer Exposition der Normalbevölkerung gegenüber luftgetragenen mikrobiologischen Stoffen in der Umwelt – auch durch Feuchtigkeit sowie Schimmelbildung im Innenraum – und Atemwegsbeschwerden.

In keiner dieser umweltepidemiologischen Studien konnte jedoch bislang aufgrund der vielen möglichen Einflussfaktoren eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Konzentration an Schimmelpilzen in der Luft und den gesundheitlichen Auswirkungen aufgestellt werden. Dies bedeutet, dass es nicht möglich ist anzugeben, ab welchen Konzentrationen von Schimmelpilzen im Innenraum mit welchen Erkrankungshäufigkeiten zu rechnen ist (vgl. C-2.). Bei sehr hohen Schimmelpilzkonzentrationen, wie sie an belasteten Arbeitsplätzen auftreten können, wurden in neueren epidemiologischen Studien Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen der Konzentration an Schimmelpilzen in der Luft und gesundheitlichen Auswirkungen gefunden; derartig hohe Konzentrationen treten jedoch außerhalb des Arbeitsplatzbereiches nicht auf.

Sporen und Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen können, über die Luft ein-

geatmet, allergische und reizende Reaktionen bzw. Symptomkomplexe beim Menschen auslösen (vgl. A-2.1, A-2.2). In seltenen Fällen können einige Schimmelpilzarten darüber hinaus bei bestimmten Risikogruppen auch Infektionen hervorrufen (sog. Mykosen; vgl. A-2.3). Diese verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen werden im Folgenden nach der Häufigkeit ihres Auftretens und der Bedeutung für den Innenraum kurz dargestellt. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass allergische und reizende Wirkungen sowohl von lebenden als auch von abgestorbenen Schimmelpilzen ausgehen können, während zur Auslösung von Infektionen nur lebende befähigt sind.

Die häufigsten bei Schimmelpilzbelastungen im Innenraum beschriebenen Symptome sind unspezifisch, so z.B. Bindehaut-, Hals- und Nasenreizungen sowie Husten, Kopfweh oder Müdigkeit. Einige dieser Symptome (Bindehaut- oder Nasenreizungen) können sowohl im Zusammenhang mit leichten allergischen (vgl. A-2.1) als auch mit reizenden Wirkungen (vgl. A-2.2) stehen. Die anderen werden vor allem mit reizenden Wirkungen in Verbindung gebracht.

Epidemiologische Studien geben Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Schimmelpilzexpositionen und Atemwegsbeschwerden.

Wissenschaftlich abgesicherte Aussagen über eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Schimmelpilzexposition in Innenräumen und gesundheitlichen Beschwerden der Bewohner sind jedoch nicht möglich.

Daher kann aus gemessenen Schimmelpilzkonzentrationen nicht unmittelbar auf gesundheitliche Wirkungen geschlossen werden.

A-2.1 Allergische Reaktionen

Schimmelpilze sind in der Lage, allergische Reaktionen auszulösen.

Eine der möglichen gesundheitlichen Reaktionen des Körpers auf eine erhöhte Schimmelpilzkonzentration im Innenraum ist das Auftreten von Allergien, die durch Einatmen von Sporen ausgelöst werden. Es wird angenommen, dass grundsätzlich alle Schimmelpilze in der Lage sind, bei empfänglichen Personen allergische Reaktionen auszulösen.

Bei Allergien setzt sich das Immunsystem des Körpers nicht gegen gefährliche Fremdstoffe (z.B. Krankheitserreger) sondern fälschlicherweise gegen an sich harmlose Fremdstoffe (wie z.B. Pollen, Bestandteile von Lebensmitteln) zur Wehr. Beim ersten Kontakt mit dem Fremdstoff (Antigen) tritt noch keine allergische Reaktion ein, sondern der Körper bereitet sich durch die Produktion von Abwehrstoffen (Antikörpern) auf die Bekämpfung des Fremdstoffes vor. Man bezeichnet eine solche Person als „sensibilisiert“. Erst bei erneutem Kontakt mit dem Fremdstoff kann es dann zu allergischen Erscheinungen kommen, bei denen eine ganze Kette von Reaktionen im Körper abläuft, an deren Ende die typischen Symptome allergischer Reaktionen, wie Schnupfen, Niesen, gerötete Augen, Hautausschlag etc. stehen.

In der Normalbevölkerung sind Allergien häufig. Ein Teil davon (genaue Angaben über die Höhe sind in der Literatur strittig) wird auf Schimmelpilze zurückgeführt. Schimmelpilzallergien sind aber weniger häufig als Pollenallergien (Heuschnupfen) oder Milbenallergien und treten oft in Kombination mit anderen, bereits bestehenden Allergien auf. Der Anteil von Patienten mit einer atemwegsbedingten Allergie, die eine Sensibilisierung gegen Pilzallergene aufweisen, wird in verschiedenen Studien mit

INFOBOX

Epidemiologische Studien – Beispiele

Ein qualitativer Zusammenhang zwischen Atemwegssymptomen oder Allergien und dem Vorkommen von Feuchtigkeit oder Schimmel in der Wohnung wurde in zahlreichen Studien gezeigt. Eine aktuelle Zusammenfassung bisheriger Studien findet sich bei Bornehag et al. (1). In einer weiteren Zusammenschau (2) wurden viele Studien zur Auswirkung des Auftretens von Schimmelpilzen im Wohnbereich auf Erkrankungen der Atemwege analysiert. Es wurde ein um den Faktor 1,5–3,5 höheres Risiko („Odds Ratio“ 1,5–3,5) für Kinder, die in pilzbelasteten Wohnungen wohnten, errechnet – im Vergleich mit Kindern in nicht mit Schimmelpilzen belasteten Wohnungen. Garrett et al. (3) konnten beispielhaft zeigen, dass eine erhöhte Raumluftkonzentration von *Penicillium*-Arten signifikant mit kindlichem Asthma bronchiale korrelierte. Dabei wurde jedoch kein Zusammenhang zwischen der Konzentration anzüchtbarer Schimmelpilzsporen und Atemwegssymptomen oder Allergien bei Kindern gefunden.

Bei der Mehrzahl der Studien wurde die Exposition gegenüber Schimmelpilzen nicht gemessen sondern über Fragebögen abgeschätzt. Gefragt wurde nach dem Auftreten von feuchten Stellen bzw. Schimmel oder Schimmelgeruch in der Wohnung. Da vorhandene Schimmelpilzbelastungen sowie feuchte Stellen nicht in allen Fällen optisch wahrgenommen werden können, weisen solche Fragebogenangaben eine relativ große Unsicherheit auf. Das wiederum hat einen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der gesundheitsbezogenen Aussagen.

Seit 1992 werden im Rahmen des Projektes „Beobachtungsgesundheitsämter“ in Baden-Württemberg Untersuchungen bei Kindern der 4. Klasse durchgeführt (4). Für den Zeitraum 1996–1997 ergab sich für Kinder aus Wohnungen, in denen feuchte Stellen oder Schimmel beobachtet wurden, ein um den Faktor 1,5 bzw. 1,7 höheres Risiko für Asthma und Ekzem gegenüber Kindern aus Wohnungen, in denen keine feuchte Stellen oder Schimmel wahrgenommen wurden. Auch hier wurde das Auftreten von Schimmel bzw. feuchten Stellen über einen Fragebogen erfasst.

In einer aktuellen Studie (5) wurden Säuglinge mit einem erhöhten Risiko für Allergien (erhöhte IgE-Titer, beide Elternteile allergisch vorbelastet, geringes Geburtsgewicht) ausgewählt. Im Alter von drei Jahren wurde bei diesen Kindern eine Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Schimmelpilzbelastung im Kinderzimmer und Erkrankungen durchgeführt. Es ergab sich ein um den Faktor 7 erhöhtes Risiko für Atemwegsinfektionen oder erhöhte IgE-Titer gegen Gras bei erhöhten Konzentrationen an *Penicillium* bzw. *Aspergillus* (> 100 KBE/m³).

- (1) Bornehag CG, Blomquist G, Gyntelberg F, Jarvholm B, Malmberg P, Nordvall L, Nielsen A, Pershagen G, Sundell J. (2001) 71: Dampness in buildings and health. Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to „dampness“ in buildings and health effects (NORDDAMP). *Indoor Air* 2001 Jun;11(2):72–86 .
- (2) Peat JK, Dickerson J, Li J, (1998). Effects of damp and mould in the home on respiratory health: a review of the literature. *Allergy* 53: 120-8
- (3) Garrett MH, Rayment PR, Hooper MA, Abramson MJ, Hooper BM (1998). Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children, *Clin Exp Allergy*, 28: 459–467
- (4) Projekt Beobachtungsgesundheitsämter. Belastungs- und Wirkungsmonitoring. Bericht zur Untersuchung 1998/1999, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, August 2000, ISSN 1616–2358.
- (5) Müller A, Lehmann I, Seiffart A, Diez U, Wetzig H, Borte M, Herbarth, O (2001). Increase of incidence of allergic sensitisation and respiratory disease by mould exposure: results of the Leipzig Allergy High Risk Children Study (LARS). *Int. J. Hyg. Environ. Health*, accepted for publication

2–30 % angegeben. Oft wird aber eine Schimmelpilzallergie nicht erkannt, da es erst für einige wenige Schimmelpilze Extrakte für die Allergietestung gibt.

Zu den allergischen Symptomen, die durch Schimmelpilze ausgelöst werden, zählen z.B. **Rhinitis** (Heuschnupfen-ähnliche Symptome), **Asthma und allergische Alveolitis** (siehe unten). Diese können sich unmittelbar, innerhalb von Minuten (Allergie vom Typ I) nach Sporenkontakt oder erst nach 4 bis 8 Stunden (Allergie vom Typ III) bzw. 24–48 Stunden (Allergie vom Typ IV) entwickeln. Rhinitis- und Asthma-Anfälle treten innerhalb weniger Minuten nach dem Kontakt mit Schimmelpilzen auf und gehören damit zum Reaktionstyp I. Bei bereits sensibilisierten Personen können auch geringe Schimmelpilzkonzentrationen, wie sie in niedrig-belasteten Innenräumen vorkommen können, ausreichend sein, um allergische Reaktionen (z.B. Asthmaanfälle) auszulösen.

Die sehr viel seltener und fast ausschließlich am Arbeitsplatz auftretende **exogen-allergische Alveolitis (EAA= Hypersensitivitätspneumonie)** wird im allgemeinen durch wiederholte Exposition gegenüber sehr hohen Konzentrationen von Sporen (10^6 bis 10^{10} Sporen/ m^3) ausgelöst, wie sie im Innenraum nicht zu erwarten sind. Bei dauerhafter Exposition kann die EAA in eine Lungenfibrose münden. Die EAA kann zur Entwicklung von spezifischen Berufserkrankungen, wie z.B. der Farmerlunge führen. Hier spielen Sporen aus verschimmeltem landwirtschaftlichen Material wie Heu, Stroh, Getreide und Gemüse die wesentliche Rolle.

Eine Möglichkeit zur Abschätzung, ob eine Person Schimmelpilzen ausgesetzt war, ist die Bestimmung von spezifischen Antikörpern (IgG) verbreiteter Schimmelpilze im Blut-Serum. Die Konzentration der Antikörper spiegelt zwar den Kontakt der Person zu

diesen Schimmelpilzen – z.B. am Arbeitsplatz – wider, lässt jedoch keine Rückschlüsse auf das Vorhandensein oder den Schweregrad einer allergischen Reaktion zu.

A-2.2 Reizende und toxische Wirkungen

Reizende und toxische Wirkungen von Schimmelpilzen wurden bisher – fast ausschließlich – an belasteten Arbeitsplätzen mit hohen Schimmelpilzkonzentrationen nachgewiesen.

Die Bedeutung dieser Wirkungen bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen ist unklar.

Gesundheitliche Probleme durch reizende Wirkungen von Schimmelpilzen treten vor allem an Arbeitsplätzen auf, an denen hohe Konzentrationen von Schimmelpilzen vorkommen. Das **Organic Dust Toxic Syndrom (ODTS)** wird in ursächlichen Zusammenhang mit dem Einatmen von sehr hohen Konzentrationen an Schimmelpilzen (10^9 Sporen/ m^3) oder Bakterien ($1\text{--}2\ \mu\text{g}/m^3$ Endotoxin) gebracht, wie sie an produktionstechnisch belasteten Arbeitsplätzen, nicht jedoch im Innenraum vorkommen können. Das Krankheitsbild ist gekennzeichnet durch Fieber, grippeartige Symptome und Erschöpfungszustände sowie teilweise auch Haut- und Schleimhautreizungen. Die Reaktion erfolgt innerhalb weniger Stunden nach der Exposition. Die unter den Begriffen Drescher-, Getreide- bzw. Mühlenfieber beschriebenen Krankheitsbilder gehören zum ODTS.

Weitere schleimhautreizende Symptomatiken werden mit dem Begriff **Mucous Membrane Irritation Syndrom (MMI)** bezeichnet, die ebenfalls nur aus dem Arbeitsbereich bekannt sind und sich nach mehrwö-

chiger Exposition gegenüber mittleren Schimmelpilzkonzentrationen ($> 10^3$ Sporen/ m^3) entwickeln können.

Außerhalb des Arbeitsplatzbereiches, gibt es nur wenige Einzelfallbeschreibungen von akuten toxisch-reizenden Erkrankungen. Ungeklärt ist allerdings, wie sich niedrige Konzentrationen von Schimmelpilzen und deren Stoffwechselprodukten bei lang anhaltender Exposition auf die Gesundheit auswirken können. In epidemiologischen Studien wurden bei Schimmelpilzbelastung im Innenraum ähnliche Symptomaten beschrieben wie beim MMI.

Die Ursachen derartiger Wirkungen von Schimmelpilzen sind im Einzelnen nicht bekannt. Es wird vermutet, dass von Schimmelpilzen abgegebene giftige Stoffe, sog. Mykotoxine, sowie 1,3- β -D-Glucan und möglicherweise MVOC (siehe unten) und andere bisher unbekannte Stoffwechselprodukte oder Bestandteile von Schimmelpilzen beteiligt sind. Prinzipiell sind alle Schimmelpilze (und Bakterien) in der Lage, solche Symptome auszulösen.

Verschiedene Schimmelpilzarten sind in der Lage **Mykotoxine** zu produzieren. Anders als für den Bereich der Lebensmittel ist das Datenmaterial über toxische Wirkungen von Mykotoxinen, was die Aufnahme über die Atemwege oder die Haut anbelangt, zur Zeit noch sehr begrenzt. Die derzeit vorliegenden Ergebnisse aus Tierversuchen zeigen aber, dass auch Mykotoxine, die über die Luft verbreitet und eingeatmet werden, zu Erkrankungen führen können. Die im Innenraum auftretenden Konzentrationen an Mykotoxinen sind im Allgemeinen gering und die Wirkung von derart niedrigen Konzentrationen auf die Gesundheit bei langfristiger Exposition derzeit nicht bekannt. Aus Vorsorgegründen ist aber das verstärkte Auftreten von Mykotoxin-produzierenden Schimmelpilzarten im Innenraum kritisch zu bewerten.

1,3- β -D-Glucan ist ein Toxin, das Bestandteil der Zellwand von Pilzen ist und aus Pilzhypen sowie Sporen extrahiert werden kann. Es hat, wie die Endotoxine aus Gram-negativen Bakterien, eine entzündungsfördernde Wirkung und wurde bei Untersuchungen in Bürogebäuden mit mangelhafter Innenraumlufthausqualität mit dem Auftreten von Schleimhautreizung und Müdigkeit in Zusammenhang gebracht.

Bei den von Schimmelpilzen produzierten, den charakteristischen Schimmelgeruch verursachenden, flüchtigen organischen Verbindungen (**MVOC**, englisch = Microbial Volatile Organic Compounds), handelt es sich um ein Gemisch aus verschiedenen Stoffen (z.B. Alkohole, Terpene, Ketone, Ester, Aldehyde). Einige Studien weisen auf einen Zusammenhang zwischen MVOC-Exposition und gesundheitlichen Beschwerden wie Schleimhautreizungen und Kopfschmerzen hin.

Toxische Wirkungen der MVOC sind nach heutigem Kenntnisstand im Innenraum nicht relevant, da solche Wirkungen – wenn überhaupt – erst bei Konzentrationen auftreten, wie sie im Innenraum nicht erreicht werden.

Der Bedeutung von möglichen Geruchsbelästigungen durch MVOC ist jedoch Beachtung zu schenken, da die Geruchsschwellen einiger MVOC im unteren $\mu g/m^3$ -Bereich liegen (vgl. C-1.3).

Der analytische Nachweis von MVOC in der Innenraumlufthausqualität kann auch als Indikator für verdeckte Schimmelpilzvorkommen betrachtet werden (vgl. C-1.3).

A-2.3 Pulmonale Mykosen

Infektionen durch Schimmelpilze (Mykosen) kommen nur sehr selten und nur bei besonders empfänglichen, stark immungeschwächten Patienten vor.

Stark immungeschwächte Patienten, die ambulant behandelt werden, sollten von ihrem behandelnden Arzt unbedingt über die Risiken einer Infektion durch Schimmelpilze aufgeklärt werden.

Durch Schimmelpilze hervorgerufene Infektionen der Lunge (pulmonale Mykosen) kommen nur sehr selten vor. Die am häufigsten beschriebene Mykose ist die von verschiedenen Aspergillusarten hervorgerufene sog. **Aspergillose**.

Mykosen treten fast ausschließlich bei besonders empfänglichen, meist stark immungeschwächten Personengruppen (z.B. Krebspatienten nach Chemotherapie, Transplantations-Patienten, HIV-Patienten) auf. Dies ist daher auch nicht in erster Linie ein Problem im Wohnbereich, sondern primär eines im klinischen Bereich. Allerdings ist mit der Verlagerung der Behandlung solcher Patienten in den ambulanten Bereich und durch die Tatsache, dass die Patienten aufgrund der gestiegenen Lebenserwartung immer älter werden und alte Menschen anfälliger für Atemwegsinfektionen sind, mit einer Zunahme von Schimmelpilzinfektionen zu rechnen. Stark immungeschwächte Patienten, die ambulant behandelt werden, sollten von ihrem behandelnden Arzt unbedingt über die Risiken einer Infektion durch Schimmelpilze aufgeklärt werden.

Teil B Vorbeugende Maßnahmen gegen Schimmelpilzbefall

Die wichtigste Voraussetzung für das Schimmelpilzwachstum ist das Vorhandensein von Feuchtigkeit, was meist auf bauliche Mängel und/oder falsches Nutzerverhalten zurückgeführt werden kann. Fachgerechte bauseitige Maßnahmen und vernünftiges Raumnutzerverhalten müssen zusammenwirken, um eine Wohnung frei von Schimmelpilzwachstum zu halten. Beide Aspekte werden im Folgenden behandelt.

B-1 Bauseitige Maßnahmen

Grundvoraussetzung für eine Wohnung ohne Schimmelpilzwachstum ist eine Errichtung des Gebäudes nach dem Stand der Technik.

Für die Vermeidung von Schimmelpilzwachstum durch Feuchteschäden sind besonders folgende Maßnahmen zu nennen:

- Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2001-03)
- Schutz vor Schlagregen (DIN 4108-3)
- Abdichtung gegenüber aufsteigender Bodenfeuchte (DIN 18195)
- Regelgerechte Dachkonstruktion (Handwerkliche Richtlinien)
- Wasserdichte Installationen.

Der bauaufsichtlich geforderte Mindestwärmeschutz ist in DIN 4108-2:2001-03 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ konkretisiert. DIN 4108-2 ist als technische Baubestimmung bauaufsichtlich eingeführt. In Abschnitt 6.2 der Norm werden Hinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung angegeben. Hiernach ist eine besondere Aufmerksamkeit auf den Bereich der Wärmebrücken zu richten. Die

Norm gibt vereinfachte Nachweisverfahren für die Einhaltung der Anforderungen an. Für bestimmte Konstruktionen enthält DIN 4108 Beiblatt 2 einige Ausführungsdetails.

Bei Beachtung der Vorgaben dieser Norm ist davon auszugehen, dass bei üblicher Raumnutzung Schäden durch Schimmelpilzwachstum im Allgemeinen nicht auftreten.

Die Berechnungen zur notwendigen Wärmedämmung hatten in der Vergangenheit als wichtigstes Kriterium die Vermeidung von Tauwasserbildung vorgegeben (Tauwasserkriterium). Basierend auf der Erkenntnis, dass ein Schimmelpilzwachstum bereits bei einer Luftfeuchtigkeit von ca. 80 % an der Materialoberfläche möglich ist, wurde in der DIN 4108-2:2001 eine weiterreichende Forderung dadurch aufgestellt, dass in die Norm weitergehende Vorgaben zur Berechnung von Wärmedämmmaßnahmen aufgenommen wurden, um Schimmelpilzwachstum auszuschließen (Schimmelpilzkriterium).

Bei vielen wärme gedämmten Häusern ist diese weitergehende Anforderung noch nicht erfüllt, und es kann vor allem bei Raumnutzungen mit erhöhter Feuchtigkeitsproduktion oder ungünstiger Luftzirkulation (vgl. B-2) zu Schimmelpilzwachstum kommen.

B-2 Richtiges Lüftungs- und Heizverhalten

Der Wohnungsnutzer kann durch sein Verhalten dazu beitragen, dass Schimmelpilze in der Wohnung keine günstigen Wachstumsbedingungen finden. Durch richtiges Lüften und Heizen kann die Feuchtigkeit im Gebäude begrenzt werden. Die relative Feuchte der Luft im Gebäude sollte dauerhaft 65–70 % (direkt über Materialien < 80 %) nicht überschreiten.

Wichtig ist, dass die Feuchtigkeit, die durch die Aktivitäten im Raum entsteht (z.B. Feuchtigkeitsabgabe des Menschen, Duschen, Kochen, Waschen), durch regelmäßiges Lüften nach außen abgeführt wird.

B-2.1 Luftfeuchtigkeit und Lüftung

Die Möglichkeit, durch Lüftung Feuchtigkeit aus dem Raum zu entfernen, beruht darauf, dass Luft abhängig von der Temperatur unterschiedliche Mengen Wasserdampf aufnehmen kann. In Tabelle 3 ist das beispielhaft für einige Temperaturen dargestellt.

Wie man aus der Tabelle erkennt, nimmt der maximal mögliche **Wassergehalt der Luft** mit der Temperatur stark zu. Warme Luft enthält bei gleicher relativer Feuchte viel mehr Wasser als kalte Luft. Kalte Außenluft im Winter enthält wenig Wasser, auch wenn ihre relative Feuchte hoch ist.

Wassertransport beim Lüften:

Kalte Außenluft, die beim Lüften in den Innenraum gelangt, nimmt beim Erwärmen Feuchtigkeit auf, die mit der erwärmten Luft wieder nach außen abgeführt wird. Bei kalter Außenluft kann im Innenraum – selbst bei Regenwetter – durch Lüftung eine Austrocknung erzielt werden.

Je kälter die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie beim Erwärmen aufnehmen. Daher kann im Winter durch Lüften mit kalter Außenluft mehr Feuchtigkeit aus einem Raum entfernt werden als im Sommer.

Luft ist also in der Lage mehr Wasser aufzunehmen, wenn sie erwärmt wird. Dies kann ausgenutzt werden, um Feuchtigkeit durch Luftaustausch aus einem Raum abzuführen. Wird zum Beispiel Wasserdampfgesättigte Außenluft mit einer Temperatur

von 5 °C in einen Raum eingebracht und mit einer Temperatur von 20°C und einer relativen Feuchte von 60% wieder hinaus gefördert, dann werden je kg Luft $8,7 - 5,5 = 3,2$ g Wasser (vgl. Tab. 3) nach außen transportiert. Hier erkennt man die Möglichkeit, die Feuchtigkeit in einem Raum durch Lüftung zu reduzieren.

Der zur Abfuhr von Feuchtigkeit erforderliche Luftaustausch lässt sich berechnen, wenn bekannt ist, wie viel Wasser anfällt. In einem Dreipersonenhaushalt werden durch die Wasserdampfabgabe der Personen (30 bis 100 g/h je Person) durch Duschen, Waschen, Wäschetrocknen, Kochen sowie durch Pflanzen, Aquarien und andere Feuchtequellen täglich etwa 10 ± 4 kg Wasser freigesetzt. Eine Zusammenstellung von Erfahrungswerten gibt Tabelle 4 wieder.

Tabelle 3: Wassergehalt (absolute Feuchte) in g Wasser/kg trockene Luft* bei verschiedenen Raumlufttemperaturen und relativen Feuchten

Raumlufttemperatur °C	Relative Feuchte in %**			
	30	50	60	100 (gesättigt)***
0	1,1	1,9	2,3	3,8
5	1,6	2,7	3,3	5,5
10	2,3	3,8	4,6	7,7
15	3,2	5,3	6,4	10,8
20	4,4	7,3	8,7	14,9
25	5,9	9,8	11,8	20,3
30	7,9	13,2	15,8	27,6

* 1m³ Luft wiegt ca. 1,2 kg

** Die relative Feuchte ist näherungsweise gleich dem Wassergehalt bezogen auf den Wert bei Sättigung bei gleicher Temperatur.

*** Beim Erreichen der maximal aufnehmbaren Wassermenge nennt man die Luft „wasserdampfgesättigt“. Die relative Feuchte beträgt dann 100 %.

