

Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“)



Umweltbundesamt
Dessau/Roßlau 2016

LEITFADEN
ZUR VORBEUGUNG, ERFASSUNG UND SANIERUNG VON SCHIMMELBEFALL
IN GEBÄUDEN
(„SCHIMMELLEITFADEN“)

Erstellt durch die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Mitglieder:

Dr. Klaus Breuer, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Valley
Dr. Katleen de Brouwere, Unit Environmental Risk and Health VITO NV, Mol (Belgien) (korrespondierendes Mitglied)
Dr. Rolf Buschmann, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
Dipl. Chem. Reto Coutalides, Coutalides Consulting, Zürich (Schweiz)
Dr. Kertin Effenbach-Effers, Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, Bereich Ernährung und Umwelt, Düsseldorf
Prof. Dr. Thomas Eikmann, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Justus-Liebig-Universität Gießen
Prof. Dr. Steffen Engelhart, Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit, Universität Bonn
Prof. Dr. David Groneberg, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universität Frankfurt/Main
Prof. Dr. Barbara Hoffmann, Leibniz-Institut für Umweltmedizinische Forschung, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Prof. Dr. Caroline Herr, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, München
Dr. Wolfgang Lorenz, Institut für Innenraumdiagnostik, Düsseldorf
Prof. Dr. Volker Mersch-Sundermann, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg/Breisgau
Dipl.-Chem. Wolfgang Misch, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT), Berlin
Prof. Dr. Birgit Müller, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Vizepräsidentin für Lehre, Berlin
Prof. Dr. Tunga Salthammer, Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung (WKI), Braunschweig (IRK-Vorsitz)
Dr. Helmut Sagunski, Behörde für Soziales und Gesundheit der Freien Hansestadt Hamburg
Dr. Hans Schleibinger, Indoor Environment Research Program, Ottawa (Kanada)
DI Peter Tappler, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien (Österreich)

Als weitere Sachverständige haben mitgewirkt:

Stefan Betz, Sachverständigenbüro für Gebäude- und Innenraumanalytik, Hellertshausen
Andrea Bonner, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau) Prävention DGUV, Karlsruhe
Dr. Andrea Groß, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg/Breisgau
Dr. Oliver Jann, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin
Dr. Heinz-Jörn Moriske, Umweltbundesamt, Berlin (IRK-Geschäftsleitung)

Uwe Münzenberg, Berufsverband Deutscher Baubiologen, Jesteburg
Dr. Frederike Neisel, Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR), Berlin
Dr. Wolfgang Plehn, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
Dr. Regine Szewzyk, Umweltbundesamt, Berlin
Dipl.-Ing. Heidemarie Schütz, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin
Dipl.-Ing. Silke Sous, Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH, Aachen
Dr. Christoph Trautmann, Umweltmykologie Dr. Dill und Dr. Trautmann GbR, Berlin
Dr. Kerttu Valtanen, Umweltbundesamt, Berlin
Dr. Birgit Wolz, Bundesministerium für Umwelt, , Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Bonn
Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH, Aachen

Impressum:

Herausgeber und Redaktion:
Umweltbundesamt
Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Dessau-Roßlau
06844 Dessau-Roßlau
Tel.: 030 – 8903 – 5469 od. 1258
Fax: 030 – 8903 – 2285
<http://www.umweltbundesamt.de>

Bearbeiter:
Dr. Heinz-Jörn Moriske
Dr. Regine Szewzyk
DI Peter Tappler
Dr. Kerttu Valtanen

Vorbemerkung

Das Umweltbundesamt hat nach Ausarbeitung durch die Innenraumlufthygiene-Kommission 2002 den „Leitfaden für die Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen“⁽¹⁾ und 2005 den „Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen“⁽²⁾ veröffentlicht. Für beide Leitfäden bestand seit Erscheinen eine große Nachfrage. Zum ersten Mal war es mit den Leitfäden gelungen, bundesweit einheitliche Empfehlungen für die Ursachensuche, Erfassung, Bewertung und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen zu geben.