Tabelle 4: Beispiele für durchschnittliche tägliche Wasserdampfabgabe (Feuchtelast) in Drei-Personen-Haushalten

Raum	Quellen	Wassermenge in g/d	
		Beispiel 1	Beispiel 2
Küche	Kochen + Feuchtreinigung	3.000	800
Bad/WC-Raum	Waschmaschinenlauf	150	0
	Duschbad	650	800
	Wäschetrocknen	nicht untersucht	1.250
Andere Räume	ruhende Person	960	2.550
	aktive Person	2.430	
	Topfpflanzen	3.600	720
	Sonstiges, z. B. nasse Kleidung	200	700
	freie Wasserflächen	480	
Wohnung	alle	11.470	6.820

Quelle: Heinz, E. (2000): Kontrollierte Wohnungslüftung, Verlag Bauwesen, Berlin: S. 23

Um 10 kg Wasser aus einem Haus abzuführen, müssen bei dem auf Seite 17 genannten Beispiel (Abtransport von 3,2 g Wasser pro kg Luft) $10 / 0,0032 \approx 3000$ kg Luft durch das Gebäude gefördert werden. Häufig bezieht man den Luftaustausch auf das Gebäudevolumen. Wenn das Gebäude ein Volumen von 360 m^3 und damit einen Luftinhalt von ca. 400 kg hat (vgl. Fußnote Tab. 3), muss dieser Luftinhalt mindestens 7 mal ($7 \times 400 \text{ kg} = 2800 \text{ kg}$ Luft) täglich ausgetauscht werden, um die 10 kg Wasser abzutransportieren. Der stündliche Luftwechsel beträgt dann im Mittel $7/24 \text{ h} = 0,3/\text{h}$. Die Zahlen ändern sich entsprechend, wenn die Temperaturen und Feuchtequellen andere sind. Die im Beispiel genannten Zahlen für

den Luftaustausch liegen an der unteren Grenze der wirklich erforderlichen Werte.

Aus hygienischer Sicht wird vielfach ein **Luftwechsel** von 0,5-1,0/h bei normaler Wohnraumnutzung für sinnvoll erachtet. Es gibt jedoch bis heute keine verbindliche Festlegung von Mindestluftwechselstandards. Bei hoher Raumbelastung, wie z.B. in Schulklassen, können höhere Luftwechselraten notwendig sein. Welche Luftwechselraten sich bei welchen Lüftungskonstellationen in der Praxis ergeben können, ist an einigen Beispielen in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Luftwechsel bei verschiedenen Fensterstellungen bzw. Lüftungseinrichtungen (Schwankungen nach oben und unten sind möglich in Abhängigkeit von Fenstergrößen, Raumvolumina, Temperaturdifferenzen innen/außen, Dimension der Lüftungseinrichtungen etc.)

Fensterstellung/ Lüftungseinrichtung	Luftwechsel (h^{-1})
Fenster in Kippstellung	0,3–4
Fenster halb geöffnet	4–10
Fenster ganz geöffnet	4–20
Querstromlüftung (mehrere gegenüberliegende Fenster ganz geöffnet)	10–50
Mechanische Lüftungseinrichtung ohne Gebläse	0,5–4
Mechanische Lüftungseinrichtung mit Gebläse	0,5–10

Zusammenstellung aus Literaturangaben: (Wegner u. Schlüter 1982; Erhorn 1986; Anonymous 1997; Krooß et al. 1997)

Aus Tabelle 3 folgt nicht nur, warum durch Lüften eine Trocknung erreicht werden kann, sondern auch warum es an kalten Wänden zu **Tauwasserbildung** kommen kann.

Wird warme, mit Wasser gesättigte Luft abgekühlt, so muss die Luft Wasser als Tauwasser oder Nebel ausscheiden. Aus der Natur ist uns dieser Vorgang bekannt. In der Wohnung kann es entsprechend an kalten Wänden, an denen die warme Raumluft abgekühlt wird, zu Tauwasserbildung kommen oder können sehr hohe relative Feuchten erreicht werden, die ein Schimmelpilzwachstum ermöglichen.

Je schlechter die Wärmedämmung der Außenwände ist oder je mehr bauliche Fehler bei der Gebäudekonstruktion gemacht wurden (z.B. in Form von Wärmebrücken) und je schlechter Außenwände durch zirkulierende Raumluft erwärmt werden, zum Beispiel hinter Schränken oder hinter Wandverkleidungen, um so niedriger ist im Winter die Oberflächentemperatur dieser Außenwände. Damit nimmt die relative Feuchte an der Innenwandoberfläche und die Gefahr der Tauwasserbildung entsprechend zu (vgl. C-3).

Daher sollten an Außenwänden, vor allem bei ungenügender Wärmedämmung, keine dicht abschließenden Möbelstücke, Bilder oder schwere Gardinen aufgestellt bzw. aufgehängt werden. Als Richtschnur kann ein Mindestabstand von ca. 10 cm angesehen werden.

Bei Kellerräumen ist die Wandtemperatur auch im Sommer häufig niedrig. Da aber die absolute Feuchte der Außenluft im Sommer oft hoch ist, wäre dann häufiges Lüften mit Außenluft zum „Abtrocknen“ falsch, weil immer mehr Feuchtigkeit in den Raum eingetragen wird und an den kalten Wänden kondensiert.

In Kellerräumen, die nur als Lager dienen und nicht für den längeren Aufenthalt von Personen bestimmt sind, wird Schimmelpilzbefall häufig in Kauf genommen. Abhilfe wäre nur möglich durch bessere Wärmedämmung, durch Beheizen oder durch

Trocknen der Raumluft. Keller, in denen Schimmelpilzwachstum nicht verhindert wird, sollten aber keine direkte Verbindung zum übrigen Gebäude haben, etwa durch Treppen, Schächte oder nicht abgedichtete Öffnungen in der Kellerdecke.

B-2.2 Luftaustausch im Gebäude

Der Luftaustausch in einem Gebäude kann auf zwei Arten erfolgen:

1. durch freie oder natürliche Lüftung durch Türen, Fenster und Undichtigkeiten in der Außenhülle des Gebäudes oder
2. durch maschinelle Lüftung mit Ventilatoren.

Bei der freien oder natürlichen Lüftung entsteht die Luftbewegung durch Auftriebskräfte infolge von Temperaturunterschieden zwischen innen und außen oder durch Druckunterschiede am Gebäude durch Wind (vgl. Infobox).

Bei vielen älteren Gebäuden sind die Undichtigkeiten in der Gebäudehülle noch immer so groß, dass selbst bei geschlossenen Fenstern und Türen zweifache Luftwechsel je Stunde keine Seltenheit sind und der Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern zur Erneuerung der Raumluft ausreicht. Hier kann zeitweise eher zu trockene Luft im Winter ein Problem sein.

Bei neuen Gebäuden werden die Außenwände und die Fenster besser wärmegeklämt. Das ist ein Vorteil, da damit die Wände wärmer sind und die Gefahr der Kondenswasserbildung geringer wird. Gleichzeitig wird aber der Luftaustausch durch dichtere Wände und dichtere Fenster reduziert. Dadurch steigt die relative Feuchte im Gebäude und kann, obwohl die Oberflächentemperaturen durch bessere **Wärmedämmung** erhöht sind, an den Innenflächen der Außenwänden kritische Werte

INFOBOX

Druckunterschiede am Gebäude und freie Lüftung

Die Schachtwirkung eines Gebäudes kann mit Hilfe der in Bild 1 schematisch dargestellten Situationen veranschaulicht werden. Die einzelnen Geschosse des Gebäudes sind nicht luftdicht voneinander getrennt. Die Verbindungen entstehen durch Treppenhäuser, Technik- und Aufzugsschächte oder Atrien. Wenn in solchen Gebäuden die Temperatur innen höher als außen ist, bilden sich gegenüber außen Druckdifferenzen aus.

Diese Druckdifferenzen hängen davon ab, wie die Undichtigkeiten in der Gebäudehülle verteilt sind. Die Erläuterung sei unter Verwendung von Bild 2 gegeben. Wenn das Gebäude vollkommen dicht ist bis auf eine Öffnung unten (vgl. Bild 1, Typ I), so liegt die Druckverteilung I von Bild 2 vor; im unteren Gebäudeteil ist kein Druckunterschied zur Außenluft vorhanden, im oberen Gebäudeteil ist der Druck höher als in der Außenluft. Eine andere Situation liegt bei einem dichten Gebäude mit einer Öffnung oben vor (vgl. Bild 1, Typ II); im oberen Gebäudeteil ist keine Druckdifferenz vorhanden, unten herrscht ein geringerer Druck als in der Außenluft (vgl. Bild 2, Kurve II).

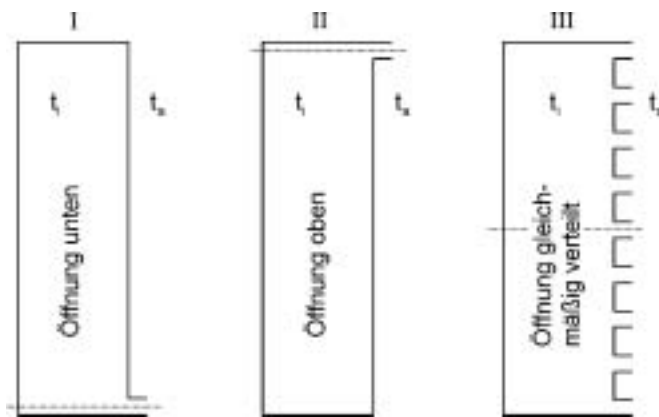


Bild 1: Drei Schachttypgebäude

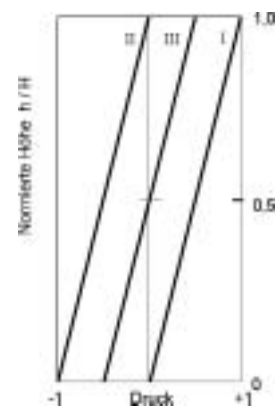


Bild 2: Druckverteilung am Schachttypgebäude

Weil – im Mittel – die Undichtigkeiten eines realen Gebäudes über die Oberfläche ungefähr gleichmäßig verteilt sind (vgl. Bild 1, Typ III), tritt die in Bild 2 dargestellte Druckverteilung III am häufigsten auf; geringerer Druck als in der Außenluft im unteren Gebäudeteil, höherer Druck im oberen Teil. In der Gebäudemitte besteht kein Druckunterschied zur Außenluft, dort besteht eine „neutrale Zone“. In diesem Fall strömt Luft unten in das Gebäude ein, durchströmt es von unten nach oben und verlässt es oben wieder. Wenn die Feuchtigkeitsquellen im Gebäude gleichmäßig verteilt sind, findet man in diesem Fall die schlechteste Luftqualität, auch die höchste Luftfeuchtigkeit, im oberen Teil des Gebäudes.

Bei einer Temperaturdifferenz von 30 °C zwischen Innen- und Außenluft reicht die entstehende Druckdifferenz im Winter in der Regel aus, um selbst bei geringer Öffnung der Fenster wirksam zu lüften.

Als weiterer Antrieb für die Lüftung kann auch der Wind gelten. Bei Wind entsteht auf der angeströmten Seite des Gebäudes Überdruck, auf der abgewandten Seite Unterdruck.

Das Druckniveau lässt sich bei mechanischer Lüftung beeinflussen. Je nach Auslegung der Zu- und Fortluftvolumenströme lässt sich Über- oder Unterdruck gegenüber der Umgebung entsprechend den Kurven I bis III in Bild 2 im ganzen Gebäude einstellen.

erreichen. Das lässt sich durch Reduzierung der Feuchtequellen, mehr aktive Lüftung über die Fenster oder maschinelle Lüftung verhindern.

Besonders in älteren Gebäuden haben Fenster oft eine schlechtere Wärmedämmung als die Wände. Das hat den Vorteil, dass Tauwasserbildung zuerst am Fenster auftritt und damit ein Hinweis gegeben wird, dass mehr geheizt oder mehr gelüftet werden muss.

Bei dicht schließenden Fenstern mit besserer Wärmedämmung als bei den Wänden sind nicht mehr die Fenster, sondern die Außenwände (vor allem die Außenecken) die kältesten Stellen und damit die Stellen mit der höchsten relativen Feuchte (siehe auch C-3). Dort wird eventuell auftretendes Kondenswasser meist nicht so schnell erkannt als bei „beschlagenen“ Fensterscheiben. Bei dicht schließenden, gut wärmege-dämmten Fenstern sollte daher vorsorglich vermehrt gelüftet werden. Man kann auch Feuchtigkeitsmessgeräte zur Beurteilung heranziehen, sollte dabei aber bedenken, dass einfache Feuchtemessgeräte sehr unzuverlässig sein können und häufig durch Anzeige von mehreren Stellen nach dem Komma eine unberechtigte Genauigkeit vortäuschen. Es wurde auch der Vorschlag gemacht, mindestens ein kleines schlecht gedämmtes Fenster mit Kondensatablauf bei Sanierungen als Feuchteindikator zu erhalten, falls die Fenster besser wärmege-dämmt sind als die Wände.

In Gebäuden mit dicht schließenden Fenstern muss vermehrt gelüftet werden, um Feuchtigkeit aus dem Raum abzuführen und damit möglichen Schimmelpilzproblemen vorzubeugen.

Vermieter sollten ihre Mieter unbedingt über die Folgen der Abdichtungs- und Wärmedämm-Maßnahmen informieren.

B-2.3 Richtiges Lüften

Zur Verringerung der Feuchte im Raum sollte mehrmals täglich eine kurze Stoßlüftung (5-10 min. ein oder mehrere Fenster weit öffnen) durchgeführt werden. Querlüftung ist dabei besonders effektiv. In Einzelfällen, wenn z.B. wegen Abwesenheit der Raumnutzer keine Stoßlüftung möglich ist, kann auch eine Spaltlüftung (geeignete Spaltmaße vorausgesetzt) sinnvoll sein.

Bei neu erstelltem oder saniertem Wohnraum ist aufgrund der damit verbundenen Baufeuchte über einen gewissen Zeitraum eine deutlich erhöhte Lüftung erforderlich.

Bei Raumnutzungen mit hohem Feuchteanfall und guter Wärmedämmung ist es manchmal nicht möglich, durch zumutbares manuelles Lüften die Luftfeuchtigkeit auf das notwendige Maß zu reduzieren. In diesen Fällen kann eine mechanische Be- und Entlüftung Abhilfe schaffen.

Für die mechanische Be- und Entlüftung kommen vor allem zwei Systeme in Betracht:

1. Bedarfslüftung mit Abluftventilatoren in Wohnbereichen mit großem Feuchteanfall, also in Küchen und Sanitärräumen. Die Ventilatoren werden zweckmäßigerweise über Feuchtesensoren geschaltet.
2. Zu- und Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung. Bei diesen Anlagen, die möglichst so betrieben werden sollten, dass die Fenster während der Heizperiode nicht geöffnet werden, sollte der Luftaustausch den anfallenden Feuchte-lasten angepasst werden und die Luft dort abgesaugt werden, wo die Feuchtequellen konzentriert sind. Neuerdings werden in größeren Anlagen zur Versorgung ganzer Gebäude zuluftseitig auch Erdwärmetauscher verwendet. Sie können im Frühjahr/Sommer zu einem

mikrobiellen Problem führen, wenn an den Wänden der Wärmetauscher hohe

relative Feuchte oder sogar Tauwasser auftritt.

TIPPS für richtiges Lüften

Zur Verringerung der Feuchte im Raum sollte vorzugsweise mehrmals täglich eine kurze Stoßlüftung (5–10 min. bei weit geöffnetem Fenster) erfolgen.

BAD

Im Bad sollte, insbesondere bei Räumen mit ungenügender Lüftungsmöglichkeit, nach dem Duschen das Wasser von Wänden und Boden entfernt werden. Es braucht dann nicht mehr durch Lüftung abgeführt zu werden. Nach dem Duschen sollte man die Fenster im Bad (soweit vorhanden) kurzzeitig weit öffnen.

Da nasse Handtücher und Wände im Badezimmer – trotz kurzzeitigen Lüftens – noch viel Wasser enthalten können und sich damit längerfristig eine zu hohe relative Feuchte im Raum einstellt, kann es hilfreich sein, die Türen zu anderen beheizten Räumen nach dem Lüften offen zu halten. Bei kleinen fensterlosen Räumen empfiehlt sich außerdem die Installation einer möglichst über Feuchtesensoren gesteuerten, mechanischen Belüftung.

KÜCHE

In der Küche kann durch einen Dunstabzug mit Abführung der Abluft ins Freie viel Feuchtigkeit aus dem Raum entfernt werden. Ein solcher Abzug ist überdies unter dem Gesichtspunkt der Abführung von Kochdünsten und – beim Kochen mit Gas – von Verbrennungsgasen sinnvoll.

Dunstabzugshauben mit Umluftführung sind zur Verringerung der Luftfeuchtigkeit in der Küche nicht geeignet.

KÜHLE RÄUME

Weniger beheizte Räume (z.B. Schlafzimmer) sollten nicht mittels warmer Luft aus anderen Räumen (am Abend) aufgewärmt werden. Im kälteren Raum kann es sonst an Wänden oder Fensterscheiben zu Tauwasserbildung kommen.

Bei Nutzung des – wenig beheizten – Schlafzimmers sollte durch gute Lüftung für die Abfuhr von Feuchtigkeit (jeder Schlafende gibt Wasserdampf ab) gesorgt werden, da es sonst zu Tauwasserbildung kommen kann.

TIPPS für richtiges Lüften (Fortsetzung)

In Räumen, die längere Zeit nicht benutzt und beheizt wurden, sollte bei erneutem Gebrauch vorher vermehrt gelüftet werden.

ABWESENHEIT

Können wegen Abwesenheit der Bewohner die Fenster einer Wohnung nicht mehrmals täglich geöffnet werden, sollten wenigstens die Innentüren offen gehalten werden, damit noch vorhandene Feuchte aus den feuchteren Bereichen (z.B. Küche, Bad) gleichmäßig über alle Räume verteilt wird.

B-2.4 Raumluftechnische Anlagen

Raumluftechnische Anlagen lassen sich einteilen in einfache Be- und Entlüftungsanlagen und die sogenannten Klimaanlageanlagen, die die Luft zusätzlich kühlen und befeuchten können.

Der Vorteil von raumluftechnischen Anlagen besteht in dem garantierten Mindestluftaustausch, unabhängig von der Witterung.

Die in B-2.2 erwähnten Zu- und Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung stellen eine einfache Ausführungsform einer raumluftechnischen Anlage dar. Sie sind vor allem im Wohnbereich anzutreffen. Die Anlagen haben nur die Funktionen Lüften und Heizen, wobei das Lüften gleichzeitig die Abfuhr von Luftverunreinigungen und Feuchtigkeit aus dem Gebäude bewirkt. Problemzonen mit hohen relativen Feuchten und der

Gefahr von Pilzwachstum können bei diesen Anlagen a) in den erwähnten Erdwärmetauschern im Frühjahr/Sommer und b) auf den Filtern am Eintritt in den Erdwärmetauscher bei hoher relativer Luftfeuchte im Winter bestehen.

Anlagen, die die zusätzlichen Funktionen Kühlen und Befeuchten haben („Klimaanlagen“), arbeiten ihrer Aufgabe entsprechend in Bereichen hoher relativer Feuchten und können deshalb auch zu Problemen führen. Wie solche Anlagen aus hygienischer Sicht geplant und betrieben werden sollten, wird in der VDI-Richtlinie 6022 beschrieben (vgl. Infobox). Die Angaben reichen von der richtigen Wahl des Ortes der Luftansaugung über die Sauberkeit der Luftleitungen bis zum richtigen Umgang mit Befeuchtern und Filtern. Raumluftechnische Anlagen sollten regelmäßig durch geschultes Personal gewartet werden.

INFOBOX

**Wartung und Kontrolle raumluftechnischer Anlagen
aus hygienischer Sicht (VDI 6022)**

Sprühbefeuchter müssen regelmäßig alle 6 Monate gereinigt werden. Das Wasser in der Sammelwanne muss bei längerem Stillstand abgelassen werden und während des Betriebs regelmäßig erneuert werden. Das Befeuchterwasser darf nur 1000 KBE/ml enthalten.

Die Befeuchteranlage ist regelmäßig zu reinigen. Bei einer Kontamination durch Mikroorganismen muss desinfiziert werden.

Für alle Wände der Luftleitungen gilt, dass Wasserniederschläge an keiner Stelle längerfristig auftreten dürfen. Luftleitungen und alle Oberflächen, die von Luft berührt werden, müssen „besenrein“ sein. Zur Überprüfung wird der Staub oder die Verunreinigung mit einem lösungsmittelhaltigen Wischtuch auf einer definierten Fläche entnommen und gewogen.

Bei Kühlern mit Kondensatanfall muss ein Ablauf mit Rückschlagsiphon für das Kondensat vorhanden sein. Der Ablauf muss an der tiefsten Stelle liegen. Der Siphon darf nicht fest an eine Abwasserleitung angeschlossen werden. Bewuchs und Ablagerungen auf den Lamellen sind zu beseitigen.

Filter sind rechtzeitig zu wechseln, entweder beim Erreichen einer vorgegebenen Druckdifferenz oder nach einer bestimmten Standzeit: Außenluftfilter spätestens nach einem Jahr, Sekundärfilter spätestens nach zwei Jahren.

Teil C Bestandsaufnahme und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen

Bei Verdacht auf Vorliegen eines Schimmelpilzschadens werden die betroffenen Räume begangen, gegebenenfalls in Kombination mit weitergehenden Untersuchungen (vgl. C-1).

Die Auswertung der Ergebnisse im Gesamtzusammenhang ermöglicht eine Aussage zum Vorliegen einer Schimmelpilzquelle im Innenraum (vgl. C-2).

Beim Vorliegen einer Schimmelpilzquelle im Innenraum sollten die Ursachen ermittelt und beseitigt werden (vgl. C-3).

An wen kann ich mich bei Verdacht von Schimmelpilzwachstum in der Wohnung wenden?

Wenn Sie befürchten, dass in Ihrer Wohnung eine Schimmelpilzquelle vorhanden ist, die Ihre Gesundheit beeinträchtigen könnte, dann lassen Sie sich von Ihrem zuständigen Gesundheitsamt oder Verbraucherschutzzentralen beraten.

Wenn Sie bereits unter gesundheitlichen Beschwerden leiden, von denen Sie befürchten, dass Sie mit Schimmelpilzwachstum in Ihrer Wohnung zusammenhängen können, dann wenden Sie sich an Ihren Hausarzt, umweltmedizinische Zentren oder die Landes-Ärztelkammer.

C-1 Schadensaufnahme bei Vorkommen von Schimmelpilzen in Gebäuden

Die Erfassung von Schimmelpilzen in Innenräumen erfolgt oftmals zur Klärung, ob bei den Raumnutzern festgestellte Erkrankungen bzw. gesundheitliche Beschwerden (z.B. Allergien, Asthma) in Zusammenhang mit dem Vorkommen von Pilzsporen in der Innenraumluft stehen könnten.

In manchen Fällen dient eine solche Untersuchung aber auch der vorsorglichen Abklärung, ob eine gesundheitliche Gefährdung gegeben sein kann. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn nach einem Wasserschaden Feuchtflecken vorhanden sind und Hinweise auf Schimmelpilzwachstum in Form von muffigem/modrigen Geruch oder dunklen Flecken an Wänden, Decken oder Mobiliar auftreten.

Die Untersuchung der Räume durch Begehung (vgl. C-1.1) und Erfassung der Schimmelpilze (vgl. C-1.2-C-1.4) kann unterschiedliche **Ziele** haben. Es ist zu klären ob:

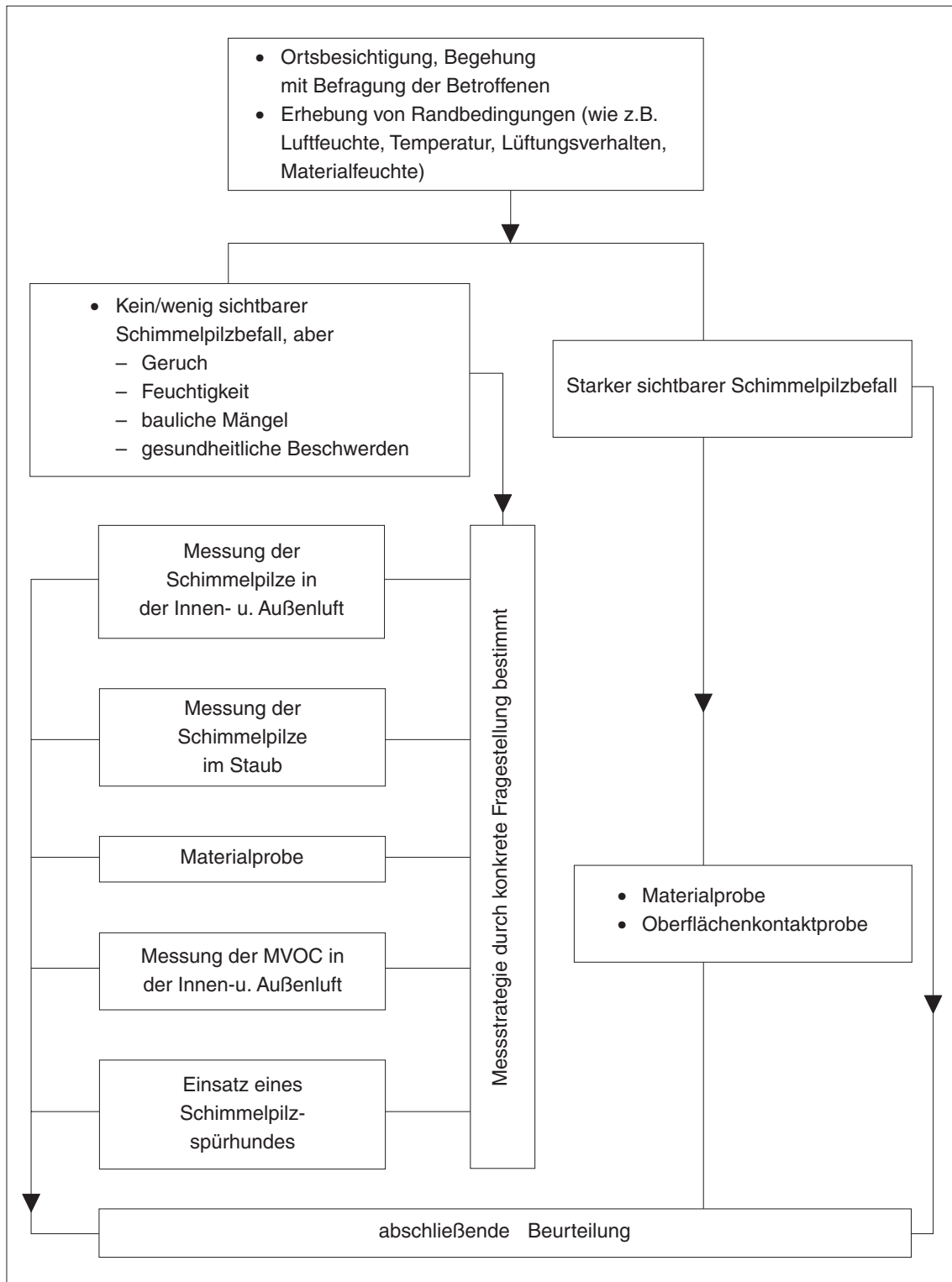
- eine Schimmelpilzquelle vorhanden ist
- bauliche Mängel vorliegen
- ein Fehlverhalten bei den Nutzern vorliegt.