Die bestehenden Leitfäden sind jedoch „in die Jahre gekommen“. Gesetzliche Anforderungen an den Neubau und bei der Sanierung bestehender Gebäude haben sich unter dem Energieeinsparaspekt in den letzten Jahren deutlich geändert und verschärft. Die Gebäudehülle wurde durch die Anforderungen nach der geltenden Energieeinsparverordnung (EnEV) immer luftdichter; mithin wächst die Gefahr von Feuchteanreicherung und damit für Schimmelwachstum durch unsachgemäßes oder unzureichendes Lüften. Baulich bedingte Einflüsse für zu hohe Feuchte im Innenraum, in und an Bauteilen, gibt es weiterhin in Alt- und Neubauten, sie sind aber nur eine von mehreren Entstehungsursachen für Schimmel. Eine Aktualisierung der Aussagen und Empfehlungen im Hinblick auf den Gebäudebestand, zu Lüftungsempfehlungen in energiebedarfsarmen Gebäuden und zu Lüftungstechnischen Systemen im Zusammenhang mit dem Risiko für Schimmel und der Bewertung bei Schimmelbefall wurden notwendig und sind mit dem neuen Leitfaden vorgenommen worden.

In den letzten Jahren wurde zudem deutlich, dass bei Schimmelbefall nicht nur Schimmelpilze sondern oft auch Bakterien, u.a. Aktinomyzeten, sowie Protozoen und Milben wachsen. Daher wird der Begriff „Schimmel“ im neuen Leitfaden einheitlich für das Wachstum aller Mikroorganismen bei Feuchteschäden verwendet. Von Schimmelpilzwachstum wird gesprochen, wenn explizit nur die Schimmelpilze gemeint sind.

Nicht jedes am und im Gebäude eingesetzte Material ist durch Schimmel befallen, nur weil Schimmelpilzsporen oder Bakterien darauf nachgewiesen wurden. Auch hierzu wird im neuen Leitfaden eine Präzisierung vorgenommen und zwischen Verunreinigung (Kontamination) und Befall deutlicher unterschieden. Es werden Hintergrundwerte für Schimmelpilze und Bakterien in unterschiedlichen Materialien angegeben.

Bei den „alten“ Schimmelleitfäden wurde oft beanstandet, dass die darin festgelegten Empfehlungen undifferenziert auf alle Innenräume angewendet wurden. Zumindest wurde es in der Praxis oft so interpretiert, dass in Wohnräumen die gleichen Anforderungen wie in Nebenräumen außerhalb der Wohnung oder sogar in Garagen gelten. Diesem Problem wird in dem neuen Leitfaden dadurch Rechnung getragen, dass „Nutzungsklassen“ mit unterschiedlich hohen Anforderungen eingeführt werden (vgl. Anlage 1).

Der Leitfaden gilt für Büroräume, Schulen, Kindergärten, Theatersäle und andere öffentliche Räume sowie für alle Wohnräume und sonstigen Räume mit dauerhafter oder eingeschränkter Nutzung. Er gilt nicht für Großküchen, Gastronomie, Lebensmittelbetriebe und Krankenhäuser sowie produktionstechnisch mit Mikroorganismen belastete Arbeitsplätze.

Immer wieder unterschiedlich interpretiert wurde in der Vergangenheit die Aussage, wann befallene Bauteile entfernt werden müssen oder wann es reicht, diese so abzuschotten, so dass keine Schimmelpilzsporen und abgestorbenen Bestandteile in die Raumluft gelangen. Im neuen Leitfaden wird darauf differenzierter eingegangen.

Sogenannte Desinfektionsmaßnahmen sind bei Schimmelsanierungen in den meisten Fällen nicht sinnvoll und werden in der Praxis viel zu häufig angewendet. Daher gibt es im neuen Leitfaden Empfehlungen, wann die Anwendung von Bioziden überhaupt sinnvoll ist.

Schließlich wurden Richtlinienempfehlungen, Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Sanierung und einige weitere formale Aspekte aktualisiert.