Abbildung 4 zeigt den verallgemeinerten **Ablauf einer Untersuchung** zur Ermittlung der Schimmelpilzbelastung in Gebäuden. Eine solche Untersuchung setzt einen hohen Sachverstand voraus. Eine einfache schematische Herangehensweise ist höchst problematisch, daher sind in Abbildung 4 mehrere Optionen angegeben, die je nach Fragestellung gewählt werden. Es ist jeweils der konkrete Einzelfall unter Hinzuziehung aller vorhandenen Informationen zu beurteilen.

Da der potentiell Betroffene sein Lebens- und Wohnumfeld am besten kennt, ist es

Abb. 4: Ablauf der Untersuchung auf eine Schimmelpilzbelastung in Gebäuden

Anmerkung: Die in der Abbildung dargestellten Schritte sind denkbare Optionen, müssen im Einzelfall und in Abhängigkeit der Ortsbegehung jedoch nicht alle durchgeführt werden. Weitere Erläuterungen im Text.



wichtig, dass er darüber befragt wird, ob Hinweise oder Anzeichen einer Schimmelpilzbelastung festzustellen sind. Seine Vermutungen oder ein gezielt geäußerter Verdacht sind eine wesentliche Hilfe dafür, das Problem einer Schimmelpilzbelastung in Gebäuden in geeigneter Weise anzugehen.

Vor Durchführung mikrobiologischer Untersuchungen sollte zunächst eine Ortsbegehung stattfinden. Bei dieser Ortsbegehung sollten die möglichen Ursachen für eine Schimmelpilzbelastung abgeklärt und in einem Begehungsprotokoll festgehalten werden (vgl. C-1.1). Außerdem sollte durch die Begehung abgeklärt werden, ob eine oder mehrere allgemein bekannte Quellen für Schimmelpilze in Innenräumen vorliegen. Die relevanten Randbedingungen, wie z. B. Luft- und Materialfeuchte, Temperatur, Lüftungsverhalten sind zu bestimmen und zu dokumentieren.

Je nach Ergebnis der Ortsbegehung und der Art der Fragestellung können anschließend Schimmelpilz-Untersuchungen in der Luft, im Staub sowie direkt auf dem befalle- nen Material notwendig sein (vgl. C-1.2). Zur Beurteilung der Frage, ob sich eine verdeckte Schimmelpilzquelle im Innenraum befindet, kann auch die Bestimmung von MVOC (vgl. C-1.3), zur Lokalisierung der Schadensquelle auch der Einsatz eines Spürhundes von Nutzen sein (vgl. C-1.4).

Bei der Ortsbegehung werden physikalische Daten (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) und allgemeine Angaben über die Wohnung erhoben. Außerdem findet eine Befragung der Bewohner statt.

Aus diesen Informationen ergibt sich der weitere Ablauf der Untersuchungen.

Für die abschließende Beurteilung einer Innenraumbelastung mit Schimmelpilzen müssen alle gesammelten Informationen (alle Befragungs- und Messergebnisse, Angaben im Begehungsprotokoll, physikalische Daten) im Gesamtzusammenhang gesehen werden. Die Beurteilung einer Schimmelpilzbelastung aus Teilinformationen oder Einzelmessungen ohne Kenntnis der Gegebenheiten vor Ort ist nicht sinnvoll.

Durch eine solche Gesamtbeurteilung ist es in der Regel möglich festzustellen, ob eine Schimmelpilzquelle im Innenraum vorliegt. Diese Beurteilung setzt einen hohen Sachverstand voraus, da keine allgemein anwendbaren Beurteilungskriterien vorhanden sind und damit immer eine Einzelfallprüfung notwendig ist (vgl. C-2). Die Bestimmung und Bewertung sollte nur durch Personen, Laboratorien oder Institutionen erfolgen, die bestimmte Qualitätskriterien erfüllen (vgl. C-1.5). Mit der Feststellung des Vorhandenseins einer Schimmelpilzquelle ist zunächst noch keine Aussage zur gesundheitlichen Gefährdung verbunden (vgl. C-2).

C-1.1 Begehung

Durch eine Ortsbesichtigung sind die möglichen Ursachen für eine Schimmelpilzbelastung abzuklären. Erhoben werden dabei zum einen wichtige physikalische Parameter, wie Temperatur und Feuchtigkeit im Raum und auf Materialien, zum anderen Angaben über die Wohnung sowie mögliche Quellen für Schimmelpilze. Zur Begehung gehört auch eine Abfrage zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei den Raumnutzern.

Schon diese Aufzählung macht deutlich, dass es sich bei der Abklärung von Schimmelpilzwachstum in einer Wohnung und damit eventuell einhergehenden gesundheitlichen Auswirkungen um ein multidisziplinäres Problem handelt, bei dem Experten

unterschiedlicher Fachrichtungen (z.B. Bau-fachleute, Mikrobiologen, Umweltmediziner) zusammenarbeiten müssen. Dabei ist es besonders wichtig, dass diese Experten sich auf diese Problemstellung spezialisiert haben und auch die Arbeitsweise der anderen Disziplinen verstehen, um eine fruchtba-re Zusammenarbeit zu ermöglichen.

INFOBOX

Wer führt Wohnungsbegehungen durch?

Möchten Sie wissen, wer in Ihrer Nähe Wohnungsbegehungen und Schimmel-pilzanalysen durchführt, so lassen Sie sich durch Ihr zuständiges Gesundheits-amt oder eine Verbraucherschutzzentrale beraten.

Achten Sie bei der Vergabe von Aufträ- gen für Schimmelpilzmessungen darauf, dass die Laboratorien ein internes Quali- tätssicherungssystem haben und sich re- gelmäßig erfolgreich an externen Quali- tätssicherungsmaßnahmen (Ringversu- che) beteiligen (vgl. C-1.5).

Durch Bestimmung **physikalischer Para- meter** wie Temperatur und Feuchte soll bei der Begehung abgeklärt werden, ob es in bestimmten Bereichen der Wohnung zu Tauwasserproblemen mit anschließendem Schimmelpilzwachstum kommen kann (siehe auch C-3).

Temperaturmessungen sind nur in der kal- ten Jahreszeit zu empfehlen und sollten an der kältesten Stelle des Raumes erfolgen. Optimal sind Langzeit-Temperaturmessun- gen mit Registrierung von Taupunktunter- schreitungen. Dadurch kann beobachtet werden, zu welchen Zeiten oder bei wel- chen Aktivitäten kritische Konstellationen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auftre-

ten. Durch Feuchtigkeitsmessungen von Luft und Wandmaterialien kann man mei- stens feststellen, ob die Feuchtigkeit auf mangelnder Lüftung oder Heizung beruht oder baulich bedingt ist (z.B. Wärmebrücke vgl. B-1).

Bei unklaren Ergebnissen können auch weitergehende bauphysikalische Untersu- chungen (z.B. Thermographie, Blower-Door- Verfahren) eingesetzt werden. Eine Be- schreibung dieser Verfahren findet sich z.B. im Bericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg zu Schimmelpilzen in Innenräumen (siehe Literaturliste in An- hang 2, S. 73).

INFOBOX

Schimmelpilze im Keller – ein Sommerproblem

Im Gegensatz zum normalen Wohnraum können im Keller im Sommer Probleme mit Taupunktunterschreitungen vorkom- men.

Wenn die Kellerräume unbeheizt sind, kann die warme und feuchte Außenluft, die beim Lüften in die Räume gelangt, an den kalten Wänden zu Tauwasserbildung mit daraus resultierenden Problemen führen. In solchen Fällen sind bauphysi- kalische Messungen auch im Sommer sinnvoll (vgl. B-2.1)

Bei der Begehung sollten auch weitere **Angaben über die Wohnung** erhoben wer- den.

Die Erfassung allgemeiner Angaben zur Wohnung und deren Nutzung sowie mög- licher bekannter Quellen für Schimmelpilze ist für eine sinnvolle Interpretation der Mes- sergebnisse zum Vorkommen von Schim-

melpilzen im Innenraum (C-1.2) und für eine möglicherweise notwendige Sanierung (C-3) unerlässlich.

Folgende Angaben sollten erfasst werden:

- Wohnung und Umfeld:
 - Wohnung allgemein (Lage und Größe, Alter des Gebäudes, bauliche Besonderheiten, Nassräume, Baumaterialien, Unterkellerung, Dämmung, Art der Fenster)
 - Ausstattung der Wohnung (Fußböden, Wände, Möblierung, Gardinen, Topfpflanzen, Raumlufttechnische Anlagen, Luftbefeuchter)
 - Bewohner, Haustiere
 - Heizungs- und Lüftungsverhalten
 - Wärmedämmmaßnahmen
 - Renovierungen, Umbauten
 - Geruch: Art und Intensität
 - Umgebung des Hauses, Bebauungsdichte
- Mögliche Schimmelpilzquellen im Umfeld
 - emittierende Betriebe in der Umgebung wie Kompostwerke, landwirtschaftliche Betriebe o.ä.
 - Mülltonnen, Komposthaufen
- Hinweise auf Schimmelpilzbefall und/oder Feuchteschäden im Innenraum
 - Früheres oder aktuelles Auftreten von Feuchte- bzw. Schimmelpilzproblemen (inklusive bisher erfolgter Maßnahmen)
 - Sichtbarer Schimmelpilzbefall, Feuchteflecken und sonstige Feuchteschäden
 - Materialien mit Feuchteschäden (z. B. Mauerwerk, Holz, Fachwerk, Fensterrahmen, Dämmmaterialien, Tapeten, Teppiche, Möbel, Matratzen, Bücher)
 - Baumaßnahmen mit Feuchteintrag
- Mögliche weitere Schimmelpilz- oder Feuchtequellen im Innenraum

- Sammeln von Biomüll oder „Grüner-Punkt -Müll“ in der Wohnung
- unsachgemäße Lagerung von Abfällen im Wohnbereich
- Topferde von Zimmerpflanzen
- Fugen, z. B. Silikonfugen in Feuchtebereichen
- verdorbene Lebensmittel, Tierfutter
- Haustierhaltung (insbesondere Käfigtiere)
- Gewächshaus in Verbindung mit der Wohnung
- Luftbefeuchter, Zimmerspringbrunnen
- Aquarium in der Wohnung
- Wasserschäden, Heizungsleckage.

Um diese Angaben zu standardisieren, ist es sinnvoll, ein **Begehungsprotokoll** zu verwenden, in das alle Informationen eingetragen werden.

Ein solches Begehungsprotokoll kann mehrere Ziele haben. Es ist zum einen eine Hilfestellung als Checkliste für die Untersuchung vor Ort. Es soll eine vergleichbare und nachvollziehbare Dokumentation ermöglichen. Für das Labor müssen Daten enthalten sein, die eine eindeutige Zuordnung und Charakterisierung der Probe erlauben (Probenahmeprotokoll). Außerdem kann das Begehungsprotokoll als Unterlage für Sachverständige (Architekten, Umweltmediziner) dienen.

In Anhang 1 ist beispielhaft ein Begehungsprotokoll aufgeführt. Je nach Zielgruppe und Fragestellung sollte es in entsprechend angepasster Fassung eingesetzt werden.

Die Ergebnisse der Ortsbegehung bestimmen das weitere Vorgehen bei der Bestimmung der Schimmelpilzbelastung (siehe auch Abbildung 4).

Bei optisch eindeutig wahrnehmbarem starken Schimmelpilzbefall und erkennbarer Schadensursache ist eine Messung der

Schimmelpilzkonzentration überflüssig. Es sollten vielmehr direkt Schritte zur Sanierung (Abschnitt C-3) unternommen werden.

INFOBOX
Verdeckte Schimmelpilze hinter Möbeln

Schimmelpilze finden oft gute Wachstumsbedingungen hinter Möbelstücken an Außenwänden, da hier die Luftzirkulation unterbunden wird. In Verbindung mit kalten Wänden kann es zu erhöhten Oberflächenfeuchten in diesem Bereich kommen.

Daher sollte bei einer Wohnungsbegehung auch hinter Regalen, Schränken und Polstermöbeln auf Schimmelpilzwachstum geachtet werden, vor allem, wenn die Möbel dicht an Außenwänden stehen.

Wenn eine genaue Angabe über die Schimmelpilzart gewünscht wird, ist eine Materialprobe bzw. Oberflächenkontaktprobe (Abklatschverfahren oder Klebestreifenverfahren) ausreichend (C-1.2.4).

Bei Verdacht auf Schimmelpilzbefall ohne oder mit nur wenigen sichtbare/n Schimmelpilzflecken (z. B. aufgrund eines dauerhaften „muffigen“ Geruchs oder bei gesundheitlichen Beschwerden von Bewohnern) kann, wie beschrieben, eine Untersuchung der Raumluft (vgl. C-1.2.1 und C-1.3) oder von Staubproben (vgl. C-1.2.2) Klarheit schaffen. Bei begründetem Verdacht einer verdeckten Pilzquelle kann der Einsatz eines Schimmelpilzspürhundes die Lokalisation der Quelle erleichtern (vgl. C-1.4). Befallene Materialien können direkt untersucht werden (vgl. C-1.2.3).

C-1.2 Bestimmung von Schimmelpilzbelastungen

Um entscheiden zu können, ob eine Schimmelpilzbelastung in Gebäuden vorliegt, können je nach Fragestellung folgende Proben untersucht werden:

- Luft – sowohl Innenraum- als auch Außenluft (vgl. C-1.2.1)
- Hausstaub – Staub von Teppichböden, Betten, Polstermöbeln (vgl. C-1.2.2)
- Materialien und deren Oberflächen (vgl. C-1.2.3).

Neben der Bestimmung der Gesamtzahl von kultivierbaren Schimmelpilzen (bestimmt als koloniebildenden Einheiten (KBE, siehe Abschnitt A-1) ist es wichtig, die Art der Schimmelpilze zu bestimmen. Sie gibt Hinweise auf die Ursachen einer möglichen Belastung und auf die gesundheitliche Gefährdung durch spezielle Schimmelpilze (Abschnitt A-2).

Da oft nur ein Teil der tatsächlich vorhandenen Sporen kultivierbar ist, andererseits allergische und toxische Wirkungen auch von den nicht kultivierbaren Schimmelpilzen ausgehen (Abschnitt A-1), wurden Methoden entwickelt, um die Gesamtsporenzahl der Schimmelpilze bzw. die Gesamtzellzahl der Schimmelpilze und Bakterien zu erfassen (C-1.2.4).

Es gibt kein Verfahren zur Probenahme, Aufarbeitung und Bestimmung von Schimmelpilzen, das für alle Fragestellungen anwendbar ist.

Ein standardisiertes Messverfahren gibt es momentan nur für Luftmessung im arbeitsmedizinischen Bereich (Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe = TRBA 430,1997). Diese Methode wird modifiziert auch im umweltmedizinischen Bereich genutzt. Aufgrund der veränderten Aufgabenstellung ist sie hierfür allerdings beträchtlich

zu erweitern (u.a. selektive Nährmedien, Bestimmung der Arten, vgl. C-1.2.1).

Eine nähere Beschreibung der unten angesprochenen Methoden mit Hinweisen zu Vor- und Nachteilen sowie zu sinnvollen Einsatzbereichen finden sich im Bericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg zu Schimmelpilzen in Innenräumen (siehe Literaturliste).

C-1.2.1 Messung kultivierbarer Schimmelpilze in der Innenraumluft

Die quantitative Methode zur Bestimmung der kultivierbaren luftgetragenen Pilzsporen in der Innenraumluft ist die am weitesten verbreitete Methode zur Erfassung von Schimmelpilzen in Gebäuden. Sie stellt eine Momentaufnahme der Schimmelpilzkonzentration in der Raumluft dar.

Die Methode beruht darauf, dass die kultivierbaren Schimmelpilzsporen nach geeigneter Sammlung auf Agarnährböden angezüchtet werden. Dadurch werden sie makroskopisch auszählbar. Sie werden als Gesamtzahl der koloniebildenden Einheiten pro Luftvolumen (**Gesamt-KBE/m³**) angegeben (vgl. A-1). Der Vorteil dieser Methode ist, dass damit nicht nur eine Bestimmung der Gesamtkoloniezahl, sondern auch eine Differenzierung (Unterscheidung) der einzelnen vorhandenen Schimmelpilzarten möglich ist.

Geeignete Verfahren zum Sammeln von Schimmelpilzen aus der Luft sind die **Filtration** und die **Impaktion**. Dabei wird eine definierte Luftmenge mit einer Pumpe angesaugt, und die in der Luft enthaltenen Schimmelpilzsporen werden auf einem Filter (Filtration) oder direkt auf dem Nährmedium (Impaktion) abgeschieden. Bei der Filtermethode wird das Filter nach der Probenahme auf das Nährmedium aufgelegt. Das

Nährmedium wird je nach Fragestellung bei einer definierten Temperatur ca. 7 Tage bebrütet. Anschließend werden die sich bildenden Kolonien ausgezählt.

Um unterscheiden zu können, ob eine Schimmelpilzbelastung auf eine innerhalb oder außerhalb der Wohnung liegende Quelle zurückzuführen ist, ist zeitgleich zur Messung der Innenraumluft auch die Außenluft zu untersuchen. Die **Außenluftprobenahme** sollte möglichst auf der dem Wind zugewandten Seite (Luv-Seite), am besten 0,5 m vor dem Fenster durchgeführt werden. Es sollte möglichst keine Probenahme bei Regenwetter und erhöhten Windstärken durchgeführt werden, da dies die Ergebnisse der Gesamt-KBE-Bestimmungen beeinflussen kann. Wenn eine Verschiebung des Messtermins nicht möglich ist, ist eine überdachte, windgeschützte Stelle auf der Windseite des Gebäudes zu wählen. Die jeweiligen Umgebungsbedingungen sind genau zu protokollieren.

Die Konzentration der Schimmelpilze in der Außenluft ist saisonalen und regionalen Schwankungen unterworfen (vgl. A-1, Abb. 2). Außerdem können lokale Schimmelpilzquellen wie Biotonnen oder Komposthaufen zu einer erhöhten Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft beitragen. Der gleichzeitig mit der Innenraumluftmessung erhobene Außenluftmesswert erfasst die aktuelle Situation in der Außenluft. Damit kann abgeschätzt werden, ob die in der Innenraumluft nachgewiesenen Schimmelpilze aus der Außenluft stammen, oder aus einer Innenraumquelle kommen.

Darüber hinaus ist es hilfreich, eventuell vorhandene, für die Jahreszeit und die Wohngegend typische Außenlufteffahrungswerte bei der Beurteilung heranzuziehen. Damit können auch ungewöhnliche Belastungen in der Außenluft (z.B. durch Komposthaufen) des aktuell untersuchten Gebäudes erkannt werden.

Bei der **Innenraumluftprobenahme** kann während der Probenahme das Ergebnis durch die Zahl der Personen und ihre Aktivitäten beeinflusst werden. In dem zu untersuchenden Raum sollten 8 – 12 Stunden vor der Messung die Fenster geschlossen bleiben, so dass das aktuelle Keimpektrum im Innenraum nicht zu stark durch die Außenluft beeinflusst wird.

Außer der Messung der Konzentration der Schimmelpilze in der Innen- und Außenluft ist die Bestimmung der dominierenden Gattungen oder Arten der Schimmelpilze von großer Bedeutung als Hinweis für die mögliche Ursache erhöhter Schimmelpilzkonzentrationen sowie zur Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdung (C-2).

Das Untersuchungsergebnis hängt vor allem von folgenden **Einflussfaktoren** ab (die Reihenfolge sagt nichts über die Bedeutung dieses Parameters aus):

- Ansaughöhe
- Ansaugvolumen, Ansaugzeit
- Sammelprinzip und Art des Luftkeimsammlers
- Nachweis und Bestimmungsmethode
- Belegung, Raumnutzung, Aktivität
- Belüftung (Belüftungsart, Luftwechsel)

Normalerweise wird die Innenraumluft in 1 bis 1,5 m Höhe untersucht. Aus statistischen Gründen sollten mehrere Parallelmessungen eventuell mit unterschiedlichen Volumina durchgeführt werden (siehe unten). Geeignet sind Filtrations- und Impaktionsverfahren, mit denen Partikel von 1 µm noch gut erfasst werden können. Als Nährmedien werden DG 18-Agar (allgemein) und Malzextraktagar (für bestimmte Schimmelpilze wie *Stachybotrys*, *Chaetomium*) empfohlen.

Aus dem Vergleich der in der Innenraumluft und in der Außenluft erhaltenen Messwerte kann meist festgestellt werden, ob es im Innenraum eine Schimmelpilzquelle gibt.

Eine **Schimmelpilzquelle** ist dann im Innenraum zu vermuten, wenn die Anzahl der Schimmelpilze im Innenraum deutlich über der Anzahl der Schimmelpilze in der Außenluft liegt und/oder die Zusammensetzung der Arten im Innenraum deutlich von der Zusammensetzung der Arten in der Außenluft abweicht (siehe C-2).

Die Beantwortung der Frage, ob eine Schimmelpilzquelle im Innenraum vorliegt, wird in der Praxis aber oft erschwert, da

- mikrobiologische Bestimmungen mit einer hohen Streuung behaftet sind. Schimmelpilzsporen sind in der Luft nicht gleichmäßig verteilt, sondern ihre Verteilung hängt von den unterschiedlichsten Parametern (z. B. Luftzirkulation, Bewegungen im Raum, relative Feuchtigkeit) ab. Daher sind einzelne Schimmelpilzmessungen mit einem großen Unsicherheitsfaktor behaftet. Es wird empfohlen mehrere Parallelmessungen durchzuführen.
- die bisherigen Messverfahren weitgehendst auf Kurzzeitmessungen (meist 5–15 min.) basieren und trotz Mehrfachmessungen eine verallgemeinernde Einschätzung nur bedingt möglich ist.
- nicht alle vorhandenen Schimmelpilze kultivierbar sind. Manche Schimmelpilzarten wachsen sehr schlecht auf den Nährmedien, besonders, wenn sie unter Stressbedingungen (z.B. längeres Austrocknen) überleben müssen. Je nach Zusammensetzung der Schimmelpilzpopulation können kulturell auf Nährböden deutlich weniger Schimmelpilze nachgewiesen werden als wirklich vorhandenen sind. Die Ermittlung der Gesamtsporenkonzentration, die unabhängig vom Wachstum auf Nährmedien ist, kann diesem Problem Rechnung tragen (siehe C-1.2.4).

- die allgemein anerkannte und genutzte Bezugsgröße für eine Innenraumbelastung die Außenluftbelastung ist, die ihrerseits sehr starken örtlichen, witterungsbedingten und jahreszeitlichen Einflüssen unterliegt.

Die Messung kultivierbarer Schimmelpilze in der Innenraumluft „Gesamt-KBE“) stellt eine Momentaufnahme der Schimmelpilzkonzentration in der Raumluft dar.

Eine Differenzierung der Schimmelpilzarten ist eine wichtige Voraussetzung zur Beurteilung der Schimmelpilzbelastung.

Parallelmessungen an mehreren Stellen in der Wohnung sind notwendig, um die ungleichmäßige Verteilung der Schimmelpilze in der Raumluft zu erfassen.

Es sollte immer zeitgleich eine Untersuchung der Außenluft stattfinden.

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der Innenraumluft- und Außenluftmessungen kann zumeist festgestellt werden, ob es im Innenraum eine Schimmelpilzquelle gibt.

C-1.2.2 Messung von kultivierbaren Schimmelpilzen im Hausstaub

Pilzsporen sedimentieren in Abhängigkeit von Sporengröße und Zeit. Sie sind auf Oberflächen und vor allem im Hausstaub nachweisbar. Eine sehr hohe Pilzsporenkonzentration im Hausstaub birgt die Gefahr einer Remobilisierung in die Umgebungsluft. Besonders Kleinkinder, die noch auf dem Fußboden spielen, können in verstärktem Maße solchen aufgewirbelten Staub einatmen. Die Bestimmung kultivierbarer Schimmelpilze im Hausstaub ist daher zur

Ergänzung einer wohnhygienischen Überprüfung hilfreich.

Im Gegensatz zu Luftproben (vgl. C-1.2.1), die die momentane Situation erfassen, liefert die Analyse von Staubproben Langzeitinformationen, da sich im Staub Schimmelpilze über einen längeren Zeitraum anreichern können. Staubuntersuchungen geben daher Auskunft über eine mögliche andauernde Schimmelpilzbelastung im Innenraum.

Durch die Untersuchung von Hausstaub erhält man Auskunft über eine mögliche andauernde Schimmelpilzbelastung im Innenraum, da sich im Hausstaub Schimmelpilze über einen längeren Zeitraum anreichern können.

Die Probenahme von Hausstaub erfolgt in der Regel durch Absaugen des Teppichbodens. Bei speziellen Fragestellungen kann auch ein Absaugen der Matratze des Bettes, der Polstermöbel oder anderer Flächen in Betracht kommen. Der Staub wird unter definierten Bedingungen (Zeit, abgesaugte Fläche, Saugvolumen) an repräsentativen Stellen vorzugsweise mit einem Spezialgerät (Laborpumpe, Industriestaubsauger), das mit einem Planfilterhalter ausgestattet ist, abgesaugt. Eine Staubprobenahme auf glatten Fußböden ist auf Grund der meist geringen Staubmenge schwieriger durchzuführen.