Der neue Leitfaden erhebt – wie die früheren – den Anspruch, den Rahmen für einheitliche Vorgehensweisen bundesweit in Deutschland und – neu – in Absprache mit den dortigen staatlichen Institutionen und angepasst an die österreichischen Gegebenheiten auch in Österreich zu setzen. Er soll nicht jeden möglichen Einzelfall beschreiben und dafür detaillierte Empfehlungen geben. Das kann ein übergeordneter „Leitfaden“ nicht leisten. In Absprache mit verschiedenen Verbänden, die im Bereich Schimmelerkennung und -bewertung tätig sind, wurde im Vorfeld festgelegt, dass Detailausführungen, etwa zu technischen Trocknungsmaßnahmen oder zur Feuchtebeurteilung in Materialien oder zum Arbeitsschutz von der Berufsgenossenschaft Bau sowie dazu tätigen externen Fachverbänden in eigenen Merkblättern oder Handlungsanleitungen behandelt werden. Die dortigen Empfehlungen sollen sich auf die UBA-Leitfadenempfehlungen stützen und sollen keine davon abweichenden Empfehlungen geben. Dies ist das Ergebnis einer Übereinkunft zwischen UBA und einzelnen Fachverbänden (Gespräch UBA mit Verbänden und der BG Bau im UBA 2011).

Der aktuelle Leitfaden richtet sich an Sachverständigenbüros, Handwerksunternehmen, mikrobiologische Labore und alle diejenigen, die Schimmel erkennen, bewerten und Sanierungskonzepte erarbeiten sollen. Sanierungsfirmen finden wichtige Hinweise, werden für Detailausführungen aber auf die Empfehlungen der Verbände verwiesen. Der Leitfaden bietet Hilfestellung auch für Wohnungsunternehmen und örtliche Behörden, die Schimmelsanierungen begleiten oder überwachen und den Sanierungserfolg kontrollieren wollen. Schließlich werden auch betroffene Gebäudenutzer wertvolle Hinweise finden.

Im Leitfaden werden gesundheitliche, bauphysikalische, messtechnische und allgemeine raumlufthygienische Fragestellungen berücksichtigt. Auf werkvertragliche und andere rechtliche Aspekte, aus denen sich abweichende Einschätzungen ergeben können, wird nicht eingegangen. Zu Schimmelbefall und dessen rechtlicher Bedeutung gibt es zahlreiche Hinweise und Urteile aus Mieterschutzprozessen, der Bau- und Wohnungswirtschaft etc. Hinweise dazu geben entsprechende Stellen wie Mieterschutzverein, Bundesverband Verbraucherzentrale und örtliche Verbraucherzentralen

Der Leitfaden gliedert sich folgendermaßen:

Kapitel 1 „Grundsätzliches: Schimmelschaden und Schimmelpilze“. Hier werden nochmals die im Leitfaden verwendeten Begriffe definiert und Grundsätzliches zu Schimmelpilzen und deren Wachstumsbedingungen beschrieben. Auch auf das Wachstum von Bakterien und anderen Mikroorganismen bei Feuchteschäden im Innenraum wird eingegangen.

Kapitel 2 „Wirkungen von Schimmel auf die Gesundheit des Menschen“. Dieses Kapitel beschreibt die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen und Risiken bei Vorkommen von Schimmelbefall in Innenräumen.

Kapitel 3 „Ursachen für Schimmelwachstum in Gebäuden“. Das Kapitel beschreibt die für Schimmelwachstum maßgeblichen Parameter Feuchte und Temperatur. Dabei wird das Zusammenwirken von Luftfeuchtigkeit, Temperatur, baulichen Gegebenheiten und Lüftung ausführlich erläutert.

Kapitel 4 „Vorbeugende Maßnahmen gegen Schimmelbefall“. Neben baulichen Einflussgrößen, die beschrieben werden, kann der Raumnutzer selber viel zur Schimmelvermeidung beitragen. Breiten Raum nehmen Lüftungs- und Heizempfehlungen ein. Wie man – je nach Raumnutzung - richtig lüftet und heizt, wird ausführlich beschrieben. Auf technische Lüftungseinrichtungen und deren Vor- und Nachteile wird eingegangen.

Kapitel 5 „Schimmelbefall erkennen, erfassen und bewerten“ beschreibt wichtige Punkte bei der Ortsbegehung und beim Nachweis von Schimmel in der Luft und im Material. Auf weitere, bereits erstellte Normen und Richtlinien wird verwiesen.

Kapitel 6 „Maßnahmen im Schadensfalls“ beschreibt, was zu tun ist, wenn Schimmelbefall vorliegt. Dabei wird unterschieden in Maßnahmen, die die Raumnutzer selber ergreifen können und Maßnahmen, die Fachfirmen vorbehalten bleiben. Wo die Abgrenzung liegt, wird beschrieben. Welche Vorsichtsmaßnahmen aus Arbeitsschutzsicht zu beachten sind, wird dargestellt und auf einzelne Sanierungsverfahren wird eingegangen. Verweise auf Empfehlungen von Verbänden werden gegeben, in denen der Leser weitere Detailinformationen findet. Den Abschluss bildet ein Glossar, in dem die wichtigsten Fachbegriffe kurz erläutert werden (Anmerkung: Glossar wird erst nach öffentlicher Anhörung erstellt).

Der vorliegende Schimmelleitfaden ersetzt die bisherigen Schimmelpilzleitfäden des Umweltbundesamtes aus den Jahren 2002 und 2005, die mit Erscheinen dieses Leitfadens ihre Gültigkeit verlieren.

1 Grundsätzliches: Schimmel, Schimmelbefall und Schimmelpilze

Der Begriff Schimmel, frühere Schreibweise *Schimmel*, stammt aus dem Mittelhochdeutschen und ist seit dem 9. Jahrhundert belegt. Historisch gesehen gab es lange, bevor man Schimmelpilze identifizierte, den Begriff Schimmel für sichtbare Flecken auf Materialien, die bei Feuchtigkeit entstanden sind und sich, damals unerklärlich, fast von alleine weiterentwickelten, siehe „Conservandae Sanitatis Praecepta“, Anno 1545 von Johannes Curio (dem Arznei Doctor): „*Durch ihre faulenden Bestandteile erstickend ist sie (Anm.: die Luft) ähnlich der, die in manche Häuser eingeschlossen ist, in denen sich wegen Fäulnis und mangelnder Belüftung Schmutz und Schimmel im höchsten Maße anhäufen.*“

Als man entdeckte, dass dieser Schimmel durch Pilze mit mikroskopisch kleinen Strukturen verursacht wird, bezeichnete man diese den Schimmel verursachenden Pilze als „Schimmel“-Pilze, bzw. Schimmelpilze (siehe Kap. 1.2). Schimmel braucht zum Wachstum viel Feuchte (Kap. 1.1) . Im Laufe der Zeit wurde erkannt, dass es außerdem „Pilze“ gab, die etwas anders aussahen, insbesondere um eine Größenordnung kleiner waren, und bezeichnete diese als Strahlenpilze, bzw. Aktinomyzeten oder Aktinomyzeten (aus dem Griechischen Aktis = Strahl, Mykes = Pilze). Später erkannte man, dass Aktinomyzeten keine Pilze sondern Bakterien sind. Daher werden diese Organismen heute als Aktinobakterien bezeichnet (siehe Kap. 1.3).

Das mit bloßem Auge sichtbare Wachstum von Mikroorganismen an Inventar, Wänden oder anderen Bauteilen wird üblicherweise **Schimmel** (englisch: **mould**) genannt.

Der Begriff Schimmel bezeichnet nicht nur Schimmelpilze!

Bei Schimmelbefall treten in dem feuchten Material in den meisten Fällen auch Bakterien, Milben und Protozoen auf.
Dies muss bei der Bewertung von Feuchteschäden und Schimmelbefall berücksichtigt werden.

Schimmelpilze und Aktinobakterien können bei ausreichender Feuchtigkeit in den meisten organischen Materialien bzw. auf Materialien mit organischen Verschmutzungen wachsen. Sie werden mit dem bloßen Auge als Schimmelflecken aber erst dann erkannt, wenn sich Sporenträger mit gefärbten Sporen in einer gewissen Dichte an einer einsehbaren Oberfläche entwickelt haben.