Die Staubproben werden anschließend mit einem Direktverfahren oder einem Verdünnungsverfahren weiter untersucht. Beim **Direktverfahren** wird der Staub direkt auf das Nährmedium aufgebracht. Beim **Verdünnungsverfahren** wird der Staub in einem wässrigen Medium suspendiert und ein bestimmter Anteil dieser Suspension wird auf dem Nährmedium ausgebracht. Mit dem Verdünnungsverfahren werden höhere Werte ermittelt als mit dem Direktverfahren.

Die Analyse von Staub aus Staubsaugerbeutel, die bereits länger im Gebrauch

waren, wird nur als Notlösung empfohlen. Sie kann zwar eine Aussage über längerfristige Belastungen geben, die Probe ist aber zu undefiniert, um zuverlässige Aussagen zu ermöglichen.

In dem gesammelten Hausstaub können auch andere wichtige Innenraumallergene wie Milbenallergene, Katzenallergene oder Schabenallergene bestimmt werden.

C-1.2.3 Messung kultivierbarer Schimmelpilze durch Sedimentation

Beim Sedimentationsverfahren werden Platten (Petrischalen) mit Nährmedien für eine bestimmte Zeit im Innenraum aufgestellt, um damit die sich aus der Luft absetzenden Schimmelpilze aufzufangen.

Die Messung kultivierbarer Schimmelpilze durch Sedimentation liefert keine quantitativen und reproduzierbaren Ergebnisse und wird daher nicht empfohlen.

Die Platten mit den Nährmedien können allerdings nur kurze Zeit offen ausgelegt werden, da ansonsten die Nährbodenoberfläche austrocknet. In dieser Zeit wird aus dem Bioaerosol der Luft in Abhängigkeit von der Pilzsporengröße und deren Aggregatzustand nur ein Bruchteil der vorhandenen Schimmelpilze sedimentieren. Viele Schimmelpilze bilden überdies sehr kleine Sporen (Aspergillusarten haben z.B. Konidiosporen von nur 2 – 3 µm), die sehr lange in der Luft schweben und sich nur wenig absetzen, so dass sie mit dem Sedimentationsverfahren gar nicht erfasst werden.

Mit dem Sedimentationsverfahren können daher keine reproduzierbaren quantitativen Ergebnisse erhalten werden. Es kann daher nicht zum Nachweis kultivierbarer Schimmelpilzsporen bei Luftuntersuchungen im Innenraum empfohlen werden.

C-1.2.4 Messung der kultivierbaren Schimmelpilze in Material- und Oberflächenkontaktproben

Nützlich ist in vielen Fällen die Untersuchung einer Materialprobe (wie z. B. Putz, Tapete, Holzteile, Estrich, aber auch Blumenerde und Dämmmaterialien), die Hinweise auf die eigentliche Lokalisation der Schimmelpilzquelle liefern kann und durch Bestimmung der vorkommenden Schimmelpilzarten eine klare Abgrenzung des Keimpektrums im Innenraum von dem der Außenluft ermöglicht. Auch wird damit die Gefahr einer Fehlinterpretation verringert, die bei ausschließlicher Luftbeprobung z.B. durch einzelne, zufällig von außen eingetragene Pilzsporen entsteht. Einige Schimmelpilzarten (z.B. *Stachybotrys chartarum*) lassen sich überdies schwierig in der Luft nachweisen.

Die Untersuchung von Schimmelpilzen auf oder in Materialien gibt Hinweise auf die Schimmelpilzquelle.

Eine Differenzierung der Pilzarten ist aussagekräftiger als die Angabe einer Schimmelpilzkonzentration.

Beim Nachweis der Schimmelpilze auf befallenen Material steht die Differenzierung der Schimmelpilzart zur Bewertung der gesundheitlichen Gefährdung sowie des Umfangs und der Dringlichkeit der Sanierung im Vordergrund. Die Artbestimmung gibt auch darüber Auskunft, ob es sich um Schimmelpilze mit toxischem oder infektiösem Potential handelt. Die Angabe einer Schimmelpilzkonzentration pro Fläche ist dagegen weniger hilfreich.

Um eine Orientierung über die **Schimmelpilzarten auf** befallenen **Materialien** zu erhalten, werden Oberflächenkontaktproben untersucht. Dies ist auf zweierlei Weise möglich, mit Hilfe einer Abklatschprobe oder eines Klebefilmpräparates.

Bei der Abklatschprobe wird ein geeignetes präpariertes Nährmedium gegen die Fläche gedrückt, von der vermutet wird, dass sie mit Schimmel befallen ist (Abklatsch). Das Nährmedium wird anschließend direkt wie in Abschnitt C-1.2.1 beschrieben bebrütet. Bei der Beurteilung der Ergebnisse muss beachtet werden, dass das Wachstum auch durch Schimmelpilzsporen, die nicht aus dem Schimmelpilzschaden stammen sondern zufällig von anderen Quellen (z.B. Blumentöpfen) dorthin verfrachtet wurden, hervorgerufen werden kann.

Beim Klebefilmpräparat werden die Schimmelpilze vom Material auf eine durchsichtige Klebefolie überführt. Der Nachweis der Schimmelpilze erfolgt anschließend mikroskopisch. In diesem Fall kann durch Nachweis von Myzel das Wachstum auf dem Material bestätigt werden.

Beide Verfahren erlauben keine quantitative Aussage. Die Angabe eines Messwertes in koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Fläche ist nicht zu empfehlen, da die Keimdichte großen Schwankungen ausgesetzt ist, so dass hier eine verbale Beschreibung oder eine fotografische Dokumentation der befallenen Fläche sinnvoller erscheint.

Zur Untersuchung der **Schimmelpilze im befallenen Material** wird eine Materialprobe entnommen, zerkleinert und analog der Staubprobe (vgl. C-1.2.2) mit dem Verdünnungsverfahren untersucht. Um eine annähernde Vergleichbarkeit von untersuchten Materialproben anzustreben, ist die Untersuchung einer abgewogenen Menge des Materials zu empfehlen. Dadurch kann sich jedes untersuchende Laboratorium eine Datenbank mit Orientierungswerten zu einzelnen Materialien aufbauen, die bei der Ergebnisbeurteilung neuer Proben gleicher oder ähnlicher Materialien hilfreich ist. Diese Zahlen lassen sich jedoch nicht verallgemeinern, sondern gelten nur für die jeweils an-

gewandten Probenahme- und Untersuchungsbedingungen.

Auch bei der Materialuntersuchung ist neben der Konzentrationsbestimmung die Differenzierung der vorhandenen Arten von Schimmelpilzen wichtig für eine fundierte Aussage.

Bei der Untersuchung von Materialien ist zu beachten, dass mit einer geringen Zahl von Pilzsporen in allen Materialproben zu rechnen ist. Dies sollte nicht zu dem Schluss führen, dass das Material befallen ist. Durch sedimentierten Staub können auch höhere Konzentrationen „materialfremder“ Schimmelpilze im Material nachgewiesen werden. Dies sollte durch Vermeidung staubiger Proben ausgeschlossen werden. Bei der mikroskopischen Untersuchung liefert der Nachweis von Myzel im Material einen Hinweis darauf, dass es sich um Schimmelpilzwachstum im Material handelt. Zur Vermeidung von Fehlinterpretationen ist die oben genannte Erarbeitung einer „Datenbank“ mit Orientierungswerten für unterschiedliche Materialien nützlich. Solche Orientierungswerte liegen bisher jedoch nur für wenige Materialien vor. Die Interpretation der Ergebnisse von Materialuntersuchungen ist daher oft schwierig.

C-1.2.5 Messung der Gesamtzellzahl (Gesamtsporenzahl)

Toxische und sensibilisierende Wirkungen luftgetragener Pilzsporen gehen sowohl von kultivierbaren als auch von nicht kultivierbaren Sporen aus (Abschnitt A-1). Für besondere Fragestellungen ist daher die Bestimmung der Gesamtzellzahl durch Verfahren, die nicht auf einer Kultivierung beruhen, sinnvoll. So kann z.B. *Stachybotrys chartarum*, eine Schimmelpilzart, die zur Bildung von Mykotoxinen fähig ist, oft nicht durch Kultivierung (vgl. C-1.2.4) nachgewiesen werden, sondern nur bei der direkten Bestimmung der Gesamtzell- oder Gesamtsporenzahl.

Nach einer Sanierung kann die Bestimmung der Gesamtzell- oder Gesamtsporenzahl ebenfalls sinnvoll sein, um zu belegen, dass die Schimmelpilze nicht nur abgetötet, sondern wirklich entfernt wurden.

INFOBOX

Methoden zur Bestimmung der Gesamtzellzahl

Schlitzdüsenimpaktion auf beschichtete Objektträger (Gesamtsporenzahl):

Mit einem Partikelsammler (z.B. Holbach-Objektträger) werden luftgetragene Sporen auf einem beschichteten Objektträger fixiert und nach Anfärbung mikroskopisch ausgewertet. Bakterien werden mit dieser Methode nicht erfasst. Die Sporenzahl wird auf 1 m³ Luft bezogen.

Camnea-Filtermethode (Gesamtzellzahl, Palmgren et al. 1986):

Diese Methode dient der parallelen Untersuchung der kultivierbaren Schimmelpilze und der Gesamtzellzahl der Schimmelpilze und Bakterien. Die Anreicherung von luftgetragenen Mikroorganismen erfolgt über Nuclepore-Filter (Porengröße: 0,4 µm). Die auf dem Filter gesammelten Mikroorganismen werden in eine Pufferlösung aufgenommen. Ein Teil dieser Suspension wird zur Kultivierung der Schimmelpilze verwendet. Der andere Teil wird mit Acridine Orange angefärbt, auf ein schwarzes Filter filtriert und unter dem Mikroskop ausgewertet. Die Sporenzahl wird auf 1 m³ Luft bezogen

Palmgren U, Ström G, Blomquist, G, Malmberg, P (1986). Collection of airborne microorganisms on Nuclepore filters, estimation and analysis – CAMNEA method. J. Appl. Bacteriol. 61: 401-406

Zur Bestimmung der Gesamtzahl werden vor allem zwei verschiedene Methoden ein-

gesetzt, die Schlitzdüsenimpaktion und die Camnea-Filtermethode. Neue Methoden zur Bestimmung der Anzahl der Sporen, z.B. mit einem „Cellcounter“-Analysesystem, sind in der Entwicklung.

Ein großer Vorteil dieser Methoden ist die schnelle Auswertung, da die zeitaufwändige Kultivierung entfällt. Der Nachteil ist allerdings, dass nicht zwischen lebenden und abgestorbenen Mikroorganismen unterschieden werden kann und dass eine Artbestimmung nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Mit der Bestimmung der Gesamtsporenzahl werden sowohl die kultivierbaren als auch die nicht kultivierbaren Schimmelpilze erfasst.

Eine Differenzierung der Pilzgattungen und -arten ist nur eingeschränkt möglich.

C-1.3 MVOC-Messungen

Schimmelpilze können beim Wachstum eine ganze Reihe von flüchtigen organischen Verbindungen bilden. Analog zu den flüchtigen organischen Verbindungen, die allgemein als VOC (=Volatile Organic Compounds) bezeichnet werden, wurde speziell für die von den Mikroorganismen produzierten VOC der Begriff **MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds)** geprägt. Die MVOC umfassen ein breites Spektrum unterschiedlicher chemischer Stoffklassen, z.B. Aldehyde, Alkanole, Alkenole, Ester, Ether, Carbonsäuren, Ketone, schwefelhaltige Verbindungen, Terpene, Terpenalkohole und Sesquiterpene. Bisher wurden etwa 30 solcher Verbindungen identifiziert, die von Schimmelpilzen gebildet werden können.

Nicht immer lässt, wie beschrieben, der quantitative Nachweis von luftgetragenen Mikroorganismen gesicherte Aussagen über mikrobielle Schäden im Innenraum zu, da nur

ein Teil der in der Luft vorhandenen Mikroorganismen mit Kultivierungsmethoden (siehe C-1.2) erfasst werden kann oder es sich um verdeckte mikrobielle Schäden handelt. Die qualitative Bestimmung der charakteristischen MVOC (siehe C-1.3.1) kann in solchen Fällen ein gutes Hilfsmittel zum Aufdecken von mikrobiell bedingten Bauschäden sein.

In verschiedenen Untersuchungen wurden MVOC sowohl an produktionstechnisch belasteten Arbeitsplätzen (z.B. in Abfallbehandlungsanlagen), in Innenräumen als auch in der Außenluft nachgewiesen. Häufig ist ein muffiger Geruch ein Hinweis auf die Bildung von MVOC durch Schimmelpilze oder Bakterien.

Eine Auswahl der MVOC, für die bisher eine mikrobielle Herkunft bekannt ist, ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Die besten **Indikatoren für einen mikrobiellen Befall** sind 3-Methylfuran, Dimethyldisulfid, 1-Octen-3-ol, 3-Octanon und 3-Methyl-1-butanol. Weniger spezifische Indikatoren sind Hexanon, Heptanon, 1-Butanol und Isobutanol, da diese auch aus Bauprodukten oder Farben ausgasen können (vgl. Tab. 6).

Schimmelpilze können beim Wachstum flüchtige organische Verbindungen (MVOC) bilden.

Die Bestimmung „charakteristischer“ MVOC kann somit zum Erkennen verdeckter Schimmelpilzschäden beitragen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass manche – als MVOC gemessene – Substanzen, auch aus anderen Quellen stammen können.

Eine Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdung sollte durch MVOC-Messungen nicht vorgenommen werden.

Die Messung von MVOC kann mit zwei Methoden erfolgen (vgl. Infobox, S. 39). Die Ergebnisse aus beiden Methoden sind quantitativ nicht in allen Fällen miteinander vergleichbar. Die Auswertung der Proben umfasst die Quantifizierung aller relevanter Verbindungen. Zur Bewertung werden die Ergebnisse mit denen einer Referenzprobe aus der Außenluft oder falls möglich aus einem „unbelasteten“ Raum verglichen.

Bei der Bewertung von MVOC-Messungen im Innenraum ergeben sich in der Praxis einige Schwierigkeiten, da nicht alle als MVOC bestimmten Verbindungen auch tatsächlich mikrobieller Herkunft sein müssen. So werden zum Beispiel aliphatische Alkohole (Ethanol, Propanol, Butanol, etc.) häufig auch als technische Lösemittel verwendet.

Ein weiteres Problem ist, dass das Spektrum von MVOC, das die Schimmelpilze bilden, abhängig ist von dem Material, auf dem die Schimmelpilze wachsen. Viele Schimmelpilze können neben den bisher als charakteristisch angesehenen MVOC eine Vielzahl weiterer Verbindungen bilden. Innerhalb einer Art ist das Spektrum dabei noch ziemlich einheitlich, jedoch treten bei unterschiedlichen Arten von Schimmelpilzen große Unterschiede auf. Ergebnisse aus Laborversuchen mit künstlichen Substraten lassen sich nur bedingt auf die Verhältnisse beim Schimmelpilzwachstum im Innenraum übertragen.

Das Auftreten bestimmter MVOC ist an das Vorkommen lebender Mikroorganismen gebunden, während dies bei anderen MVOC nicht der Fall ist. Bei sogenannten „inaktiven“ Schäden, wo nicht-lebensfähige Mikroorganismen quantitativ überwiegen, wird häufig nur wenig oder kein 3-Methylfuran nachgewiesen, während 1-Octen-3-ol noch lange Zeit nach Absterben der Mikroorganismen in erhöhten Mengen nachweisbar ist. Das Mengenverhältnis zweier Substan-

Tabelle 6: Charakteristische MVOC aus Reinkulturen unterschiedlicher Schimmelpilzarten nach verschiedenen Autoren

Verbindung	Autor*					Geruchsschwelle	Geruchseindruck (µg/m³)	Andere Quellen**
	A	B	C	D	E			
2-Methyl-furan	+			+				
3-Methyl-furan	+	+		+	+			
2-Methyl-1-propanol		+	+	+		3	moderig-muffig, pilz-ähnlich	1, 2
1-butanol		+						1
3-Methyl-1-butanol	+	+	+	+	+	30	sauer, stechend	
2-Methyl-1-butanol	+	+		+	+	45	sauer, stechend	
2-Pentanol		+						
2-Hexanon		+						3
2-Heptanon		+	+	+		94	pilz-ähnlich, moderig-muffig,	2, 3
3-Octanon		+	+	+	+	30.000	mild, fruchtig	3
3-Octanol		+	+	+	+			
1-Octen-3-ol	+	+	+	+	+		moderig-muffig, pilz-ähnlich	3
2-Octen-1-ol		+					moderig-muffig, pilz-ähnlich	
2-Methyl-iso-borneol	+	+	+				erdig	
Geosmin		+		+		7	erdig	4
(1-10-Dimethyltrans-9-decalol)								
2-Isopropyl-3-methoxypyrazine		+					erdig	
Dimethyldisulfid	+			+		0,1	moderig, faulig	2

(1) Quelle: Fischer, G.: Comparison of microbiological and chemical methods for assessing the exposure to air-borne fungi in composting plants. Dissertation. In: Akademische Edition Umweltforschung Band 10 – Publikationsreihe des interdisziplinären Umwelt-Forums der RWTH Aachen (2000). ISBN 3-8265-6926-1.

*Autoren: **A:** Börjesson et al. (1993). Volatile fungal metabolites as indicators of mould growth in stored cereals. Ph.D. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, ISBN 91-576-4706-2.

B: Ström, G., J. West, B. Wessén, and U. Palmgren. (1994). Quantitative analysis of microbial volatiles in damp Swedish houses, 291–305. In R. A. Samson, B. Flannigan, M. E. Flannigan, A. P. Verhoeff, O. C. G. Adan, and E. S. Hoekstra (ed), Health implications of fungi in indoor environments. Air quality monographs, vol. 2. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.

C: Larsen, T. O. and Frisvad, J. C. (1995). Chemosystematics of *Penicillium* based on profiles of volatile metabolites. Mycol. Res. **99**: 1167–1174

D: Keller, R., Senkpiel, K. and Ohgke, H. (1998). Geruch als Indikator für Schimmelpilzbelastungen in natürlich belüfteten Innenräumen – Nachweis mit analytischer MVOC-Messung. In: Gesundheitliche Gefahren durch biogene Luftschadstoffe – Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene Heft 2 (Edited by R. Keller), Medizinische Universität, Lübeck, ISSN 1433-030X.

E: Fiedler, K. und Schütz, E. (1998). Nachweis flüchtiger organischer Verbindungen von Schimmelpilzen mittels HS-SPME-Technik. Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck, Heft 2, ISSN 1433-030X

**Mögliche andere Quellen: 1 = Lösungsmitteln in Farben; 2 = CO₂-Laser-Pyrolyse; 3 = Autoxidation von Lipiden; 4 = Actinomyceten

zen kann also Auskunft über das Alter oder die Qualität des Schadens geben.

Im Allgemeinen kann die Bestimmung der MVOC lediglich einen Hinweis darauf geben, ob ein verdeckter mikrobieller Schaden vorliegt – dieser muss dann genauer lo-

kalisiert werden. Erst danach kann über Art und Ausmaß der Sanierung entschieden werden.

Eine Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdung sollte aus der Messung von MVOC nicht vorgenommen werden.

INFOBOX

Methoden zur Messung von MVOC

Methode 1: Probenahme mittels Aktivkohle und anschließender Elution:

Die MVOC werden auf Aktivkohleröhrchen angereichert. Diese Röhrchen müssen einer strengen laborinternen Qualitätskontrolle unterliegen, um Blindwerte zu minimieren, die von Charge zu Charge unterschiedlich sein können. Die Probenahme erfolgt aktiv bei einem definierten Volumenstrom über 4 Stunden (Gesamtvolumen 120 bis 240 Liter) als Doppelbeobachtung. Die Probenahmezeit von 4 Stunden soll kurzfristige Schwankungen des MVOC-Gehaltes ausgleichen und die Nachweisgrenze im Hinblick auf eine Elution der Aktivkohle senken.

Methode 2: Probenahme mittels Tenax und anschließender Thermodesorption:

Die MVOC werden auf Tenax TA oder Tenax GR (60/80) angereichert. Die Probenahme wird als Doppelmessung durchgeführt. Die Probenahmezeit darf bei einem Durchsatz von 10 ml/min je nach Expositionsverhältnissen 1 Stunde nicht überschreiten, da sonst das Durchbruchvolumen für einige alkoholische Verbindungen überschritten wird. Das Durchbruchvolumen ist für die entsprechenden Verbindungen und Adsorbentien jeweils zu bestimmen.

Diese Methoden werden im Bericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg zu Schimmelpilzen in Innenräumen (siehe Literaturliste) genauer beschrieben. Eine VDI-Richtlinie (4255) zur Messung von MVOC wird zur Zeit erarbeitet. Eine vorläufige Zusammenstellung wurde in Form eines Statuspapiers dieser Richtlinienarbeit veröffentlicht: Tilkes, F., Dott, W., Fischer, G., Grün, L., Harpel, S., Hartung, J., Keller, R., Koch, A., Linsel, G., Manns, A., Martens, W., Palmgren, U., & Seidel, H.-J. Mikrobielle Luftverunreinigungen – Verfahren zur Erfassung und Diagnose von Endotoxinen, Mykotoxinen und MVOC. In : Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene. Band 104. 211 – 243. 1999.

C-1.4 Schimmelpilzspürhunde

Der Einsatz eines Schimmelpilzspürhundes wird als Ersatz oder als Ergänzung mikrobieller Messungen oder von MVOC-Messungen bei nicht sichtbaren, aber vermuteten Schimmelpilzschäden in Gebäuden vorgeschlagen.

Hunde sind seit langem im Dienst von Rauschgiftfahndern erfolgreich im Einsatz. Ebenso wie ausgebildete Tiere in solchen Fällen durch Geruchswahrnehmung die zu suchenden Stoffe aufspüren, können speziell ausgebildete Schimmelpilzspürhunde in der Lage sein, verdeckte Schimmelpilzbelastungen im Einzelfall geruchlich wahrzunehmen. Einige der von den Schimmelpilzen freige-

setzten flüchtigen Verbindungen (MVOC, vgl. C-1.3) sind zwar so geruchsintensiv, dass der Mensch sie bei massivem Schimmelpilzbefall noch riechen kann, die menschliche Nase versagt aber bei geringeren Konzentrationen. Hier kann ein Tier mit seinem besserem Geruchssinn eingesetzt werden.

Hund und Hundeführer müssen in speziellen Schulen zum Aufspüren von Schimmelpilzen ausgebildet werden. Dabei werden dem Tier Schimmelpilzproben vorgesetzt, deren Geruch es sich merken soll. Die Ausbildung und deren Überprüfungen müssen von Zeit zu Zeit wiederholt werden. Der Hund wird darauf trainiert, den vorhandenen Schimmelpilzschaden zu „markieren“ (z.B. durch Kratzen mit der Pfote) und so dem

anwesenden Hundeführer zu signalisieren, dass ein Schimmelpilzbefall, der auch verdeckt sein kann (z.B. hinter einer Gipskartonplatte), vorhanden ist.

Die Anwesenheit eines gut ausgebildeten Hundeführers, der gemeinsam mit dem Hund die Ausbildung zum Schimmelpilzeinsatz absolviert hat, ist unerlässlich, um das Verhalten des Tieres richtig zu interpretieren. Die Beurteilung, ob es sich um ein gut ausgebildetes Hund/Hundeführer-Gespann handelt, ist für den Auftraggeber einer Untersuchung sehr schwierig. Ein erster Hinweis können Zeugnisse von mit Erfolg absolvierten Trainingskursen sein.

Zu beachten ist, dass der Aktionsradius des Hundes auf den Fußboden und den unteren Wandbereich beschränkt ist und dass der vom Hund im Raum markierte Standort nicht unbedingt der Befallsort sein muss. Dies ist z.B. der Fall, wenn die MVOC nicht unmittelbar an der Befallsstelle austreten. In solchen Fällen kann die Interpretation der Markierung des Schimmelpilzhundes schwierig sein.

Schimmelpilzspürhunde können verdeckte Schimmelpilzquellen lokalisieren, da sie in der Lage sind, MVOC in geringen Konzentrationen zu riechen.

Eine Entscheidung für oder gegen eine Sanierung der betroffenen Räume sollte aus den Ergebnissen solcher Untersuchungen aber nicht abgeleitet werden.

Es ist daher nicht sinnvoll, allein auf der Basis eines von einem Schimmelpilzspürhund erkannten und markierten Schimmelpilzbefalls eine Sanierungsentscheidung abzuleiten. Vielmehr sollte bei positivem Befund der markierte Bereich weiter untersucht werden, auch durch Öffnen von Verschaltungen oder Hohlräumen. Damit kann man erkennen, ob dort tatsächlich Schim-

melpilzbewuchs vorhanden ist; ggf. muss durch weitere Messungen festgestellt werden, welches Ausmaß der Schaden hat. Erst danach sollte über weitere Maßnahmen zur Beseitigung des Problems entschieden werden.

C-1.5 Qualitätssicherung

Vor der Auftragsvergabe an ein Untersuchungslaboratorium sollte sich der Kunde bestätigen lassen, dass in dem Laboratorium die notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen (vgl. C-1.5.1, C-1.5.2) etabliert sind.

C-1.5.1 Qualitätsanforderungen an die Untersuchungseinrichtung

Für die Ermittlung einer Schimmelpilzbelastung in Gebäuden gibt es keine verbindlich vorgeschriebene Vorgehensweise, auch existieren bisher keine standardisierten Nachweisverfahren. Dadurch sind die Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungseinrichtungen oft nicht miteinander vergleichbar. Häufig sind die erhobenen Ergebnisse auch als Grundlage für eine Beurteilung ungeeignet, da der Wissensstand und die apparative Ausrüstung in den einzelnen Labors z. Z. noch sehr unterschiedlich sind.