Neben Schimmelpilzen und Aktinobakterien kommen bei Schimmelbefall auch einzellige Pilze (Hefen) und Protozoen vor (siehe Tab. 1). Finnische Wissenschaftler wiesen bei Schimmelbefall in mehr als 20% der Fälle Protozoen nach (siehe Tab. 1). Außerdem kommen, vor allem bei älterem Schimmelbefall, zusätzlich im Schadensbereich Milben vor. Alle diese Organismen sind mikroskopisch klein (siehe Tab. 2) und werden daher in ihrer Gesamtheit als Mikroorganismen bezeichnet.

Tabelle 1: Häufigkeit verschiedener Mikroorganismen bei Schimmelbefall

Häufigkeit von Mikroorganismen in Schadensbereichen (massive Schäden)				
	Schimmelpilze ¹⁾	Bakterien ¹⁾	Milben ²⁾	Protozoen ³⁾
Probenzahl [n]	561	561	50	124
Pos. [n]	537	467	36	27
Befund [%]	96%	83%	72%	22%

1) Lorenz, 2012 2) Sander et al 2009 3) Yli-Pirilä et al 2003

Tabelle 2: Größe verschiedener Mikroorganismen im Vergleich zum menschlichen Haar

	Größe in µm
Haar (Durchmesser)	ca. 100
Schimmelpilzsporen	2-30
Schimmelpilzhyphen [Ø]	4-10
Aktinobakterienhyphen [Ø]	1
Hausstaubmilbe	100-500
Amöben	100-300

Quelle: Lorenz

Am häufigsten bei Schimmelbefall werden Schimmelpilze und Aktinobakterien nachgewiesen, die beide durch die Bildung von Sporen zu einer Innenraumbelastung beitragen können. Daher wird der Focus im Leitfaden auf diese beiden Mikroorganismengruppen gerichtet.

Das Ergreifen wirksamer Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmel setzt Kenntnis darüber voraus, welche Mikroorganismen am Schimmelschaden beteiligt sind und welche Ansprüche sie an die Umweltbedingungen stellen (siehe Kap. 1.2 und 1.3).

1.1 Feuchtigkeitschäden und Schimmelbefall

Ein Schimmelbefall liegt dann vor, wenn Mikroorganismen sich auf oder in einem Material vermehren. Wichtigste Voraussetzungen hierfür sind ausreichend hohe Feuchtigkeit und Nährstoffe (siehe Kap. 1.2). Davon abgrenzen muss man Verunreinigungen (Kontaminationen) mit Sporen oder anderen mikrobiellen Partikeln, die von außen in den Innenraum gelangen oder von anderen Quellen (Blumenerde, Lebensmittel) im Innenraum stammen und sich durch Sedimentation lose auf Oberflächen ansammeln. Derartige Verunreinigungen erfordern keine Sanierung, sondern eine gründliche Reinigung.

Durch die Vermehrung im Material ergibt sich im Gegensatz zu einer Verunreinigung einerseits eine festere Verankerung der Mikroorganismen im Material. Andererseits werden durch die Stoffwechselaktivität Metaboliten in die Raumluft abgegeben und es kommt zur aktiven Emission von Sporen und Zellen.

Unterscheidung Schimmelbefall – Kontamination

Mit Schimmel befallene Materialien sind Baumaterialien oder Inventar, die mit Schimmelpilzen, Bakterien oder anderen Mikroorganismen besiedelt sind – unabhängig davon, ob die Organismen vital/aktiv darin wachsen oder gewachsen und bereits abgestorben sind. Man spricht begrifflich hin und wieder auch von **Schimmelschäden**.

Kontamination ist eine über die allgemeine Grundbelastung hinausgehende Verunreinigung von Oberflächen oder Materialien durch Mikroorganismen oder biogene Partikel und Stoffe (Biostoffe), meist über den Luftweg

1.1.1 Bei Feuchtigkeitsschäden wachsende Mikroorganismen

Je nach Feuchte und Dauer des Feuchteschadens können Schimmelpilze, Bakterien, Hefen, Milben und Protozoen wachsen und zu einem Schimmelbefall beitragen.

Schimmelpilze

Schimmelpilze sind ein natürlicher Teil unserer belebten Umwelt und ihre Sporen sind daher auch in allen Innenräumen vorhanden. Ein Schimmelbefall durch das Wachstum von Schimmelpilzen in Innenräumen aufgrund von erhöhter Feuchtigkeit (siehe Kap.1.2) stellt dagegen ein hygienisches Problem dar, zumal bei Schäden in Gebäuden teils andere Arten dominieren als in der natürlichen Umgebung.

Die Artenvielfalt der Schimmelpilze ist kaum überschaubar und es werden immer wieder neue Arten entdeckt.

Bei Schimmelpilzbefall auf Baumaterialien ist die Artenvielfalt der Schimmelpilze jedoch überschaubar. In Tabelle 3 sind z. B. die Gattungen und Arten aufgeführt, die am häufigsten in Zementestrich, Wandputz oder Beton nachgewiesen wurden.

Manche Schimmelpilze sind bei unserem gemäßigten Klima fast überall, d.h. ubiquitär, anzutreffen, wie z.B. Pilze der Gattungen *Cladosporium* oder *Penicillium* (siehe auch Kap. 1.2). Pilze dieser Gattungen sind im Hausstaub zu finden und meist auch in der Luft, wobei die Sporen vielfach mit der Außenluft ins Gebäude gelangen. Häufig wird als typischer Schimmelpilz im Innenraum *Aspergillus niger* erwähnt. Allerdings ist dieser Pilz in feuchten Baumaterialien verhältnismäßig selten zu finden, relativ oft jedoch im Hausstaub.

Andere Arten treten in der Außenluft und auch im Staub entweder nicht oder nur in deutlich geringeren Mengen auf, sind allerdings bei Feuchtigkeitsschäden regelmäßig zu finden, wie z.B. *Aspergillus versicolor* und Pilzarten der Gattung *Chaetomium*. Solche Arten werden daher auch als Indikatoren für Feuchteschäden bezeichnet (siehe Tab. 4). Werden solche Schimmelpilze nachgewiesen, liegt oder lag mit großer Wahrscheinlichkeit erhöhte Feuchtigkeit vor.

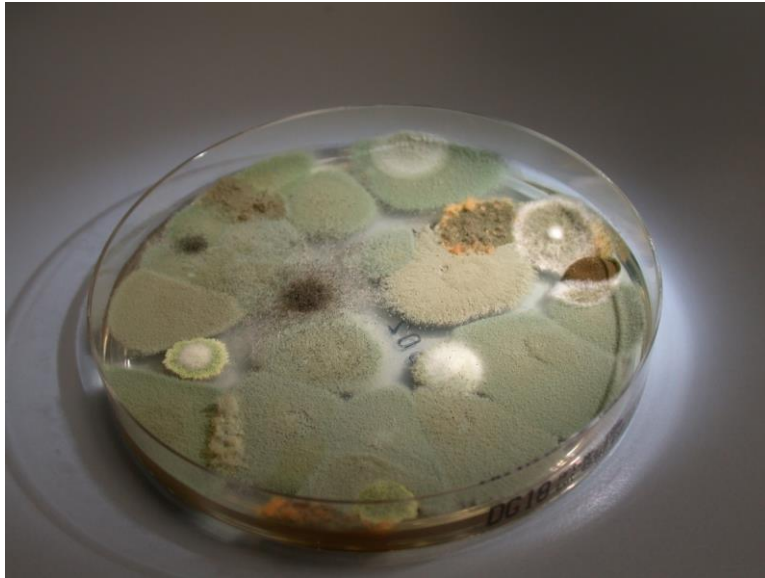


Abb.1: Verschiedene Schimmelpilzarten, die in einer Petrischale auf Nährmedium wachsen und Sporen bilden (Bild: Trautmann, Umweltmykologie)

Tabelle 3: Häufig vorkommende Schimmelpilze und Bakterien in mineralischen Baumaterialien (Zementestrich, Wandputz, Beton) mit mikrobiellem Befall (Konzentration mindestens 1.000 KBE/g), Auswertung von 280 Proben.