Daher kommt den Angaben in den entsprechenden Gutachten bezüglich der angewandten Nachweisverfahren, der erhaltenen bauphysikalischen Daten, der Dokumentation des vorgefundenen Zustandes (Begehungsprotokoll, bildliche Darstellung), den verwendeten Beurteilungskriterien und der Interpretation und Bewertung von Schimmelpilzuntersuchungen im Innenraum eine besondere Bedeutung zu.

Die sachgerechte Ermittlung einer Schimmelpilzbelastung und ihrer Ursachen ist

eine komplexe Aufgabe. Es ist daher häufig sinnvoll, dass die entsprechenden Untersuchungen unter Beteiligung von Personen mehrerer Fachdisziplinen arbeitsteilig durchgeführt werden. Hierzu gehören Bau-sachverständige (für Probenahme, Messung der bauphysikalischen Gegebenheiten, Probenahmeprotokoll, Ermittlung der baulich bedingten Ursachen), Mykologen (für die Probenahme, Differenzierung der Schimmelpilze), Hygieniker, Umweltmediziner, Allergologen oder Pulmologen (für die gesundheitliche Bewertung). Die Vertreter der unterschiedlichen Fachdisziplinen sollten kooperativ – entsprechend der konkreten Fragestellung – nach einer abgestimmten Strategie und unter Beachtung der allgemein üblichen Anforderungen bezüglich der Qualitätssicherung zusammenarbeiten.

Schimmelpilzuntersuchungen in Gebäuden sind durch qualifizierte Untersuchungseinrichtungen durchzuführen, die Fachkenntnisse in der Probenahme, Mykologie (Schimmelpilzkunde), Bauphysik und Bauchemie sowie insbesondere in der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse nachweisen können.

Allgemein übliche Qualitätsanforderungen an die Untersuchungseinrichtungen sind:

- Nachweis des nötigen Sachverstandes der Untersuchungseinrichtungen.
Die beteiligten Untersuchungseinrichtungen und ihre Mitarbeiter müssen die erforderliche Qualifikation und eine langjährige Erfahrung im Zusammenhang mit Schimmelpilzuntersuchungen besitzen. Eine regelmäßige Teilnahme an Fachkongressen und Fortbildungsmaßnahmen ist selbstverständlich.
- Räumlichkeiten und Ausstattung des mykologischen Labors.
Die apparative, technische und räumliche Ausstattung des Labors muss den

durchgeführten Untersuchungsverfahren angepasst sein. Zur spezifischen Ausstattung eines mykologischen Labors gehören u. a. Brutschränke, eine Sterilwerkbank, ein Mikroskop, ein Stereomikroskop. Das mykologische Labor muss über ein L2-Labor verfügen. Die Anforderungen zum Arbeiten mit Krankheitserregern nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG) § 44 (vormals Bundesseuchengesetz § 19) und die Anforderungen nach der Biostoffverordnung (BioStoffV) sind zu beachten.

- Vorgehen nach schriftlich fixierten Arbeitsvorschriften.
Alle Arbeitsabläufe für eine Untersuchung müssen in schriftlicher Form vorliegen und sind bei Bedarf zu aktualisieren. Diese Arbeitsvorschriften umfassen z.B. die Vorgehensweise bei der Probenahme, der Schimmelpilzbestimmung und der Dokumentation der Ergebnisse. Ferner müssen auch die Vorgehensweisen beim Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen und bei der Entsorgung des kontaminierten Materials schriftlich fixiert werden.
- Interne Qualitätssicherung des mykologischen Labors.
Es müssen Maßnahmen zur internen Qualitätssicherung etabliert sein. Besonders wichtig sind dabei die Kontrolle der Nährmedien und die regelmäßige Wartung der Geräte.
- Externe Qualitätssicherung des mykologischen Labors.
Das Untersuchungslaboratorium muss nachweisen können, dass es regelmäßig und erfolgreich an Ringversuchen zum Nachweis von Schimmelpilzen teilnimmt.

Mit diesen Ringversuchen wird nur ein Teil der gesamten Untersuchung, nämlich die Bearbeitung der Proben im Labor, geprüft. Die Probenahme, die we-

sentlich zur Qualität der Ergebnisse beiträgt, kann mit diesen Ringversuchen leider nicht erfasst werden.

■ Befundmitteilung.

Dem Auftraggeber werden mit dem Befund folgende Angaben mitgeteilt:

- Ergebnis der Ortsbegehung
- Probenahmeverfahren mit Angabe von Messort, Zeitpunkt, Dauer und Häufigkeit der Probenahme sowie der Probenahmegeräte
- Untersuchungsverfahren (mit näheren Angaben z.B. zum Nährmedium, zur Bebrütungstemperatur und Bebrütungszeit)
- Bezugswerte für die Bewertung und Angabe der Herkunft der Bezugswerte (basieren die Bezugswerte auf eigenen Daten, ist ihre Validität und Plausibilität zu belegen)
- Fehlerabschätzung des Analyseergebnisses
- Arbeitsbereich oder – wenn sinnvoll (z.B. bei MVOC-Analysen) – Bestimmungsgrenze des Untersuchungsverfahrens.

C 1.5.2 Hilfestellungen zur internen und externen Qualitätssicherung

Eine Prüfung der Laborqualifikation für entsprechende Untersuchungen kann anhand der vom Arbeitskreis Analytische Qualitätssicherung (AQS) am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (LGA) herausgegebenen Entwürfe „Bestätigung der Laborqualifikation“ vorgenommen werden. In einem „Forderungskatalog zur analytischen Qualitätssicherung bei Bestimmung biologischer Schadstoffe in Innenräumen“ werden allgemeine Hinweise zu den gängigsten relevanten Parametern, zum Probenmaterial, zu Probenahme, Probelagerung und Probentransport, zur Probenvorbereitung und

Bestimmungsmethode, zu den gegebenenfalls zu bestimmenden Schimmelpilzspezies, zur Angabe der Ergebnisse, zum Nachweisbereich und zu den Beurteilungskriterien aufgelistet.

Für die Bestimmung von Schimmelpilzen wurden bisher kaum Ringversuche bzw. die Teilnahme am Austausch realer Proben angeboten. Der Arbeitskreis AQS führt mit finanzieller Unterstützung des Umweltbundesamtes seit 2001 deutschlandweite Ringversuche durch. Bisher wurden Ringversuche mit Reinkulturen durchgeführt. Später sollen auch Mischkulturen, z.B. auf Filtern verschickt werden, um den Bedingungen in der Praxis näher zu kommen. Das Hauptgewicht der Auswertung liegt auf der richtigen Differenzierung der Arten, da auch im Innenraum die Bestimmung der Arten meist wichtiger ist als die Konzentrationsbestimmung. Für die erfolgreiche Teilnahme wird eine Teilnahmebescheinigung erteilt.

Die Untersuchung von Schimmelpilzen im Innenraum ist eine interdisziplinäre Aufgabe und sollte nur von qualifizierten Untersuchungsstellen durchgeführt werden.

Auftraggeber sollten sich vergewissern, dass von den gewählten Untersuchungsstellen entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt und die Befunde dem Auftraggeber ausführlich mitgeteilt werden.

C-2 Beurteilung von Schimmelpilzen im Innenraum

Die in Abschnitt C-1 beschriebenen Vorgehensweisen und Untersuchungen haben zum Ziel herauszufinden, ob es eine Schimmelpilzquelle im Innenraum gibt und wo und wie diese zu lokalisieren ist. Zur Beurteilung, ob im Innenraum eine Schimmelpilzbelastung vorliegt, sind die Ergebnisse der im Teil C-1 angegebenen Untersuchungen zusammen mit den Angaben des Begehungsprotokolls im Gesamtzusammenhang auszuwerten.

Die Feststellung einer Schimmelpilzquelle im Innenraum ist nicht gleichzusetzen mit einer akuten Gesundheitsgefährdung der Raumnutzer. Das Ausmaß der Gesundheitsgefährdung ist abhängig von der Art des Schadens und der Empfindlichkeit der Raumnutzer und kann im Einzelfall aufgrund fehlender wissenschaftlicher Daten meist nicht genau quantifiziert werden. Da aus epidemiologischen Studien aber eindeutig hervorgeht, dass mit Feuchteschäden und Schimmelpilzwachstum im Innenraum gesundheitliche Beeinträchtigungen einhergehen können, sollte Schimmelpilzwachstum im Innenraum als hygienisches Problem angesehen und nicht hingenommen werden. Es sollte auch in diesem Bereich das Vorsorgeprinzip Anwendung finden, nach dem Belastungen zu minimieren sind (Minimierungsgebot), bevor es zu Erkrankungen kommt.

Ergibt die Beurteilung, dass eine Schimmelpilzquelle im Innenraum vorliegt, sollte daher eine Sanierung erfolgen (vgl. C-3.2). Schimmelpilzquellen im Innenraum sind aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes zu beseitigen.

Die nachfolgend aufgestellten Beurteilungsschemata stellen eine Hilfe dar, um die Schwere einer Belastung – aus hygienischer Sicht – zu beurteilen. Für eine medizinische Bewertung sollte ein Arzt hinzugezogen wer-

den. Die Kenntnisse über die gesundheitliche Gesamtwirkung von Schimmelpilzen sind zur Zeit noch sehr lückenhaft, so dass wissenschaftlich abgesicherte Aussagen hierzu nur sehr eingeschränkt möglich sind. Bei der Beurteilung der Wirkung von Schimmelpilzen ist auch zu beachten, dass eine allgemeine Dosis-Wirkung-Beziehung bisher nicht nachgewiesen wurde (siehe A-2). Vor allem das toxische und das allergene Potential von Schimmelpilzen ist von vielen Faktoren (Wachstumszustand, Lebensbedingungen, Stressfaktoren, spezifische Spezies) abhängig. Die zur Untersuchung eines Schimmelpilzschadens z.Z. allgemein verwendeten Nachweismethoden (C-1.2) erlauben, wenn überhaupt, nur sehr eingeschränkt eine Abschätzung dieses Potenzials.

Zur Abklärung auftretender gesundheitlicher Beschwerden, die im Zusammenhang mit einer Schimmelpilzbelastung stehen, ist vom behandelnden Arzt eine gezielte Anamnese durchzuführen. Die Beschreibung der für eine medizinische Bewertung notwendigen Vorgehensweise ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens.

C-2.1 Bewertung von Materialproben

In der Regel sind Schimmelpilzbelastungen im Innenraum auf kontaminierte Materialien zurückzuführen. Sofern eine gezielte Entnahme von belasteten Materialproben möglich ist (diese können z.B. erkennbar sein durch Feuchtigkeit, Geruch oder sichtbaren Befall), sollten derartige Proben für die Beurteilung eines Schadens herangezogen werden.

In Tabelle 7 werden **drei Kategorien zur Einstufung einer Belastung** von Materialien mit Schimmelpilzen vorgeschlagen.

Kategorie 1: Normalzustand bzw. geringfügiger Schaden.

In der Regel keine Maßnahmen erforderlich.

Kategorie 2: Geringer bis mittlerer baulicher oder nutzungsbedingter Schaden.

Die Freisetzung von Pilzbestandteilen sollte unmittelbar unterbunden werden und die Ursache sollte mittelfristig ermittelt und saniert werden.

Kategorie 3: Großer baulicher oder nutzungsbedingter Schaden.

Die Freisetzung von Pilzbestandteilen sollte unmittelbar unterbunden werden und die Ursache des Schadens ist kurzfristig zu ermitteln und zu beseitigen. Die Betroffenen sind auf geeignete Art und Weise über den Sachstand zu informieren, eine umweltmedizinische Betreuung sollte erfolgen. Nach abgeschlossener Sanierung sollte der Sanierungserfolg durch geeignete mikrobiologische Nachweisverfahren überprüft werden („Freimessung“) zum Nachweis, dass keine erhöhten Schimmelpilzkonzentrationen (vgl. Tab. 8) vorliegen.

Die Angaben in der Tabelle können nicht als Absolutwerte herangezogen werden. Bei einer Beurteilung sind immer der Einzelfall sowie ggf. besondere Umstände zu prüfen. Insbesondere sind folgende Punkte zu beachten:

- Nicht nur die Fläche des Befalls sondern auch die Art des Befalls (z.B. punktförmiges Wachstum gegenüber rasenartigem Wachstum) ist zu berücksichtigen.
- Die Tiefe des Schadens ist zu berücksichtigen, wenn der Pilzbewuchs sich

aufgrund von z.B. Rissbildungen bis tief in das Mauerwerk (oder andere Materialien) fortsetzt, muss der Schaden entsprechend dem Befallsumfang ggf. höheren Kategorien zugeordnet werden.

- Die Zusammensetzung der Schimmelpilzarten ist zu berücksichtigen. Ein häufiges oder überwiegendes Auftreten von Schimmelpilzarten, denen eine besondere gesundheitliche Bedeutung zugeordnet wird (z.B. *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *Stachybotrys chartarum*), führt zu einer Verschiebung in die nächst höhere Kategorie.
- Es ist zwischen einem aktiven Befall und einem getrockneten Altschaden oder einer Sporenkontamination zu unterscheiden. Bei einem aktiven Befall sollte fallbezogen durch die Sachverständigen entschieden werden, ob die Kategorie um einen Wert erhöht wird, denn:
 - die Mikroorganismenpopulation kann sich relativ schnell ändern, und es können unerwartete krankheitserregende Schimmelpilzarten auftreten
 - es können kontinuierlich, über längere Zeit hohe Mengen lebensfähiger Sporen abgegeben werden (bei einem Altschaden nimmt dagegen die Sporenkonzentration und deren Lebensfähigkeit mit der Zeit ab)
 - ein aktiver Schimmelpilzbefall stellt häufig die Nährstoffgrundlage für andere Organismen, wie z. B. Milben, dar. Nach Austrocknung eines Scha-

Tabelle 7: Bewertung von Materialien mit Schimmelpilzbewuchs

Wichtige Anmerkungen siehe im Text

	Kategorie 1*	Kategorie 2*	Kategorie 3*
Schadensausmaß (sichtbare und nicht sichtbare Materialschäden)	keine bzw. sehr geringe Biomasse (z. B. geringe Oberflächenschäden < 20 cm ²)	mittlere Biomasse; oberflächliche Ausdehnung < 0,5 m ² , tiefere Schichten sind nur lokal begrenzt betroffen	große Biomasse; große flächige Ausdehnung > 0,5 m ² , auch tiefere Schichten können betroffen sein

* Für die Einstufung in die nächst höhere Bewertungsstufe reicht die Überschreitung einer Forderung. Beispiel: ein Befall mit geringer Oberfläche ist nach Kategorie 2 oder 3 einzuordnen, wenn zusätzlich auch tiefere Materialschichten betroffen sind.

dens nimmt in der Regel die Anzahl dieser Organismen schnell ab

- es gilt, noch nicht erforschten Gefahren vorzubeugen.

Bei der Beurteilung von Materialproben sollte neben der Fläche des Schadens auch die Tiefe und Art des Befalls (Bestimmung der Schimmelpilzarten) berücksichtigt werden.

Für die Beurteilung ist es außerdem wesentlich, ob es sich um einen feuchten, aktiven oder um einen getrockneten Schaden handelt.

C-2.2 Bewertung von Luft- und Staubproben

Die Entscheidung über das Vorhandensein einer Schimmelpilzquelle im Innenraum anhand von Luft- oder Staubproben setzt einen hohen Sachverstand voraus. Eine schematische Herangehensweise ist problematisch. Es ist jeweils der konkrete Einzelfall unter Hinzuziehung aller vorhandenen Informationen zu beurteilen.

Neben den oben bereits angeführten bauphysikalischen Daten und der mit Hilfe der Fragebögen erhobenen Daten muss bei der Beurteilung von Luft- und Staubproben der regionale und jahreszeitliche Einfluss der Außenluft auf die Artenzusammensetzung und die Gesamt-KBE-Konzentration bzw. die Sporenkonzentration beachtet werden (vgl. C-1.2.1).

Weiterhin ist zu beachten, dass die bei der Luftproben- (Luftkeimsammlung, Luftpartikelsammlung, MVOC) oder Staubprobenuntersuchung erhaltenen Messwerte nicht als alleinige Beurteilungsparameter herangezogen werden können, sondern nur im Gesamtzusammenhang mit den bei der Begehung erhaltenen Informationen eine sinn-

volle Bewertung möglich ist. In Einzelfällen kann es nämlich vorkommen, dass z.B. Ergebnisse von Luftkeimsammlungen negativ ausfallen, obwohl ein Schaden vorliegt.

Für die Erfassung und Bewertung von Innenraumquellen kommt der Artenzusammensetzung eine wesentlich größere Bedeutung zu als der Gesamtkonzentration an Schimmelpilzen.

Die Erfassung der Artenzusammensetzung einer Luftprobe oder Staubprobe ist notwendig, um das Auftreten von Pilzarten mit krankheitserregender oder toxischer Wirkung zu erkennen. Schimmelpilze, denen eine besondere gesundheitliche Bedeutung zugeordnet wird (z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Stachybotrys chartarum*), sind besonders kritisch zu beurteilen.

Durch die Analyse der Artenzusammensetzung kann zusätzlich festgestellt werden, ob verstärkt Pilzarten auftreten, die auf Bauschäden hindeuten. Die verschiedenen Pilzarten unterscheiden sich außerdem in ihren Feuchteansprüchen (vgl. A-1 und Fußnote Tab. 8 zu „untyp A“) und können daher einen Hinweis auf Feuchteschäden liefern. Während einige Pilze häufig auch in Blumentöpfen oder im Biomüll in erhöhten Konzentrationen auftreten können (z.B. *Aspergillus* sp.), ist das Auftreten anderer Arten (z.B. *Stachybotrys* sp.) stärker auf Bauschäden begrenzt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die „Flugfähigkeit“ von Sporen verschiedener Pilzarten sehr unterschiedlich sein kann. Für die Beurteilung von Innenraumquellen ist es daher wichtig, die einzelnen Pilzarten nach dem Typ ihrer Sporenverbreitung zu unterscheiden.

Die Erfahrung zeigt, dass Pilzarten mit sogenannten trockenen, gut flugfähigen Sporen bereits bei geringen Materialschäden zu erhöhten Sporenkonzentrationen in der Luft

führen können. Die Sporen dieser Arten sind in der Regel relativ klein und werden in großer Anzahl gebildet. Sie sind nicht in eine „Schleimmatrix“ eingebettet, so dass einzelne Sporen oder kleine Sporenaggregate durch leichte Luftbewegungen verbreitet werden können. Als Leitarten für diesen Verbreitungstyp können Arten der Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus* gelten. Wesentlich geringere Luftbelastungen werden dagegen festgestellt, wenn Materialien von Pilzen besiedelt wurden, deren Sporen relativ groß sind oder nach ihrer Bildung in Schleimsubstanzen gesammelt werden und daher schlecht flugfähig sind. Als Leitarten für diesen Verbreitungstyp gelten viele Arten der Gattungen *Acremonium* oder *Fusarium* sowie Sporen der Pilzart *Stachybotrys chartarum*.

Es wird auch in Zukunft nicht möglich sein, einen einzelnen Richt- oder Grenzwert für eine Pilzbelastung in Luft- oder Staubproben anzugeben.

Einzelne Richtwerte können nur innerhalb einer begrenzten Untersuchung eine gewisse Aussagekraft liefern, was sich nicht ohne weiteres auf andere Situationen übertragen lässt.

In Innenräumen kommt der Pilzartenzusammensetzung eine wesentlich größere Bedeutung zu als der Gesamtkonzentration an Schimmelpilzen.

Schimmelpilzarten, denen eine relevante gesundheitliche Bedeutung zukommt, sind besonders kritisch zu beurteilen.

C-2.2.1 Bewertung von Luftproben

Die Sporenkonzentration in der Luft kann starken Schwankungen unterliegen. Das Ergebnis einer Innenraumluftmessung wird

entscheidend von den jeweiligen Probenahmebedingungen und insbesondere von den vorhandenen Aktivitäten im Raum beeinflusst. Besonders hohe Schwankungen sind bei Kurzzeitmessungen zu erwarten, da diese Momentaufnahmen darstellen und Pilzsporen nicht gleichmäßig im Raum verteilt auftreten.

Als Bewertungs- und Orientierungshilfe für Schimmelpilzbestimmungen in der Innenraumluft können nach gegenwärtigem Erkenntnisstand folgende **drei Bereiche** dienen (vgl. Tab. 8 und 9):

- der Bereich der **Hintergrundbelastung** für wichtige Pilzgattungen oder Pilzarten
- ein **Übergangsbereich**, innerhalb dessen erhöhte Konzentrationen der einzelnen Pilzgattungen oder Pilzarten liegen, die bereits auf Innenraumquellen hinweisen
- ein Bereich mit Konzentrationen, die diesen Übergangsbereich überschreiten und **mit hoher Wahrscheinlichkeit** auf eine **Innenraumquelle** hinweisen.

Wichtig ist, dass nicht alle Problemsituationen mit dem vorgeschlagenen Schema (Tab. 8 und 9) bewertet werden können. So kann z.B. die Bewertung einer Luftprobe im Spätherbst schwierig sein, wenn der Sporengehalt der Außenluft in kurzer Zeit stark verringert wird (Oktober-November mit kalter und feuchter Witterung). In diesem Zeitraum können aus der Außenluft stammende Sporen, die über die Vegetationsperiode zuvor im Innenraum sedimentiert sind, das Ergebnis einer Luftprobe stärker beeinflussen (falls diese vor oder während einer Probenahme aufgewirbelt werden) und im Verhältnis zur Außenluft eine Belastung der Innenluft ergeben. Umgekehrt können auch ungewöhnlich belastete Außenluftproben eine Interpretation der Ergebnisse erschweren.

Bei der Bewertung der Ergebnisse sollte außerdem immer berücksichtigt werden,

dass es sich um Kurzzeitmessungen handelt.

Die Anwendung der Tabellen setzt daher einen hohen Sachverstand voraus.

Die angegebenen Bewertungsbereiche sind als vorläufige Werte zu verstehen, die bei Vorliegen neuer Erkenntnisse ggf. angepasst werden müssen.

Tabelle 8: Bewertungshilfe für Luftproben – kultivierbare Schimmelpilze

Die drei Zeilen der Tabelle sind nicht als eigenständige Kriterien gedacht, sondern sind in einer umfassenden Auswertung gemeinsam zu betrachten.

Innenluft-Parameter	Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle nicht auszuschließen ¹⁾	Innenraumquelle wahrscheinlich ²⁾
<i>Cladosporium</i> sowie andere Pilzgattungen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen können (z.B. sterile Myzelien, Hefen, <i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i>)	Wenn die KBE/m ³ einer Gattung in der Innenluft unter dem 0,7 (bis 1,0)-fachen der Außenluft liegen $I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 0,7 (+0,3)$	Wenn die KBE/m ³ einer Gattung in der Innenluft unter dem 1,5 ± 0,5-fachen der Außenluft liegen $I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 1,5 (\pm 0,5)$	Wenn die KBE/m ³ einer Gattung in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegen $I_{typ A} > A_{typ A} \times 2$
Summe der KBE der untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten unter 150 KBE/m ³ liegt $I_{\Sigma untyp A} \leq A_{\Sigma untyp A} + 150$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten unter 500 KBE/m ³ liegt. $I_{\Sigma untyp A} \leq A_{\Sigma untyp A} + 500$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten über 500 KBE/m ³ liegt. $I_{\Sigma untyp A} > A_{\Sigma untyp A} + 500$
eine Art der untypischen Außenluftarten (!)	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft einer untypischen Außenluftart unter 50 KBE/m ³ liegt $I_{E untyp A} \leq A_{E untyp A} + 50$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft einer untypischen Außenluftart unter 100 KBE/m ³ liegt $I_{E untyp A} \leq A_{E untyp A} + 100$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft einer untypischen Außenluftart über 100 KBE/m ³ liegt $I_{E untyp A} > A_{E untyp A} + 100$

1) Indiz für Quellensuche 2) Indiz für kurzfristige intensive Quellensuche

- KBE** = koloniebildende Einheiten
- I** = Konzentration in der Innenraumluft in KBE/m³
- A** = Konzentration in der Außenluft in KBE/m³
- typ A** = typische Außenluftarten bzw. -gattungen (wie z. B. *Cladosporium*, sterile Myzelien, ggf. Hefen, ggf. *Alternaria*, ggf. *Botrytis*)
- untyp A** = untypische Außenluftarten bzw. -gattungen (z. B. Pilzarten mit hoher Indikation für Feuchteschäden wie *Acremonium* sp., *Aspergillus versicolor*, *A. penicillioides*, *A. restrictus*, *Chaetomium* sp., *Phialophora* sp., *Scopulariopsis brevicaulis*, *S. fusca*, *Stachybotrys chartarum*, *Tritirachium (Engyodontium) album*, *Trichoderma* sp.)
- Σuntyp A** = Summe der untypischen Außenluftarten (andere als typ A)
- Euntyp A** = **eine** Art, die untypisch ist in der Außenluft
- !** = die angegebenen Konzentrationen gelten für Pilzarten mit gut flugfähigen Sporen. Für Pilzsporen mit geringer Flugfähigkeit sowie für thermotolerante Pilzarten gelten deutlich geringere Konzentrationen

Tabelle 9: Bewertungshilfe von Luftproben – Partikelauswertung

Die sechs Zeilen der Tabelle sind nicht als eigenständige Kriterien gedacht, sondern sind in einer umfassenden Auswertung gemeinsam zu betrachten.

Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf Luftproben, die unter normalen Bedingungen gezogen wurden (keine gezielte Staubaufwirbelung).