Mikroorganismen	Häufigkeit (in %)		Häufigkeit (in %)
<i>Penicillium spp.</i>	80	<i>Asp. sydowii</i>	4
<i>Aspergillus versicolor</i>	65	<i>Mucor spp.</i>	4
<i>Cladosporium spp.</i>	46	<i>Stachybotrys chartarum</i>	4
<i>Acremonium spp.</i>	31	<i>Wallemia sebi</i>	3
<i>Asp. restrictus</i> Gruppe	26	<i>Asp. ochraceus</i>	3
sterile Kolonien	17	<i>Verticillium spp.</i>	2
<i>Egyodontium album</i>	10	<i>Fusarium spp.</i>	2
<i>Ulocladium spp.</i>	9	<i>Trichoderma spp.</i>	2
<i>Chaetomium spp.</i>	8	<i>Absidia spp.</i>	2
<i>Eurotium spp.</i>	8	<i>Alternaria alternata</i>	2
Hefen	8	<i>Exophiala</i>	2
<i>Scopulariopsis spp.</i>	8	<i>Rhizopus</i>	1
<i>Mortierella</i>	5	<i>Botrytis</i>	1
Aktinomyzeten	50	<i>Bacillus spp.</i>	26

Anmerkung: Mit weniger als 1%: *Aphanocladium spp.*, *Asp. tamarii*, *Aureobasidium sp.*, *Blastobotrys sp.*, *Chrysosporium spp.*, *Epicoccum*, *Paecilomyces spp.*, *Phoma spp.*, *Toromyces spp.*, *Tritirachium oryzae* Quelle: Lorenz 2002

Tabelle 4: Schimmelpilze mit hoher Indikation für Feuchteschäden

Acremonium spp.

Aspergillus penicillioides, Aspergillus restrictus, Aspergillus versicolor

Chaetomium spp.

Phialophora spp.

Penicillium chrysogenum

Penicillium brevicompactum

Scopulariopsis brevicaulis, Scopulariopsis fusca

Stachybotrys chartarum

Tritirachium (Engyodontium) album

Trichoderma spp.

Aus: Leitfaden des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg, „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, Stuttgart 2001+2005 verändert

Hefen

Der Begriff „Hefen“ bezeichnet verschiedene Familien von nicht myzelbildenden Pilzen, zu denen mehrere 100 Arten gehören. Hefen werden immer wieder bei Schimmelbefall nachgewiesen, allerdings nur bei ca. jeder zehnten Probe. Die Hefen spielen nach aktueller Auffassung bei Feuchtigkeitsschäden in Bezug auf die gesundheitlichen Aspekte nur eine untergeordnete Rolle, denn sie produzieren keine Sporen oder Mykotoxine. Das Auftreten von Hefen im Zusammenhang mit Schimmel deutet aber auf eine stark erhöhte Feuchtigkeit hin. Hefen benötigen zum Wachstum a_w -Werte (zur Erklärung des a_w -Wertes siehe auch Kap. 1.2) von mindestens 0,9.

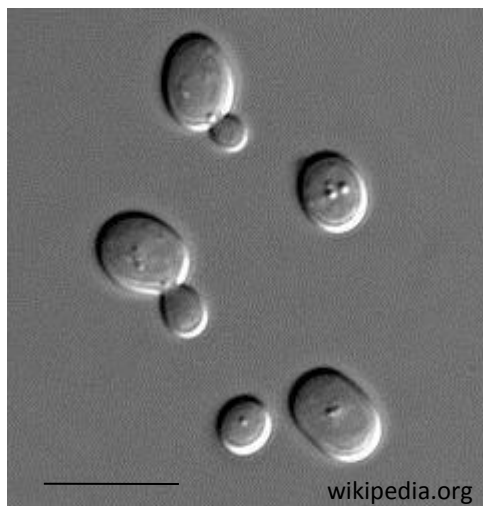


Abb. 2: Hefe unter dem Mikroskop 1000-fach vergrößert (beispielhaftes Bild, wird noch ersetzt)

Bei Laboranalysen werden die Arten oder Gattungen der Hefen meist nicht spezifiziert, da der Aufwand sehr hoch ist und sich daraus keine wesentlichen Informationen für eine Risikobewertung ergeben.

Bakterien

Bei Schimmelschäden treten Bakterien häufig zusammen mit Schimmelpilzen auf. Bei Studien zu Feuchteschäden waren in lediglich ca. 15 % der Proben nur Pilze und keine Bakterien in auffälliger Konzentration nachweisbar (siehe Tab. 1). Nicht selten sind die Konzentrationen (in KBE/g) an Bakterien sogar höher als die der Schimmelpilze.