Gesamtpilzsporen Holbach Objektträger (C-1.2.5)	Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle nicht auszuschließen ^{1) 3)}	Innenraumquelle wahrscheinlich ²⁾
Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen z.B. Typ Ascosporen Typ <i>Alternaria/Ulocladium</i> Typ Basidiosporen <i>Cladosporium</i> spp.	Wenn die Summe eines Sporentyps in der Innenluft unter dem 1 (bis 1,4)-fachen der Außenluft liegt $I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 1 (+0,4)$	Wenn die Summe eines Sporentyps in der Innenluft unter dem 1,6 ($\pm 0,4$)-fachen der Außenluft liegt $I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 1,6 (\pm 0,4)$	Wenn die Summe eines Sporentyps in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegt $I_{typ A} > A_{typ A} \times 2$
Typ <i>Penicillium/Aspergillus</i>	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft für den Sporentyp <i>Penicillium/Aspergillus</i> nicht über 300 liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 300$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft für den Sporentyp <i>Penicillium/Aspergillus</i> nicht über 800 liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 800$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft für den Sporentyp <i>Penicillium/Aspergillus</i> über 800 liegt $I_{\Sigma P+A} > A_{\Sigma P+A} + 800$
Typ <i>Chaetomium</i> spp.	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Chaetomiumsporen ausgeglichen ist $I_{Chaetom} \leq A_{Chaetom}$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Chaetomiumsporen nicht über 5 liegt $I_{Chaetom} \leq A_{Chaetom} + 5$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Chaetomiumsporen 5 übersteigt $I_{Chaetom} > A_{Chaetom} + 5$
<i>Stachybotrys chartarum</i>	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Stachybotryssporen ausgeglichen ist $I_{Stachy} \leq A_{Stachy}$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Stachybotryssporen nicht über 2 liegt $I_{Stachy} \leq A_{Stachy} + 2$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Stachybotryssporen 2 übersteigt $I_{Stachy} > A_{Stachy} + 2$
diverse Pilzsporen, die nicht dem Typ Basidiosporen oder Ascosporen angehören	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der diversen Pilzsporen nicht über 400 liegt $I_{divers} \leq A_{divers} + 400$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der diversen Pilzsporen nicht über 800 liegt $I_{divers} \leq A_{divers} + 800$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der diversen Pilzsporen 800 übersteigt $I_{divers} > A_{divers} + 800$
Myzelstücke	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Myzelstücke nicht über 150 liegt $I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 150$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Myzelstücke nicht über 300 liegt $I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 300$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Myzelstücke 300 übersteigt $I_{Myzel} > A_{Myzel} + 300$

¹⁾ Indiz für Quellensuche, ²⁾ Indiz für kurzfristige intensive Quellensuche

³⁾ Bei einer geringen Sporenkonzentration (Indiz für Quellensuche) kann eine Beurteilung nur in Kombination mit einer Luftkeimsammlung erfolgen.

A = Konzentration in der Außenluft in Anzahl Sporen/m³,

I = Konzentration in der Innenraumluft in Anzahl Sporen/m³

typ A = Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen wie z.B. Ascosporen, *Alternaria/Ulocladium*, Basidiosporen, *Cladosporium* sp.

ΣP+A = Summe der Sporen vom Typ *Penicillium* und *Aspergillus*

Chaetom = Sporen vom Typ *Chaetomium* sp.

Stachy = Sporen vom Typ *Stachybotrys chartarum*

divers = diverse uncharakteristische Sporen, die nicht dem Typ Ascosporen, Typ *Alternaria/Ulocladium*, Typ Basidiosporen oder *Cladosporium* sp. angehören

C-2.2.3 Bewertung von Staubproben

Bei der Bewertung von Staubproben ist zu berücksichtigen, dass Pilzarten, die häufig bei Feuchteschäden auftreten, entsprechend ihrer Sporenbildung, Sporenverbreitung und Überlebensdauer unterschiedliche Konzentrationen in belasteten Staubproben haben können. Für die Bewertung von Pilzen, die häufig bei Feuchteschäden im Innenraum auftreten und die typischer Weise nicht über die Außenluft in erhöhten Konzentrationen eingetragen werden, ist die Aufstellung von Erfahrungswerten (Hintergrundkonzentrationen) hilfreich.

Die Schimmelpilzkonzentration in Staubproben wird vor allem in den Sommermonaten stark durch die Sporenkonzentration der Außenluft beeinflusst. Die Bildung von Anteilen einzelner Gattungen oder Arten an der Gesamtkonzentration hat dementsprechend nur wenig Aussagekraft, sofern der Einfluss der jahreszeitlichen Außenluft nicht berücksichtigt wird.

Im Jahreslauf sind insbesondere die Konzentrationen von Hefen sowie *Cladosporium* spp. und sterilen Kolonien (ohne Sporenbildung) relativ hohen Schwankungen unterworfen. Der Bereich der normalerweise auftretenden Hintergrundkonzentrationen für diese Gruppen wird daher weit gespannt sein.

Die Konzentrationen von *Aspergillus* spp. und *Penicillium* spp. gelten als relativ stabil im Jahresverlauf. Daher wird der Bereich der normalerweise auftretenden Hintergrundkonzentrationen für diese Gattungen relativ eng sein.

Bei der Beurteilung von Ergebnissen von Schimmelpilzmessungen im Hausstaub muss außerdem die verwendete Methode berücksichtigt werden. So findet man mit Methoden, bei denen der Staub vor der weiteren Analyse gesiebt wird, höhere Konzen-

trationen an Schimmelpilzen, als bei Verwendung von Methoden ohne Siebung.

Die Diskussionen zur am besten geeigneten Methode zur Bestimmung von Schimmelpilzkonzentrationen im Hausstaub sind noch nicht abgeschlossen. Daher können in diesem Leitfaden auch keine Aussagen zu Hintergrundkonzentrationen bzw. Konzentrationen in belasteten Wohnungen gemacht werden.

Für die Erfassung von Schimmelpilzen im Hausstaub gibt es noch keine allgemein anerkannte Methode. Es können daher keine generellen Bewertungshilfen angegeben werden.

Zusammenfassend muss hinsichtlich der Bewertung von Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen nochmals festgehalten werden, dass die in diesem Leitfaden empfohlenen Kriterien und Wertebereiche zur Beurteilung einer Schimmelpilzquelle im Innenraum als vorläufige – wenngleich weitgehend zwischen verschiedenen Gremien auf Bundes- und Länderebene in Deutschland abgestimmte – Vorgehensweisen anzusehen sind. Die Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes wird sich dieses komplexen Themas auch weiterhin widmen und bei neuen Erkenntnissen ggf. eine Ergänzung der hier gemachten Empfehlungen vornehmen.

C-3 Ursachensuche und Sanierungsmaßnahmen

Bei nachweislichem Schimmelpilzwachstum im Innenraum sollten die Ursachen hierfür ermittelt und beseitigt sowie die befallenen Stellen saniert werden. Eine Schimmelpilzsanierung ohne Beseitigung der Ursachen ist nicht sinnvoll, da früher oder später mit einem erneuten Schimmelpilzwachstum zu rechnen ist. Daher ist es unerlässlich, bei der Begehung die Ursachen für das Schimmelpilzwachstum aufzuklären.

C-3.1 Ursachensuche

Voraussetzung für Schimmelpilzwachstum ist in jedem Fall eine erhöhte Feuchte an bestimmten Stellen in der Wohnung. Solche hohen Feuchten können prinzipiell durch folgende Hauptursachen bedingt sein (vgl. auch Tab. 10):

- akute Feuchteschäden durch Rohrbruch, Überschwemmung u.ä.
- Feuchteschäden durch defekte Dächer insbesondere Flachdächer, Dachrinnen und Fallrohre
- Baufeuchte im Neubaufall oder nach Sanierung durch ungenügendes Austrocknen vor Erstbezug oder ungenügende (dem Feuchteanfall nicht angepasste) Lüftung
- erhöhte Feuchte durch ungenügende Abdichtung wie z.B. fehlende Horizontal Sperre (Durchfeuchtung bei Schlagregen, aufsteigende Bodenfeuchte)
- erhöhte Feuchte durch Oberflächentauwasser (Wärmebrücken, hohe Luftfeuchtigkeit) oder, seltener, durch inneren Tauwasserausfall (z.B. an Schichtgrenzen).

Besonders problematisch ist die Durchfeuchtung bei feinporigen Materialien, wie z.B. Sandstein, Holz, Spanplatten oder Isoliermaterial. Bei ihnen wird die materialbegünstigte hohe Feuchtigkeit lange Zeit aufrechterhalten.

Voraussetzung für das Schimmelpilzwachstum im Innenraum ist erhöhte Feuchte, die durch Bauschäden oder falsches Nutzerverhalten entstanden sein kann.

Die Ursache muss unbedingt ermittelt und behoben werden.

Nur im Falle der akuten Feuchteschäden ist die Ursache direkt bekannt. Es sollten so schnell wie möglich Abhilfemaßnahmen eingeleitet werden. Wichtig dabei ist eine ra-

sche und vollständige Trocknung der betroffenen Bereiche um zu verhindern, dass sich Schimmelpilze ansiedeln und wachsen.

Sonstige Feuchteschäden werden meist erst wahrgenommen, wenn bereits Schimmelpilze gewachsen sind und in Form von Verfärbungen (Schimmelpilzflecken) sichtbar werden bzw. eine Geruchsbelästigung vorliegt. In jedem Fall muss die Frage nach den Ursachen gestellt werden und diese müssen durch eine Begehung geklärt werden.

Bei Schimmelpilzwachstum aufgrund von erhöhter Feuchte durch ungenügende Abdichtung liegt eindeutig ein Baufehler vor. Diese Baufehler können u. a. durch Messung des Feuchteprofils mit Hilfe von Tiefenmesssonden in der Wand nachgewiesen werden (vgl. Tab. 10). Die Schimmelpilze müssen entfernt (vgl. C-3.2) und der Baumangel behoben werden.

Am häufigsten tritt Schimmelpilzwachstum im Zusammenhang mit Tauwasserbildung an Oberflächen auf. In diesem Falle kann die Ursache ebenfalls in einem Baumangel (z.B. Wärmebrücken) liegen; es können aber auch falsches Nutzerverhalten oder eine Kombination beider Ursachen vorliegen. Aus mietrechtlicher Sicht ist daher die Abklärung der Ursachen von entscheidender Bedeutung.

Schimmelpilzschäden aufgrund von Tauwasserbildung an Oberflächen treten oft in Gebäuden auf, die nachträglich saniert worden sind, um eine bessere Wärmedämmung zu erreichen (dichte Fenster, Wanddämmungen) oder die bereits entsprechend den aktuellen Wärmeschutzvorschriften gebaut worden sind. Durch die erhöhte Dichtigkeit der Fenster wird der natürliche Luftaustausch reduziert. Die im Raum entstehende Feuchtigkeit muss in diesen Wohnungen durch vermehrtes Lüften abgeleitet werden (vgl. B-2). Bei manchen sehr dichten

Tabelle 10: Merkmale unterschiedlicher Feuchtigkeitsprobleme

Eine Unterscheidung der unterschiedlichen Feuchtigkeitsprobleme ist anhand von einzelnen Merkmalen nicht möglich, sondern nur in der Zusammenschau mehrerer Merkmale.

	Tauwasserbildung	Vertikal aufsteigende Feuchtigkeit	Horizontal eindringende Feuchtigkeit
Ursachen	Tauwasserbildung an kühlen Oberflächen (z.B. Wärmebrücken, vgl. B-2.1)	Gebäude steht auf nassem Grund, hat keine ausreichende Feuchtigkeitsabspernung und Wandmaterial mit Kapillareigenschaften	An der Außenwand anstehende Feuchtigkeit dringt auf Grund fehlender Abdichtung in die Wand ein
Ort und Zeitpunkt des Auftretens	An den Außenwandecken und -kanten in der kälteren Jahreszeit. (in Kellerräumen im Sommer siehe C-1.1) Nur in speziellen Fällen an Innenwänden (Kaltwasserrohre ohne Isolierung).	In der Bodenplatte, in Außenmauern und innen liegenden Mauern bei hohem Grundwasserspiegel oder Staunässe.	An Außenwänden häufig bei nicht sachgemäßer Ableitung von Regenwasser
Salz-(auch Nitrat-)ausblühungen an Tapeten oder Wandproben	Nein	Ja ¹⁾	Möglich, bei anhaltenden Schäden
Schimmelbildung	Häufig Schimmelflächen können zeitweise (Sommer) relativ trocken sein, daher oft Entwicklung xerophiler Schimmelpilze (vgl. A-1)	Tritt bei verfügbaren Nährstoffquellen auf. Wird aber ggf. von einer zunehmenden Versalzung überdeckt.	Tritt bei verfügbaren Nährstoffquellen auf. Wird aber ggf. von einer zunehmenden Versalzung überdeckt
Schimmelbildung verstärkt hinter Bildern und Möbeln an Außenwänden oder in Außenwandecken sichtbar	In der Regel ja	Nein (kein primärer Zusammenhang ³⁾)	Nein (kein primärer Zusammenhang ³⁾)
Feuchtigkeit in verschiedenen Wandbereichen (unter Benutzung von Tiefenmess-Sonden)	Hohe Feuchtigkeit an der Wandoberfläche, niedrige im Inneren der Wand ²⁾	Abnehmender Feuchtegradient von tiefer liegenden Wandbereichen zu höher liegenden Wandbereichen. Kein Feuchtegradient zwischen Maueraußenseite und Mauerinnenseite.	Häufig Feuchtegradient von der Maueraußenseite zur Innenseite
Einfluss zusätzlicher Wasserdampfquellen (z.B. häufiges Wäschetrocknen)	Ja	Nicht durch Wasserdampf beeinflusst ³⁾	Nicht durch Wasserdampf beeinflusst ³⁾

- 1) Aufsteigende Feuchtigkeit, die z.B. aus einer Betonrohdecke als Restbaufeuchte aufsteigt, muss nicht unbedingt zu Salzablagerungen führen.
- 2) Feuchtigkeit im Wandinnern kann auf Tauwasserbildung zurückzuführen sein. Die Innenwandflächen zweischaliger Wände sind aber normalerweise trocken.
- 3) Durch den Feuchteschaden kann sich Wasserdampf entwickeln und so Tauwasserprobleme verursachen. Außerdem entsteht durch die Durchfeuchtung eine höhere Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe und damit eine Absenkung der Oberflächentemperatur. Daher kann es vermehrt zu Tauwasserbildung kommen.

Konstruktionen und Nutzeraktivitäten mit hoher Feuchtigkeitsabgabe muss über eine technische Lösung zur Regelung der Lüftung nachgedacht werden, da die Feuchtigkeit auch durch mehrmaliges kurzzeitiges Lüften nicht ausreichend abgeleitet werden kann (z. B. Bäder mit indirekter Belüftung; vgl. B-2.3).

Langzeitmessungen der Temperatur und der Feuchtigkeit in der Raumluft (Datenlogger) und an der befallenen Stelle (elektrische Baufeuchtemessung) können Auskunft geben, in welchen Situationen kritische Kombinationen von Temperatur und Feuchtigkeit entstehen, die zu Schimmelpilzwachstum führen können und wie diese durch die Lüftung und Heizung im Raum beeinflusst werden. Andere weiterreichende Prüfverfahren sind die Endoskopie, die Thermographie, das Blower-Door-Verfahren, die Salzbestimmung im Material, die gravimetrische Material-Feuchtegehaltsbestimmung und die Tracergas-Technik. Eine Beschreibung einiger dieser Verfahren findet sich z.B. im Bericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg zu Schimmelpilzen in Innenräumen (siehe Anhang 2, S. 73). Bei Vorliegen der entsprechenden Bauunterlagen kann berechnet werden, ob es zu einer Taupunktunterschreitung kommen kann und eine Wärmebrücke vorliegt.

Früher waren die Fenster diejenigen Bauteile mit dem höchsten Wärmeverlust und der stärksten Abkühlung (kälteste Bauteile) in der Wohnung. War die Luft im Innenraum zu feucht, machte sich dies durch Tauwasserbildung an den Fenstern bemerkbar und man wusste, dass vermehrt gelüftet werden muss. Nach dem Einbau von dichten Fenstern, ist der kälteste Punkt in der Wohnung nicht mehr die Fensterscheibe, sondern andere Bereiche im Raum (z.B. Außenwände und speziell Außenecken). Kommt es dort zu Tauwasserbildung wird dies oft erst bemerkt, wenn sich bereits Schimmelpilze ausgebreitet haben.

INFOBOX
Eigenkontrolle mit
Thermo-Hygrometer

Einfache elektronische Thermo- und Hygrometer, die im Handel erhältlich sind, liefern zwar keine exakten Messwerte, eignen sich wegen ihrer Kostengünstigkeit und einfachen Handhabung dennoch zur Eigenkontrolle in Wohnungen.

Werden sie an der Wand aufgehängt, die von Schimmelpilzbefall betroffen ist, kann der interessierte Raumnutzer selbst beobachten, wie sich die Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Laufe des Tages und bei unterschiedlichen Aktivitäten (z.B. Wäsche trocknen) ändert. Außerdem kann der Erfolg von Lüftungs- oder Heizungsmaßnahmen direkt verfolgt werden. Die relative Luftfeuchte sollte dauerhaft nicht höher als 65–70 % (an der Materialoberfläche unter 80 %) liegen.

Solche Messungen können jedoch auf Grund der nicht exakten Messwerte genaue Untersuchungen durch Fachleute nicht ersetzen.

Wird vorschriftsmäßig nach DIN 4108 gebaut bzw. wärmegeklärt, so dürfen diese kältesten Bereiche im Raum bei „normaler Raumnutzung“ keine Probleme mit Tauwasserbildung aufweisen. Probleme ergeben sich jedoch aus folgenden Gründen:

- Es sind Wärmebrücken vorhanden, da die Vorgaben der DIN 4108 nicht erfüllt sind (Baufehler).
- Die Raumnutzung (Heizung, Lüftung, Luftfeuchtigkeit) entspricht nicht den in der DIN angenommenen Normalverhältnissen (20 °C, 50 % Luftfeuchtigkeit im Raum).
- Durch dichte Möblierung an Außenwänden werden diese im Winter von der war-

men Heizungsluft abgeschnitten und kühlen daher ab.

- Schimmelpilzwachstum tritt nicht erst bei sichtbarer Tauwasserbildung auf, sondern bereits bei anhaltender Luftfeuchte an der Materialoberfläche (ca. 80 %) (vgl. B-2).

INFOBOX

Schimmelpilzbefall in Mietwohnungen

Schimmelpilzbefall einer Mietwohnung wird von den Gerichten als Mietmangel anerkannt. Über die Ursache des Schimmelpilzbefalls entsteht in der Praxis häufig Streit, der am Ende oft vom Gericht – nach Anhörung von Sachverständigen – entschieden werden muss.

Eine Schimmelpilzbelastung in Innenräumen stellt in jedem Fall ein hygienisches Problem dar (siehe Abschnitt C-2). Eine Gesundheitsbelastung ist nicht auszuschließen. Aus Gründen der Gesundheitsvorsorge sollten daher, möglichst im gegenseitigen Einvernehmen zwischen Mieter und Vermieter, die Schäden angemessen behoben werden. Bei ärztlichen Attesten von gesundheitlichen Beschwerden aufgrund einer Schimmelpilzbelastung ist es wichtig, dass die Diagnose einen plausiblen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und der Schimmelpilzbelastung erkennen lässt.

Die o.g. Hinweise können im Einzelfall eine konkrete Rechtsberatung nicht ersetzen. Bei Zweifeln über die Rechtslage und die bestehenden Rechte und Pflichten sollten sich Mieter und Vermieter daher am besten frühzeitig rechtlich beraten lassen. Beratungsstellen, wie z.B. Mietervereine oder Haus- und Grundeigentümerversammlungen, können hier Hilfestellung leisten.

Alle diese Ausführungen zeigen die Komplexität der Probleme bei der Suche nach der Ursache eines Schimmelpilzwachstums in Innenräumen. Die Begehung muss daher unbedingt durch Sachverständige, die auf bauphysikalische Probleme spezialisiert sind, in Zusammenarbeit mit einem mykologischen Labor durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Ursachensuche (Baufehler oder Nutzerfehlerverhalten) sind nicht nur für die Sanierungsmaßnahmen von größter Wichtigkeit, sondern haben auch mietrechtliche Konsequenzen.

C-3.2 Sanierung

Schimmelpilzwachstum im Innenraum stellt ein hygienisches Problem dar, das aus Vorsorgegründen nicht toleriert werden kann. Bei nachweislichem Schimmelpilzwachstum im Innenraum müssen fachgerechte Sanierungsmaßnahmen zur Beseitigung der Schimmelpilze durchgeführt werden. Eine Beseitigung des Schimmelpilzbefalls hat aber nur dann Sinn, wenn zuvor die Ursachen geklärt werden. Ohne diese Klärung und die Behebung der Ursachen, die zu einem Wachstum geführt haben, ist ein erneuter Befall vorprogrammiert.

C-3.2.1 Kurzfristige Maßnahmen

Wenn nicht sofort mit den Sanierungsmaßnahmen begonnen werden kann, ist zu prüfen, ob die befallenen Stellen übergangsweise möglichst ohne Staubverwirbelung gereinigt und desinfiziert werden können (z.B. mit 70 %-igem Ethylalkohol bei trockenen Flächen und 80 %-igem Ethylalkohol bei feuchten Flächen) oder ob es Möglichkeiten gibt, die befallenen Stellen übergangsweise abzudecken oder abzuschotten. Auch für diese vorübergehenden Maßnahmen müssen die unten (C-3.2.2) beschriebenen Schutzmaßnahmen beachtet werden.

Die Verwendung der häufig zitierten Essiglösung ist meist nicht sinnvoll, da viele Baustoffe und insbesondere Kalk eine Neutralisation bewirken und außerdem mit dem Essig organische Nährstoffe auf das Material gelangen. Die Verwendung von Fungiziden im Innenraum wird ebenfalls nicht empfohlen.

Durch gezieltes Lüften und Heizen der befallenen Stelle kann die Feuchtigkeit reduziert und ein weiteres Schimmelpilzwachstum eingeschränkt werden. Diese Maßnahme darf jedoch nur durchgeführt werden, wenn zuvor bereits vorhandene Schimmelpilzsporen entfernt worden sind, um hohe Konzentrationen in der Raumluft sowie die Entstehung von Sekundärquellen zu vermeiden.

Durch vermehrtes Lüften und Heizen sowie durch ein Abrücken der Möbel von Außenwänden kann die Gefahr von Taupunktunterschreitungen im Raum verringert und damit einem weiteren Schimmelpilzwachstum vorgebeugt werden. Auch diese Maßnahme ist nur sinnvoll, wenn zuvor bereits vorhandene Schimmelpilzsporen entfernt worden sind.

C-3.2.2 Langfristige Maßnahmen

Grundvoraussetzung für den Erfolg einer Sanierung ist die Beseitigung der Ursachen, die zu dem Auftreten des Schimmelpilzwachstums geführt haben. Bauseitige Schäden sind zu beheben und die Raumnutzer darüber aufzuklären, wie in Zukunft ein Schimmelpilzwachstum vermieden werden kann.

Die Sanierung von schimmelpilzbefallenen Materialien muss das Ziel haben, die Schimmelpilze vollständig zu entfernen. Eine bloße Abtötung von Schimmelpilzen reicht nicht aus, da auch von abgetöteten Schimmelpilzen allergische und reizende Wirkungen ausgehen können (vgl. A-2).

Bei **glatten Oberflächen** (Metall, Keramik, Glas) kann eine Entfernung mit Wasser und normalem Haushaltsreiniger erfolgen.

Befallene **poröse Materialien** (Tapete, Gipskartonplatten, poröses Mauerwerk, poröse Deckenverschalungen) können nicht gereinigt werden. Leicht ausbaubare Baustoffe wie Gipskartonplatten oder leichte Trennwände sind auszubauen und zu entfernen. Schimmelpilze auf nicht ausbaubaren Baustoffen sind vollständig (d. h. auch in tiefer liegenden Schichten) zu entfernen.

Bei **Holz** ist prinzipiell zwischen der sogenannten Holzbläue (oberflächlicher Befall während der Holzverarbeitung ausgelöst durch den Pilz *Aureobasidium pullulans*) und dem aktiven Schimmelpilzwachstum aufgrund eines akuten Feuchteschadens mit starker Sporenbildung der Schimmelpilze zu unterscheiden. Bei normaler Holzbläue besteht gewöhnlich kein Sanierungsbedarf. Aktiv befallenes Holz hingegen ist sehr schwer zu sanieren und muss meist entsorgt werden. In Ausnahmen kann ein oberflächlicher Befall durch Abschleifen entfernt werden.

Befallene **Möbelstücke** mit geschlossener Oberfläche (Stühle, Schränke) sind oberflächlich feucht zu reinigen, zu trocknen und gegebenenfalls mit 80 %-igem Alkohol zu desinfizieren (Brand- und Explosionsgefahr sowie persönlichen Atemschutz beachten).

Stark befallene Einrichtungsgegenstände mit Polsterung (Sessel, Sofa) sind nur selten mit vertretbarem Aufwand sinnvoll zu sanieren und sollten daher im Normalfall entsorgt werden. Befallene Haushaltstextilien (Teppiche, Vorhänge) sind meist ebenfalls nur mit großem Aufwand sachgerecht zu sanieren, so dass je nach Anschaffungskosten eine Entsorgung vorzuziehen ist.

Bei der Sanierung von Schimmelpilzbefall auf Materialien können sehr hohe Konzen-

trationen an Sporen freigesetzt werden. Eine Sanierung sollte daher nur unter geeigneten Sicherheits- und Arbeitsschutzbedingungen von fachlich qualifizierten Personen durchgeführt werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass z.B. für Allergiker oder Vorgeschädigte mit chronischen Erkrankungen der Atemwege sowie für Personen mit geschwächtem Immunsystem ein gesundheitliches Risiko nicht ausgeschlossen werden kann, so dass dieser Personenkreis keine Sanierungsarbeiten durchführen sollte.

Der Sanierungsaufwand muss dem Ausmaß des Schadens und der Art der Raumnutzung angepasst werden. Dabei spielen u.a. folgende Gesichtspunkte eine Rolle:

- Größe der befallenen Fläche
- Stärke des Befalls (einzelne Flecken oder dicker Schimmelbelag)
- Tiefe des Befalls (oberflächlich oder auch in tieferen Schichten)
- Vorkommende Schimmelpilzarten (Allergierisiko, Infektionsrisiko, Toxine)
- Art der befallenen Materialien (auf ausbaubaren Materialien oder im Mauerwerk)
- Art der Nutzung (Lagerraum, Wohnraum, Kindergarten, Krankenhaus).

Mit Hilfe dieser Kriterien ist mit Sachverständigen eine Gesamteinschätzung vorzunehmen. Anschließend sind die sich daraus ableitenden Schutzmaßnahmen bei der Sanierung zu formulieren.

Sanierungsarbeiten kleineren Umfangs

(z.B. nur oberflächlicher Befall, befallene Fläche nicht größer als ca. 0,4 m², keine Bauwerksmängel), bei denen kein Risiko für gesunde Personen zu erwarten ist, können im allgemeinen ohne Beteiligung von Fachpersonal durchgeführt werden, wobei die Inanspruchnahme einer vorherigen fachlichen Beratung zu empfehlen ist.

Beispielhaft ist dabei folgende Vorgehensweise anwendbar:

Befallene Tapeten bzw. Silikonfugen können entfernt, oberflächlich befallene Stellen feucht abgewischt oder mit einem Staubsauger mit Feinststaubfilter (HEPA-Filter) abgesaugt sowie mit 70–80 %-igem Ethylalkohol unter Beachtung der Brand- und Explosionsgefahr (nur kleine Mengen verwenden, gut lüften, nicht rauchen, kein offenes Feuer) sowie der Anforderungen des Arbeitsschutzes (Schutzhandschuhe, Mundschutz, Schutzbrille) behandelt werden. Nach der Sanierung ist eine Entfernung von Feinstaubpartikeln (Feinreinigung) in der Umgebung der sanierten Stellen vorzunehmen. Die bei der Sanierung anfallenden, mit Schimmelpilzen belasteten Abfälle, können in Plastikbeutel verpackt mit dem Hausmüll entsorgt werden.

Schutzmaßnahmen bei Sanierungsmaßnahmen kleineren Umfangs:

Schimmelpilze nicht mit bloßen Händen berühren – Schutzhandschuhe tragen.

Schimmelpilzsporen nicht einatmen – Mundschutz tragen.

Schimmelpilzsporen nicht in die Augen gelangen lassen – Staub-Schutzbrille tragen*.

Nach Beendigung der Sanierung duschen und Kleidung waschen.

* Schimmelpilze können allergische Reaktionen im Auge auslösen.

Umfangreichere Sanierungsarbeiten sollten von gewerblichen Firmen durchgeführt werden. Hierzu sind Firmen zu beauftragen, die mit solchen Sanierungsarbeiten, den hierbei auftretenden Gefahren, den erforderlichen Schutzmaßnahmen und den zu beachtenden Vorschriften und Empfehlungen vertraut sind. Eine Auswahl wichtiger Arbeitsschutzvorschriften ist in der INFO-BOX enthalten.

Wichtig ist dabei, dass nicht nur die Sanierer, sondern auch die Bewohner bei der Beseitigung des Schimmelpilzbefalls durch geeignete Schutzmaßnahmen vor Schimmelpilzexposition geschützt werden. Dabei muss auch der Gesundheitszustand der Nutzer (Gesunde, Allergiker, Immunsupprimierte) berücksichtigt werden.

Außerdem muss verhindert werden, dass sich Schimmelpilze durch die Sanierungsmaßnahmen in andere Bereiche der Räume oder Gebäude ausbreiten und dort eventuell zu neuen Problemen führen. Auf jeden Fall sind Lebensmittel und andere Gegenstände wie Kinderspielzeug und Kleidung vor der Sanierung aus dem Raum zu entfernen.

Bei größeren Schimmelpilzschäden sollten die befallenen Bereiche staubdicht abgeschottet werden oder andere Maßnahmen ergriffen werden, um die Ausbreitung von Schimmelpilzsporen zu minimieren. Nach lokaler Beseitigung des Schimmels sind die Feinstaubpartikel in der Umgebung der sanierten Stellen zu entfernen („Feinreinigung“). Nach Abschluss der Sanierung sollte eine „Freimessung“ zum Nachweis, dass keine erhöhten Schimmelpilzkonzentrationen (vgl. Tab. 8) mehr vorliegen, vorgenommen werden.

Schutzmaßnahmen bei Sanierungsmaßnahmen durch gewerbliche Firmen:

Schimmelpilze dürfen bei der Sanierung nicht in andere Bereiche verteilt werden.

Der Schutz des Personals und der Raumnutzer vor Schimmelpilzexpositionen muss durch geeignete Maßnahmen (Arbeitsschutzmaßnahmen, staubdichte Abschottung) sichergestellt werden.

INFOBOX

Wichtige Arbeitsschutzmaßnahmen bei Sanierungsmaßnahmen durch gewerbliche Firmen

Tätigkeiten, bei denen Arbeitnehmer Belastungen mit Schimmelpilzen und Actinomyceten ausgesetzt sind, sind als – nicht gezielte – Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in die Risikogruppe 1 und 2 gemäß Biostoffverordnung einzustufen. Außerdem liegt eine Gefährdung durch sensibilisierende Gefahrstoffe vor, da Schimmelpilz- und Actinomycetenhaltiger Staub als sensibilisierender Gefahrstoff eingestuft ist

Zu berücksichtigen sind z.B. die Anforderungen der folgenden Regelungen:

- Biostoffverordnung
- TRBA 400 (Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen),
- TRBA (Technische Regel Biologische Arbeitsstoffe) 460 (Einstufung von Pilzen in Risikogruppen),
- TRBA 461 (Einstufung von Bakterien in Risikogruppen),
- TRBA 500 (Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen),
- TRGS (Technische Regel Gefahrstoffe) 540 (Sensibilisierende Stoffe),
- TRGS 524 (Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen),
- TRGS 907 (Verzeichnis sensibilisierender Stoffe).

Eine ausführliche methodische Beschreibung der gewerblich anzuwendenden Sanierungsverfahren ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Die genannten Maßnahmen und Hinweise erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sind eine Orientierungshilfe für das allgemeine Vorgehen bei einer

Sanierung. Im konkreten Einzelfall muss das Vorgehen unter Umständen variiert werden.

Beim Wiederaufbau von sanierten Flächen können einige einfach zu realisierende

Maßnahmen einem erneuten Schimmelpilzbefall entgegenwirken. Dazu gehören die Verwendung von Kalk- oder Silikatfarben statt Kunststofffarben oder Lacken sowie der Verzicht auf Tapeten bis zum vollständigen Abtrocknen.

Teil D Fallbeispiele

Das Fallbeispiel 1 zeigt den häufigen Fall, dass bei Vorhandensein einer Schimmelpilzquelle sehr hohe Konzentrationen von Schimmelpilzen in der Raumluft nachgewiesen werden können.

Die Fallbeispiele 2 und 3 belegen, wie wichtig eine fachkundige Ortsbegehung ist. Einzelne Messungen der Gesamtkoloniezahl (KBE/m³) in der Raumluft können zu falschen Schlussfolgerungen führen. Bei deutlich erkennbarem Schimmelpilzwachstum ist eine Untersuchung der Raumluft normalerweise nicht notwendig (vgl. C-1).

Das Fallbeispiel 4 zeigt anhand eines älteren Schadensfalls mit nicht fachgerechter Sanierung, wie bei Vorliegen guter Fachkenntnisse auch kompliziertere Sachlagen bewertet werden können. Dieses Beispiel belegt auch, dass gerade bei solchen Schäden die Bestimmung der Gesamtsporenzahl wichtige Hinweise geben kann.

Das letzte Fallbeispiel weist daraufhin, dass es wichtig ist, die Beschwerden der Raumnutzer ernst zu nehmen, auch wenn die ersten Untersuchungsergebnisse gegen eine Schimmelpilzbelastung sprechen. Der Einsatz eines Schimmelpilzhundes konnte in diesem Fall wichtige Hinweise zur Lokalisation einer Schimmelpilzquelle geben.

Fallbeispiel 1: Autohaus

Beschwerden:

Personal und Kunden eines Autohauses beschwerten sich über einen „modrigen“ Geruch. Es wird berichtet, dass der Geruch im Verkaufsraum des im April 1999 fertiggestellten Gebäudes seit August 1999 immer intensiver geworden sei.

Ergebnis der Ortsbesichtigung (November):

Eingeschossiges Stahl-Glas-Gebäude, mit Elektro-Flachheizkörpern ausreichend beheizt, Klimageräte im oberen Fensterbereich nicht in Betrieb. Zwischen großen Stahlträgern bilden Trapezbleche mit ca. 6 cm Bodenabstand den Träger für den Bodenaufbau; Bleche sollen mit PE-Folie als Dampfsperre belegt und mit Alutape verklebt sein; darüber mineralische Ausgleichschüttung, dann Spanplatte (19 mm); darauf Verbundelemente mit Spanplatte (24 mm) und Fermacell-Dämmung (40 mm); den oberen Abschluss bildet Parkett (Buche).

Beim Betreten wird sofort ein modriger Geruch (Gewächshaus-ähnlich) wahrgenommen; keine weiteren Auffälligkeiten.

Bisherige Maßnahmen: Anbringen von belüfteten Drainagerohren unter dem gesamten Bau. Dabei wurde eine starke Nässebildung auf den Stahlteilen festgestellt.

Bisherige Messungen: Formaldehyd – negativ, Feuchtegehalt der Spanplatten im Bereich des Eingangs und der Sanitärräume – unauffällig (8–9%).

Ergebnis: Verdacht auf Schimmelpilzbefall

Untersuchungen (November):

Raumluft-Analysen zeigen ein Innen-zu-Außen-Verhältnis für die Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze von ca. 3000 KBE/m³ zu 900 KBE/m³ und für *Aspergillus* sp. von ca. 2000 KBE/m³ zu 10 KBE/m³. Die Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze in einer Luftprobe aus der Revisionsöffnung im Sanitärbereich beträgt 12.400 KBE/m³.

Im Vergleich mit Hintergrundbelastungen, die mit der gleichen Methode erhalten wurden (Raumluftuntersuchungen in natürlich belüfteten Bürogebäuden Deutschlands; n=307; Messjahreszeit Winter: Median der Pilzsporenkonzentrationen in der Raumluft

= 40 KBE/m³, Spannweite = 10 – 720 KBE/m³, 95-er Perzentil (P95) = 260 KBE/m³, sind die Messwerte gegenüber P95 um das 10fache (Raumluft) bzw. 47fache (Revisionsöffnung) erhöht. Gleichzeitig lassen extreme Konzentrationen an *Aspergillus* sp. in der Luft der Revisionsöffnung (12.200 KBE/m³) ein massives Wachstum dieser Gattung in der Bodenkonstruktion vermuten.

Die Analyse von sedimentiertem Staub weist erhöhte Konzentrationen von kultivierbaren Schimmelpilzsporen, besonders *Aspergillus*-, *Cladosporium*- und *Penicillium*-Sporen auf.

Die Analyse von Material der Bodenkonstruktion zeigt ein massives Vorkommen an *Aspergillus*- und *Penicillium*-Sporen.

Wochenprofile von Temperatur und relativer Feuchte zeigen im Verkaufsraum einen der Jahreszeit entsprechenden normalen Verlauf für natürlich belüftete Gebäude. Die in der Revisionsöffnung gemessenen Feuchten liegen bei Werten > 95 % und bestätigen damit ideale Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze.

Bewertung:

Aufgrund der ermittelten Schimmelpilzsporenkonzentration, insbesondere von *Aspergillus*-Sporen, ist von einer starken Belastung der Nutzer auszugehen. Die Untersuchungen in der Revisionsöffnung weisen auf eine Quelle in der Bodenkonstruktion hin.

Empfehlung: Es sollte eine baugutachterliche Analyse und anschließende Sanierung der gesamten Bodenkonstruktion, ggf. Ersatz durch eine andere konstruktive Lösung erfolgen.

Maßnahmen und Ergebnis:

Aufgrund der durch ein Baugutachten nachgewiesenen Durchfeuchtung der Spanplatten war deren Wiederverwendung im Fuß-

bodenaufbau nicht möglich. Der vorhandene Fußbodenaufbau wurde bis zum tragenden Trapezblech entfernt und entsorgt. Ein neuer Fußbodenaufbau erfolgte nach Sanierungsvorschlägen des Baugutachters u.a. mit einer dampfdichten horizontalen Sperrung, Einbau von Spanplatten mit Wärmedämmung zur Verhinderung von Tauwasserbildung und Dämmung der Stahlträger zur Verminderung der Wärmebrückenbildung und Gefahr der Kondenswasserbildung.

Ein Vergleich der Ergebnisse der Untersuchungen vor und nach Rekonstruktion des Fußbodens zeigte, dass sich die durchgeführten Maßnahmen positiv auf die mikrobielle Belastung des Innenraums des Autohauses ausgewirkt haben. So wiesen die nach Sanierung durchgeführten Raumluft-Analysen ein Innen-zu-Außen-Verhältnis für die Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze von 110–190 KBE/m³ zu 200 KBE/m³ und für *Aspergillus* sp. von 10–20 KBE/m³ zu 20 KBE/m³ auf. Die quellennah (Revisionsöffnung im Sanitärbereich) durchgeführten Untersuchungen ergaben für die Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze 150 KBE/m³ und für *Aspergillus* sp. 20 KBE/m³.

Fallbeispiel 2: Schule A

Vorgeschichte:

In einer Grundschule war es durch Undichtigkeit des Flachdaches über ein Jahr lang wiederholt zum Wassereintritt mit Durchfeuchtung und Schädigung der Bausubstanz, Kondenswasserbildung auf Oberflächen und nachfolgender Schimmelpilzbesiedlung gekommen. Dazu führte die ungünstigerweise unterhalb des Straßenniveaus liegende Abwasserableitung des Gebäudes wiederholt zu einem retrograden Wasseraustritt aus den Waschbecken und zur Durchfeuchtung des Bodens und boden-

naher Wandbereiche. Verstärkt wurde die Problematik durch unzureichendes Lüftungsverhalten.

Beschwerden:

Von den acht in der Schule tätigen Lehrern klagten vier über Reizerscheinungen an den Schleimhäuten von Augen, Nase und Rachen, über Kopfschmerzen, verstärkte Müdigkeit und Häufungen erkältungsähnlicher Symptome. Vereinzelt wurden auch von den Schüler/innen gehäufte rhinitische und bronchitische Symptome angegeben. Eine Allergie-Testung bei zwei der vier betroffenen Lehrer hatte neben Sensibilisierungen u.a. Sensibilisierungen (Typ I) gegen verschiedene Schimmelpilze, darunter *Aspergillus*, *Penicillium* und *Cladosporium*, ergeben.

Ortsbesichtigung

Bei der Ortsbegehung zeigten sich in mehreren Räumen Teile der Decke und der angrenzenden Wand infolge des Wassereintritts im Bereich der Dachwasserabflüsse durchfeuchtet. Teilweise war der Putz abgelöst. In einigen Bereichen war deutlich erkennbares Schimmelpilzwachstum vorhanden. Auch die Außenwand einiger Räume wies teilweise feuchte Flecken mit blasiger Abhebung der Tapete auf. Vereinzelt fanden sich Schulbücher mit angeschimmelten Blatträndern.

Untersuchungen

In ausgewählten Räumen wurden Luftmessungen auf Schimmelpilzsporen durchgeführt. Die Innenraumluft-Konzentrationen an Schimmelpilzsporen lagen durchweg niedriger (zwischen 50 und 150 KBE/m³) als die in der Außenluft (240 KBE/m³) gemessenen Sporenkonzentrationen, wobei erwartungsgemäß innen (überwiegend *Aspergillus*, *Penicillium* und *Cladosporium*) und außen (überwiegend *Alternaria* und *Cladosporium*) ein etwas unterschiedliches Artenspektrum vorhanden war. Zum aktuellen Messzeitpunkt war also nicht von einer erheblichen Innenraumluftbelastung auszugehen.

Bewertung:

Die Messung der Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze in der Innenraumluft ergab keine erhöhten Konzentrationen. Die Verschiebung der Artenzusammensetzung im Vergleich zur Außenluft gab aber einen ersten Hinweis auf eine Schimmelpilzquelle im Innenraum.

Empfehlung: Es sollte eine Sanierung erfolgen, da bei der Ortsbegehung deutlich erkennbares Schimmelpilzwachstum gefunden wurde.

Maßnahmen:

Als langfristig wirksame Lösungsansätze zur Behebung des Schimmelpilzbefalls wurde ein neuer Kanalschluss ohne Rücklaufmöglichkeit in das Gebäude und der Ersatz des Flachdaches durch ein Neigungsdach beschlossen.

Kurzfristig wirksame Maßnahmen bis zur Umsetzung dieser aufwendigen Schritte umfassten die konsequente Raumlüftung mit einem geeigneten Lüftungsmodus, die oberflächliche Entfernung sichtbaren Schimmelpilzbewuchses, die Abschottung einzelner befallener Flächen gegenüber der Raumluft, die vorübergehende Nichtbenutzung des am stärksten betroffenen Raumes, Maßnahmen zur Verbesserung des Dachwasserabflusses sowie die Aussonderung angeschimmelter Schulbücher.

Fallbeispiel 3: Kindergarten

Vorgeschichte:

In einem Kindergarten war es durch Undichtigkeiten im Bereich des Flachdaches zu Wassereintritt gekommen. Auch nach Aufsetzen eines Neigungsdaches und Entfernung des oberflächlich sichtbaren Schimmelpilzwachstums in den Räumen blieb ein muffig-modriger Geruch bestehen.

Beschwerden:

Die Kindergärtnerinnen klagten gehäuft über Kopfschmerzen. Allergologische Untersuchungen gaben keinen Nachweis von Sensibilisierungen gegen Schimmelpilze.

Ortsbesichtigung:

Bei der Begehung wurde kein äußerlich sichtbares Schimmelpilzwachstum festgestellt. Unter der abgehängten Holzdecke fand sich jedoch im Dämmmaterial (Steinwolle) massives Schimmelpilzwachstum. Dabei handelte es sich vorherrschend um verschiedene *Penicillium*-Arten. Offensichtlich war bei der Sanierung des Flachdaches das kontaminierte Dämmmaterial belassen worden und hatte aufgrund der mangelnden Möglichkeit zur Austrocknung einem weiteren Schimmelpilzwachstum Vorschub geleistet.

Untersuchungen:

Orientierende Raumluftmessungen auf Schimmelpilzsporen ergaben niedrige Luftkonzentrationen (unter 20 KBE/m³).

Bewertung:

Die Messung von kultivierbaren Schimmelpilzen in der Innenraumluft hatte keine erhöhten Konzentrationen ergeben. Bei der Ortsbegehung war jedoch deutlich erkennbares Schimmelpilzwachstum im Dämmmaterial gefunden worden.

Empfehlung: Es sollte eine Sanierung erfolgen.

Maßnahmen und Ergebnis:

Nach der Entfernung des Isoliermaterials gingen auch die gesundheitlichen Beschwerden zurück.

Fallbeispiel 4: Verbindungsflur mit Altschaden

Vorgeschichte:

Aufgrund gesundheitlicher Beschwerden und dem Auftreten von „Stockflecken“ in einem Verbindungsflur wurde ein Gutachten zum Vorkommen von Schimmelpilzen in einer Dachtagenwohnung erstellt. Dabei wurden erhöhte Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft und die Besiedlung der linken Wandfläche im Verbindungsflur festgestellt. Insbesondere wurden neben den Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus* auch die Arten *Stachybotrys chartarum* und *Chaetomium globosum* nachgewiesen. Aufgrund der Ergebnisse dieses Gutachtens wurde die Wohnung vom damaligen Mieter fristlos gekündigt. Der Vermieter konnte nach eigenen Angaben keine Anzeichen für eine Schimmelpilzbesiedlung in der Wohnung feststellen und bezweifelte die Richtigkeit der Ergebnisse des ersten Gutachtens.

Vom Vermieter wurden daher erneute Raumluftuntersuchungen und Oberflächenbeprobungen an den gleichen Probenahmestellen und mit vergleichbaren Messgeräten wie im ersten Gutachten in Auftrag gegeben. Ziel der Untersuchungen war es, festzustellen, ob tatsächlich eine Schimmelpilzbelastung insbesondere durch Sporen der Pilzgattungen *Stachybotrys* und *Chaetomium* vorlag.

Ortsbesichtigung:

Die Wohnung im Dachgeschoss verfügte über 7 Zimmer, einer Küche, zwei Badezimmer/WC und einer Terrasse. Der Fußboden war zum Teil mit Teppichboden und zum Teil mit Parkett ausgestattet. Die Wände waren mit Gipskartonplatten verkleidet. Sie sahen wie neu gestrichen aus, da sie weder Staubkanten noch andere Abnutzungsspuren zeigten. Schimmelpilzschäden waren nicht sichtbar, und es konn-

te auch kein auffälliger Geruch festgestellt werden.

An der linken Wand des Verbindungsflurs, die im ersten Gutachten als Schimmelpilz-belastet beschrieben worden war, fanden sich keine Hinweise auf Schimmelpilz-wachstum oder Feuchtigkeit. Nach Entfernen der Scheuerleiste zeigten sich Fugen zwischen Wand und Boden, so dass die Trittschalldämmung im Anschlussbereich sichtbar wurde. Diese Dämmung (Mineralwolle) war mit einem feinpulverigen schwarzen Staub durchsetzt. Die linke Flurwand war gleichzeitig die Innenwand der Küche. An dieser Wand befand sich eine Einbauküche. Die Wandoberfläche hinter der Küchenzeile war nicht einsehbar, da die Elemente der Küchenzeile mit Rückwänden zur Wand verschlossen waren und eine Sockelleiste die Küchenzeile zum Fußboden abschloss. Nach Entfernung der Sockelleiste wurde eine starke Verschimmelung des unteren Wandbereiches bis ca. 40 cm Höhe sichtbar, insbesondere an der Oberfläche in der Nähe der Küchenaußenwand. Insgesamt war eine Fläche von ca. 1 m² erkennbar mit Schimmelpilzen bewachsen.

Untersuchungen:

Es wurden Messungen der Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze in der Raumluft des Verbindungsflures durchgeführt. Dabei wurden keine eindeutigen Hinweise auf eine Schimmelpilzbelastung festgestellt (z.B. DG 18-Agar: Außenluft 120 KBE/m³, Innenraumluft 150 KBE/m³).

Bei der Messung der Gesamtsporenzahl in der Raumluft ergab sich jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen der Außenluft und der Innenraumluft. In der Innenraumluft wurden erhöhte Sporenkonzentrationen von *Chaetomium* sp., *Stachybotrys chartarum* und vom Sporentyp *Aspergillus/Penicillium* festgestellt (950 Sporen/m³ vom Typ *Penicillium/Aspergillus*, 60 Sporen/m³ *Chaetomium* und 30 Sporen/m³ *Stachybotrys char-*

tarum; in der Außenluft waren diese Arten nicht nachweisbar).

Außerdem wurden Oberflächenkontaktproben an der Wand im Verbindungsflur entnommen. Sowohl bei der Kultivierung als auch beim direkten Auszählen ergab sich, dass die Wandbereiche im Verbindungsflur mäßig stark mit Sporen der Gattungen *Chaetomium* spp. und *Aspergillus versicolor* bzw. *Penicillium* spp. kontaminiert waren. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch bei der Untersuchung des schwarzen Staubes aus der Mineralwolle. Es wurde jedoch kein Myzel von Schimmelpilzen festgestellt.

Im Küchenwandbereich wurde aktiver Schimmelpilzbewuchs (Myzelbildung) gefunden; hohe Sporenkonzentrationen von Vertretern der Gattungen *Ulocladium*, *Acremonium*, *Penicillium* und der Art *Stachybotrys chartarum* wurden nachgewiesen.

Bewertung:

Die festgestellten Konzentrationen von *Chaetomium* sp. und *Stachybotrys chartarum* sind sehr deutliche Hinweise auf eine Belastung durch Schimmelpilze, da diese Sporentypen nur bei massiven Feuchteschäden nachgewiesen werden können. Weiterhin ist auch die Konzentration von 950 Sporen des Typs *Penicillium/Aspergillus* pro Kubikmeter Probenluft ein ergänzender Hinweis auf einen Schimmelpilzschaden. Das Fehlen von auffälligen Konzentrationen an kultivierbaren Pilzsporen in der Flurluft deutet auf einen Altschaden hin, dessen Sporen nur noch zum geringen Teil keimfähig sind.

Die in der Innenraumluft als auffällig herausgestellten Pilzarten wurden auch an den untersuchten Wandoberflächen und Materialproben nachgewiesen, so dass davon auszugehen ist, dass zumindest ein Teil der in der Raumluft festgestellten Pilzsporen von den untersuchten Wandbereichen freigesetzt wurde. An den untersuchten Wand-

bereichen im Verbindungsflur wurden keine gewachsenen Pilzmyzelien gefunden, aber eine Kontamination mit Pilzsporen, wie sie für an Feuchteschäden angrenzende Bereiche typisch ist.

Die aus dem Fußbodenbereich entnommene Mineralwolle-Probe enthielt dagegen vereinzelt Pilzmyzelien und große Sporenmengen. Insbesondere das Auftreten von *Chaetomium* sp. und *Stachybotrys chartarum* ist für Mineralwolle-Proben sehr ungewöhnlich. Allerdings werden diese Arten sehr häufig auf der Kartonbeschichtung von durchfeuchteten Gipskartonplatten festgestellt. Das Erscheinungsbild vor Ort und das Ergebnis der Mineralwolle-Probe lassen daher vermuten, dass nur ein begrenzter Anteil der festgestellten Sporen tatsächlich an der Mineralwolle gebildet wurde und dass der überwiegende Teil der Sporen in den Spalt zwischen Wand und Fußboden sedimentiert ist.

Es bestätigte sich der Verdacht, das die im ersten Gutachten als verschimmelt bezeichneten Wandbereiche tatsächlich von Schimmelpilzen bewachsen waren und der Schadensbereich vorbeugend mit Wandfarbe und möglicherweise mit Fungiziden überstrichen wurde, so dass eine oberflächliche Schimmelbildung nicht mehr sichtbar war.

Fallbeispiel 5: Schule B

Vorgeschichte:

Durch Lehrer- und Elternschaft wurde die schlechte Raumluftqualität und Formaldehydbelastung in einer Schule bemängelt. Daraufhin wurde der in den 70er-Jahren in Fertigbauweise errichtete Pavillon vom Schulträger grundlegend saniert. Unter Beteiligung einer Fachhochschule wurde unter der Vorgabe der Verwendung geprüfter schadstofffreier, ökologisch unbedenklicher und nachwachsender Materialien ein Konsens zur Sanierung mit allen Beteiligten gefunden und im Jahr 1996 ausgeführt.

Dennoch wurden in der Folgezeit immer wieder Beschwerden geäußert, denen von der Verwaltung durch erneute Untersuchungen in den Räumen nachgegangen wurde. Im April 1998 durchgeführte Untersuchungen ergaben im Innenbereich bei drei Parallelmessungen 20, 70, 110 KBE/m³ und im Außenbereich (zwischen 2 Regenschauern!) 40 KBE/m³. Die Bestimmung der MVOC durch ein ausgewiesenes Labor lieferte den Hinweis auf das Vorkommen eines Schimmelpilzbefalls. Im Juni 1998 ergaben Kontrolluntersuchungen erneut den Hinweis auf MVOC und verdeckten Schimmelpilzbefall. Erhöhte Feuchtigkeit als Ursache für einen Schimmelpilzbefall konnte jedoch nicht ermittelt werden.

Im September 2000 häuften sich Klagen über muffigen Geruch in den Schulklassen. Von 21 Personen gaben 14 einen muffigen, modrigen Geruch und Gesundheitsbeschwerden an. Auf Grund der Beschwerden von Kindern und Lehrern (Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen, Augen tränen und -reizung, Übelkeit, Hautreizungen, Bronchitis, Muffgeruch der Kleidung) wurden erneut Untersuchungen veranlasst.

Im Oktober 2000 wurden im Auftrag des Gesundheitsamtes Raumluftuntersuchungen auf Schimmelpilze durch ein ausgewiesenes Institut durchgeführt mit dem Ergebnis, dass keine erhöhte Belastung der Raumluft (KBE innen: 45–215/m³; außen: 775/m³) vorhanden seien und kein Anhalt für eine wesentliche Schimmelpilzquelle vorliegen würde, dass aber das unterschiedliche Keimspektrum zwischen innen (*Aspergillus fumigatus*, *Alternaria*) und außen den Verdacht auf einen verdeckten Befall und somit einen Feuchteschaden lenken würde. Raumluftmessungen auf VOC im November 2000 ergaben keine auffälligen Befunde (Summe VOC ca. 100 µg/m³).

Als Ursache der Beschwerden und Gerüche wurden mangelnder Luftwechsel, ungenü-

gende Heizung während der Ferienzeit, unzureichend hinterlüftete Möbel sowie Ausdünstungen aus dem Teppichbodenkleber (Phenoxyethanol) vermutet.

Bei einer Begehung wurde in dem Raum mit den meisten Beschwerden ein Aktenschrank mit verschimmelter Rückwand entdeckt und beseitigt. Bei einer Wiederholungsmessung im Februar 2001 wurden keine erhöhten Schimmelpilzkonzentrationen in dem Raum festgestellt. Eine MVOC-Messung im März 2001 ergab keinen eindeutigen Befund, so dass ein verdeckter Befall zwar nicht ausgeschlossen werden konnte, aber als eher unwahrscheinlich angesehen wurde. Gleichzeitig durchgeführte Feuchtigkeitsmessungen im Wand- und Bodenbereich durch einen Sachverständigen ergaben unauffällige Werte. Der Sachverständige schloss das Fundament und die Gebäudesohle als Feuchtequelle und Ursache der Beschwerden im Innenraum aus.

Im Mai 2001 wurden vom Gesundheitsamt Raumluftmessungen auf den Gehalt an CO₂ während des Unterrichts bei geschlossenen Türen und Fenstern durchgeführt. Nach 20 Minuten Unterricht wurden 1500 ppm und nach 40 Minuten 3000 ppm erreicht, ebenso erhöhte sich die relative Luftfeuchtigkeit.

Zusammenfassend wurden die Beschwerden auf ungenügenden Luftwechsel zurückgeführt.

Da die Schulleitung mit Unterstützung der Eltern sich weigerte die Räume zu nutzen, wurde eine abschließende Begutachtung durch das Landesamt erbeten.

Ortsbesichtigung:

Es handelte sich um einen einzeln errichteten Pavillonbau in gutem Bau- und Pflegezustand, am Rande des Schulgeländes. Von dem durch einen baumbestandenen Grünstreifen (ca. 5 m) getrennten, aber in un-

mittelbarer Nachbarschaft liegenden Kindergarten ging eine sehr starke Lärmbelastung aus. Auf Nachfrage gaben die Lehrer an, dass aus Sicherheitsgründen und wegen des Lärms die Fenster meistens geschlossen blieben.

Es ergaben sich keine Hinweise auf Feuchteschäden. Allerdings war ein schwacher, schwer definierbarer Geruch im Raum wahrnehmbar.

Untersuchungen und weitere

Ortsbesichtigung:

Zur Vervollständigung der bisher erfolgten Untersuchungen wurde noch eine Analyse des Hausstaubes auf Biozide veranlasst. Sie ergab unauffällige Befunde.

Aufgrund der geschilderten Beschwerden und der in der Vergangenheit angedeuteten verdeckten Schimmelpilzproblematik wurde als letzte Maßnahme die Begehung mit einem Schimmelhund im Juli 2001 im Sinne einer Ausschlussdiagnostik durchgeführt.

Der von einem erfahrenen Hundeführer eingesetzte Schimmelhund markierte in den einzelnen Klassenräumen an jeweils spiegelbildlichen Punkten (wie sich später herausstellte jeweils den Lagerhölzern der Holzständer). An zwei Stellen wurde daraufhin der Fußboden geöffnet. Der Aufbau des Fußbodens bestand aus Betonsohle, lockerer Bitumenbahn, Einstreu aus teergetränkten Getreidespelzen, Wellpappe und Asphaltestrich. An der Wellpappe und unter der Bitumenbahn war geringe Feuchtigkeit fühlbar; die Wellpappe roch muffig. In der Betonschicht selbst konnte (mit geeichtem Messgerät) keine aufsteigende Feuchtigkeit festgestellt werden.

Bewertung:

Aus bauphysikalischer Sicht ist der Fußbodenaufbau unzulänglich, da eine ausreichende Dampfsperre fehlt und die Bitumenbahn nur lose aufliegt (nicht verschweißt!)

und an den Lagerhölzern der aufgehenden Holzständerwände endet. Da aufsteigende Feuchtigkeit als Ursache ausscheidet, ist anzunehmen, dass es durch Tauwasserbildung im Bereich der Lagerhölzer zu erhöhter Feuchtigkeit und Pilzbefall kommt, der zu den geruchlichen Wahrnehmungen in den Klassen führt. Begünstigt wird dies durch ungenügende Lüftung während des Unterrichts und in den Pausen.

Maßnahmen und Ergebnis:

Obwohl definitive Anhaltspunkte für einen massiven Schimmelpilzbefall und eine Gesundheitsgefährdung nicht vorlagen, wurde auf Empfehlung des Gesundheitsamtes eine bauliche Sanierung beschlossen, da in der emotional erheblich vorbelasteten Situation eine schulische Nutzung im Einvernehmen mit Eltern und Lehrerschaft andernfalls fraglich geblieben wäre.

Die komplette Sanierung des Fußbodens erfolgte während der Ferien im August 2001 durch eine ganzflächige, kraftschlüssig verklebte Dampfsperre, Dämmplatten (2x2,5 cm), Gussasphalt (3 cm) und Lino-leumbelag. Als flankierende Maßnahmen wurde an der Nordseite eine Drainage ein-

gesetzt, der Dachablauf verbessert und die Fensterflügel mit Feststellern versehen.

Lüftungsempfehlungen wurden erarbeitet und anhand der CO₂-Diagramme erläutert. Es bleibt zu hoffen, dass die Empfehlungen auf Dauer beachtet werden.

Nach den großen Ferien wurden die Klassen wieder genutzt und es sind seitdem keine Klagen im Sinne der früheren Beschwerden mehr aufgetreten. Es wird aber bemängelt, dass die Lüftung im Winterhalbjahr während des Unterrichts zu Zugluft führt.

Der Fall zeigt die Schwierigkeiten, die genaue Ursache des gestörten Wohlbefindens zu lokalisieren. Bedeutsam sind hier besonders die von Betroffenen geschilderten Beschwerden, die immer ernst genommen werden sollten. Psychologische Momente, die gern und auch in diesem Fall mehrfach in der Auseinandersetzung argumentativ bemüht wurden, sind eher unwahrscheinlich, da die erste Sanierung mit einer plausiblen Hypothese und einer einvernehmlichen „ökologischen“ Renovierung erfolgte, aber die Beschwerdewahrnehmung der Nutzer dadurch wenig verändert wurde.

2.7 Oberflächentemperatur:		Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
	10 cm	_____	_____	_____	_____	_____
	100 cm	_____	_____	_____	_____	_____
	230 cm	_____	_____	_____	_____	_____
2.8 Aufstellung der Meßgeräte:						
2.8.1 Lage der zu untersuchenden Räume im Gebäude (eventuell Skizze anfertigen, s. Rückseite)						
2.8.2 Bemerkungen: _____						

3. Räume allgemein

3.1 In welchem Jahr wurde das Gebäude gebaut?						
Neubau ≤ 6 Monate <input type="checkbox"/> nach 1990 <input type="checkbox"/> 1981 bis 1990 <input type="checkbox"/> 1971 bis 1980 <input type="checkbox"/>						
1961 bis 1970 <input type="checkbox"/> 1951 bis 1960 <input type="checkbox"/> 1900 bis 1945 <input type="checkbox"/> vor 1900 <input type="checkbox"/>						
3.2 Renovierung / Sanierung, wann?	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	
	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	
	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	
	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	
3.3 Isolierung, wann?	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	
3.4 Feuchtigkeitsisolierung, wann?	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	□□□□	
3.5 Geruchswahrnehmung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.6 wonach ?	_____	_____	_____	_____	_____	

3.7 Weist das Haus eine der folgenden baulichen Besonderheiten auf?	
3.7.1 Energiesparhaus	<input type="checkbox"/>
3.7.2 Öko-Haus (z. B. Holzhaus)	<input type="checkbox"/>
3.7.3 Flachdachhaus	<input type="checkbox"/>
3.7.4 Fertighaus	<input type="checkbox"/>
3.7.5 Bauernhaus mit direkt angebautem Stallgebäude, in dem Tiere gehalten werden	<input type="checkbox"/>
3.7.6 Bauernhaus, in dem in der Vergangenheit Tiere gehalten wurden	<input type="checkbox"/>
3.7.7 Bemerkungen: _____	

3.8 Ist das Haus unterkellert?	
3.8.1 voll unterkellert	<input type="checkbox"/>
3.8.2 teilweise unterkellert	<input type="checkbox"/>
3.8.3 kein Keller	<input type="checkbox"/>

3.9 Wie sind die Außenmauern des Hauses isoliert?	nicht bekannt	<input type="checkbox"/>
3.9.1 Bemerkungen: _____		
3.10 Wie ist das Dach des Hauses isoliert?	nicht bekannt	<input type="checkbox"/>
3.10.1 Bemerkungen: _____		

3.11 Bauwerksmängel:			
Risse im Putz <input type="checkbox"/>	mangelhafte Verfugung <input type="checkbox"/>	Salzausblühungen	<input type="checkbox"/>
geometrische und materialbedingte Wärmebrücken <input type="checkbox"/>		verdeckte Wasserschäden	<input type="checkbox"/>
defekte Regenrinne / -fallrohre bzw. Dachziegel <input type="checkbox"/>			

3.12 In welche Himmelsrichtung erfolgte die Befensterung?	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
3.12.1 Nord	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____
3.12.2 Ost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.12.3 West	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.12.4 Süd	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____
3.12.5 Innenraum (ohne Fenster)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.13 Art der Fenster	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
3.13.1 Einscheibenfenster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.13.2 Kastendoppel- / 2-Rahmenfenster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.13.3 Isolierverglasung, Thermofenster, Schallschutzfenster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.13.4 keine Fenster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.13.5 Bemerkungen: _____					

3.14 Wie erfolgt die Belüftung der Räume ohne Fenster	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
3.14.1 aktive Lüftung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.14.2 passiv (Kaminanschluß)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.14.3 Bemerkungen: _____					

3.15 Womit ist der Fußboden des Zimmers belegt	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
3.15.1 Stein, Fliesen, Estrich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.2 Parkett, Kork, Stirnholz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.3 Linolium, PVC, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.4 kurzfloriger Teppichboden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.5 hochfloriger Teppichboden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.6 Laminat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.7 lose Teppiche (m ²)	[[]]	[[]]	[[]]	[[]]	[[]]
3.15.8 Gumminoppen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15.9 Bemerkunge: _____					

3.16 Material der Wände und deren Oberflächen					
3.16.1 Bemerkungen: _____					
3.17 Was befindet sich unter der Wohnung?					
3.17.1 Bewohnte Wohnung					<input type="checkbox"/>
3.17.2 unbewohnte Wohnung, bzw. Souterrain, Keller					<input type="checkbox"/>
3.17.3 Fundament, Erde					<input type="checkbox"/>
3.18 Was befindet sich oberhalb der Decke der Wohnung?					
3.18.1 Bewohnte Wohnung					<input type="checkbox"/>
3.18.2 unbewohnte Wohnung, bzw. Dachboden					<input type="checkbox"/>
3.18.3 Außenluft, Decke ist Teil der Dachkonstruktion					<input type="checkbox"/>

4. Raumnutzer allgemein

4.1 Raumnutzer und ihre Aktivitäten

4.1.1 Wann wurde die Wohnung bezogen

4.1.1.1 übliche Wohnungs-/ Raumbellegung Personen

4.1.1.2 während der Probenahme hielten sich Personen in der Wohnung bzw. den Räumen auf

4.2 Boden- und Wandbündigkeit von Möbeln an Außenwänden

	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
4.2.1 Sind Einbauschränke vorhanden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.2 Ist genügend Abstand Zwischen Wand und Möbelstück	<input type="checkbox"/> j <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> j <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> j <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> j <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> j <input type="checkbox"/> n

4.3	Gibt es Haustiere in der Wohnung?	Gab es in der Vergangenheit Haustiere in der Wohnung?
Ja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4 Falls ja welche?

4.4.1 Hund	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4.2 Katze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4.3 Vogel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4.4 andere (Ratte, Meerschweinchen, Fische)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4.5 Bemerkung: _____

5. Reinigungsgewohnheiten / Müllentsorgung

5.1 Wird Biomüll in der Wohnung gesammelt?

5.2 Wird Wertstoffmüll z.B. 'gelber Sack'-Müll in der Wohnung gesammelt?

5.3 Wird Restmüll in der Wohnung gesammelt?

5.4 Falls ja, wie lange befindet sich der Sammelbehälter gewöhnlich in der Wohnung?

	Biomüll	Wertstoffmüll	Restmüll
5.4.1 weniger als 1 Woche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4.2 1 - 2 Wochen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4.3 mehr als 2 Wochen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.5 Bemerkungen: _____

6. Heizung und Lüftung

6.1 Sind alle Räume beheizbar?

6.2 Welche nicht: _____

6.3 Standort der Heizkörper siehe Wohnungsskizze.

6.4 Es wird ein *passiver* Luftbefeuchter (mit Wasser gefüllte Gefäße, oder ein Zimmerbrunnen) verwendet

6.5 Es wird ein *aktiver* Luftbefeuchter (Verdunster, Vernebler) verwendet

6.5.1 Prinzip: _____

6.5.2 Falls ein *aktiver* Luftbefeuchter verwendet wird, wie häufig wird er benutzt? _____

Anhang 1, Begehungsprotokoll

6.6 Luftwechsel	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
6.6.1 Sind Störungen der Luftzirkulation durch Stores, Vorhänge, Möbel vorhanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6.7 Wie lüften Sie im Winter?					
6.7.1	selten, nie				<input type="checkbox"/>
6.7.2	einmal täglich für kurze Zeit gut durchlüften				<input type="checkbox"/>
6.7.3	mehrmals täglich für kurze Zeit gut durchlüften				<input type="checkbox"/>
6.7.4	über mehrere Stunden das Fenster ganz öffnen				<input type="checkbox"/>
6.7.5	Fenster ist über mehrere Stunden gekippt				<input type="checkbox"/>
6.7.6	kein Fenster				<input type="checkbox"/>
6.7.7	Bemerkungen: _____				

6.8 Wie lüften Sie im Sommer den Kellerbereich?					
6.8.1	selten, nie				<input type="checkbox"/>
6.8.2	einmal täglich für kurze Zeit gut durchlüften				<input type="checkbox"/>
6.8.3	mehrmals täglich für kurze Zeit gut durchlüften				<input type="checkbox"/>
6.8.4	über mehrere Stunden das Fenster ganz öffnen				<input type="checkbox"/>
6.8.5	Fenster ist ständig gekippt				<input type="checkbox"/>
6.8.6	kein Fenster				<input type="checkbox"/>
6.8.7	Bemerkungen: _____				

7. Schimmel, Feuchtigkeit

7.1	Wurden bereits Maßnahmen gegen auftretende Feuchtigkeit oder gegen Schimmel getroffen?				<input type="checkbox"/>
7.2	Falls ja, welche?				
7.2.1	Behandlung der Außenwände mit feuchtigkeitsabweisenden Chemikalien (Hydrophobierungsmaßnahmen)				<input type="checkbox"/>
7.2.2	Behandlung der Innenwände mit schimmeltötenden Chemikalien (Fungiziden)				<input type="checkbox"/>
7.2.3	bauliche Maßnahmen (z. B. Abtragen der betroffenen Flächen)				<input type="checkbox"/>
7.2.4	Änderung des Lüftungsverhaltens				<input type="checkbox"/>
7.2.5	Wann wurden diese Maßnahmen durchgeführt?				<input type="checkbox"/>

7.3 Sind frische Feuchtigkeitsflecken oder Schimmelpilzbefall optisch sichtbar?	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
7.3.1 Ja, gesamte Fläche kleiner als eine Postkarte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3.2 Ja, gesamte Fläche zwischen einer Postkarte und einem Blatt Papier (DIN A4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3.3 Ja, gesamte Fläche zwischen einem Blatt Papier (DIN A4) und 1m ²	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3.4 Ja, gesamte Fläche größer als 1m ²	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3.5 Nein, nicht wahrnehmbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang 2 Weiterführende Literatur

ENGELHART, S.: Biologische Innenraumluftverunreinigungen. In: MORISKE, H.-J. und TUROWSKI, E. (Hrsg.), Handbuch für Bioklima und Lufthygiene, 3. Erg. Lfg. 3/2000, Kap. III-4.3, S.1–12, ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (2000)

European Collaborative Action: Indoor Air Quality and its Impact on Man. Report No. 12 Biological Particals in Indoor Environments. Commission of the European Communities, Luxemburg (1993).

GABRIO, T., JOVANOVIC, S. und WEIDNER, U.: Analytische Qualitätssicherung – biologische Innenraumschadstoffe, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, LGA-Jahresbericht (1998)

GRAVESEN, S, S.FRISVAD and R.A.SAMSON: Microfungi, Munksgaard. Copenhagen, (1994)

JOHANNING, E.: Allergene und giftige Schimmelpilze in Innenräumen. In: DIEL, F., FEIST, W., KRIEG, H.-U. und LINDEN, W. (Hrsg.), Ökologisches Bauen und Sanieren. C.F. Müller Verlag, Heidelberg (1998) S. 154–163

JOHANNING, E. (Ed.): Bioaerosols, fungi and mycotoxins: Health effects, assessment, prevention and control. Boyd Printing Company Inc., Albany, New York (1999)

KÄMPFER, P., W.BEYER, G.DANNEBERG, L.GRÜN, W.MARTENS, A.NEEF, U.PALMGREN und R.SZEWZYK: Neue Methoden zum Nachweis luftgetragener Mikroorganismen und zur Quellenidentifikation. In: Th. EIKMANN, und R. HOFMANN (Hrsg.), Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104 „Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu

siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und -verwertung Band 30, Berlin (1999) S. 311–402

KELLER, R., SENKPIEL, K. and OHGKE, H.: Use of MVOC measurements and odor perception as indicator of mould in indoor areas. In: JOHANNING, E. (Ed.), Bioaerosols, fungi and mycotoxins: Health effects, assessment, prevention and control. Boyd Printing Company Inc., Albany, New York (1999) S. 532-537

KELLER, R.: Mikrobielle Schadwirkungen auf Mensch und Material in Gebäuden. Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität Lübeck, Heft 3, Lübeck (2000)

KELLER, R. und SENKPIEL, K.: Gesundheitliche Aspekte toxinogener Schimmelpilze in Gebäuden. Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität Lübeck, Heft 4, Lübeck (2001)

LORENZ, W.: MVOC-Bestimmungen zur Erkennung mikrobieller Schäden in Gebäuden. In: MORISKE, H.-J. und TUROWSKI, E. (Hrsg.), Handbuch für Bioklima und Lufthygiene, 6. Erg. Lfg. 4/2001, Kap. III-4.4.5, S.1–19, ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (2001)

ISENMANN, W. und TOSBERG, M.: Feuchtigkeiterscheinungen und deren Folgen in bewohnten Gebäuden vor dem Hintergrund mietrechtlicher Auseinandersetzungen. In: MORISKE, H.-J. und TUROWSKI, E. (Hrsg.), Handbuch für Bioklima und Lufthygiene, 7. Erg. Lfg. 6/2002, Kap. III-4.4.11, S.1–12, ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (2002)

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Zusammenhang zwischen biologischen Innenraumbelastungen und Allergien bzw. Atemwegserkrankungen. Heft 3, Stuttgart (2000)

- Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Zusammenhang zwischen biologischen Innenraumbelastungen und Allergien bzw. Atemwegserkrankungen. Heft 3, Stuttgart (2000)
- Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. LGA-Berichte, Stuttgart (2001)
- MÜCKE, M. und LEMMEN, Ch.: Schimmelpilze: Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (1999)
- MORISKE, H.-J. und TUROWKI, E. (Hrsg.): Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (1998-2002)
- PEAT, J.K., DICKERSON, J. and LI, J.: Effects of damp and mould in the home on respiratory health: A review of the literature. *Allergy* 53, 120-128 (1998)
- RAO C.Y., BURGE H.A. and CHANG J.C.: Review of quantitative standards and guidelines for fungi in indoor air. *Journal Air Waste Management Association* 46 (1996) S. 899–908
- REIß, J.: Schimmelpilze – Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin (1997)
- RING, J.: Allergische Erkrankungen durch Innenraum-Luftverunreinigungen. VDI Berichte 1122, 645–658, VDI-Verlag, Düsseldorf (1994)
- ROTH, L., FRANK, H. und KORMANN, K.: Giftpilze, Pilzgifte, Schimmelpilze, Mykotoxine, Vorkommen, Inhaltsstoffe, Pilzallergien. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (1990)
- OSTROWSKI, R.: Exposure assessment of moulds in indoor environments in relation to chronic respiratory diseases. Akademische Edition Umweltforschung. RWTH Aachen, Hrsg.: W. Dott, Band 4 (1999)
- SAMSON, R.A., FLANNIGAN, B., FLANNIGAN, M.E., VERHOEFF, A.P., ADAN, O.C.G. and HOEKSTRA, E.S. (Eds.) *Air Quality Monographs Vol. 2. Health implications of fungi in indoor environments.* Elsevier Science, Amsterdam (1994)
- SCHUCHARDT, S., KRUSE, H., WASSERMANN, O.: Von Schimmelpilzen gebildete leichtflüchtige organische Verbindungen. Schriftenreihe des Instituts für Toxikologie, Universitätsklinikum Kiel, Heft 46, Kiel (2001)
- SENKPIEL, K. und OHGKE, H.: Beurteilung der Schimmelpilz-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. *Ges.-Ing.* 113 (1992) S. 42–45
- SENKPIEL, K. und OHGKE, H.: Wohnhygienische Bewertung der mikrobiellen Belastung in feuchten Gebäuden, In: MORISKE, H.-J. und TUROWSKI, E. (Hrsg.), *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene*, 5. Erg. Lfg. 4/2001, Kap. III-4.4.4, S.1–22, ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (2001)
- TRBA: Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (TRBA 430), BArbBl. Nr. I (1997) S. 47–53
- Umweltbundesamt, Innenraumlufthygienekommission: Biologische Innenraumluftverunreinigungen. *Bundesgesundheitsblatt* 38 (1995) S. 284–287
- Umweltbundesamt, Innenraumlufthygienekommission: Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Berlin (2000)

Verband der Bausachverständigen Norddeutschlands: Topthema Schimmelpilz. VBN-Sonderheft Schimmelpilz, VBN Seminare Verlag, Bremerhaven (2001)

Verband der Bausachverständigen Norddeutschlands: Topthema Schimmelpilz. Zweites Schimmelpilzsymposium. VBN Seminare Verlag, Bremerhaven (2002)

WANNER, H.U., VERHOEFF, A., COLOMBI, A., FLANNIGAN, B., GRAVESEN, S., MOUILLESEAUX, A., NEVALAINEN, A., PAPADAKIS, J. and SEIDEL K.. Report No.

12. Biological particles in indoor environments. Commission of the European Communities, Luxembourg (1993)

WHO: Indoor air quality: Biological Contaminants: Report of a WHO meeting Rautovara, Finland 1988. World Health Organization, Regional Publications, European Series No. 31 (1990) pp. 1-67

WICHMANN, H.-E., SCHLIPKÖTER, H.-W. und FÜLGRAFF, G. (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (1992)