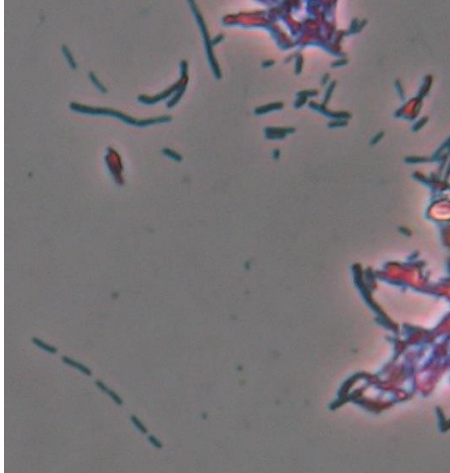


Abb. 3: Myzel eines Aktinobakteriums unter dem Mikroskop (Quelle: Christiane Baschien, UBA)

Trotz des Wissens, dass ein **Schimmelschaden nicht mit dem ausschließlichen Auftreten von Schimmelpilzen gleichzusetzen** ist, führt die Bezeichnung Schimmel oder Schimmelschaden immer wieder zu einer unvollständigen Betrachtung. Gutachter analysieren nicht selten ausschließlich Schimmelpilze und stufen bei negativem Laborbefund deutlich muffig riechende Materialien als nicht befallen ein, obwohl sich dort sehr hohe Konzentrationen an Bakterien nachweisen lassen (zum Nachweis von Bakterien siehe Kap. 5).

Im Gegensatz zu Schimmelpilzen wachsen fast alle Bakterien nur bei sehr hoher Feuchtigkeit (a_w -Werte über 0,9, siehe auch Kap. 1.2) Insbesondere wegen der Schwierigkeiten bei der taxonomischen Bestimmung ist das Wissen über die in Gebäuden auftretenden Bakterienarten lückenhaft. Meist wird nur unterschieden zwischen myzelbildenden Aktinobakterien, ggf. Bacillus-Arten und anderen Bakterien. Sporenbildende Aktinobakterien sind von besonderer Bedeutung, da ihre Sporen wie die Schimmelpilzsporen über den Luftweg verteilt werden und bei den Raumnutzern zu gesundheitlichen Problemen führen können (siehe Kap. 1.3).

Milben

Milben gehören zu einer Unterklasse der Spinnentiere. Die bei Feuchte und Schimmelbefall auftretenden Milben sind mikroskopisch klein (0,1 mm – 0,5 mm). Die bekanntesten Milben sind die beiden häufig auftretenden Hausstaubmilben *Dermatophagoides pteronyssinus* und *Dermatophagoides farinae*. Sie ernähren sich von Hautschuppen und Schimmelpilzen.

Milben können allergische Reaktionen auslösen und damit zu den bei Feuchte- und Schimmelschäden beobachteten gesundheitlichen Problemen der Raumnutzer beitragen.

In den Jahren 2007 bis 2008 wurden im Rahmen eines von der BG Bau initiierten Forschungsprojektes Proben aus Feuchte- und Schimmelpilzschäden aus insgesamt 50 Objekten entnommen und mit verschiedenen Methoden auf das Vorkommen von Milben untersucht.

In allen 50 Proben konnten mit immunologischen Tests Milben-Antigene nachgewiesen werden und in 36 von 50 Proben wurden Milben mikroskopisch nachgewiesen (siehe Tab. 1).



Abb. 4: Hausstaubmilbe (elektronenmikroskopische Aufnahme)
beispielhaftes Bild, wird noch ersetzt)

Tabelle 5: Nachweis von Milben (Zählung und ELISA) in 50 Proben aus Wohnungen mit Schimmelbefall

n= 50	Hausstaubmilben (<i>Dermatophagoides farinae</i> und <i>pteronysinus</i>)	Vorratsmilben (<i>Tyrophagus</i> spp., <i>Acarus siro</i> , <i>Glycyphagus</i> und <i>Lepidoglyphus</i>)	Hausstaubmilben und/oder Vorratsmilben
Anzahl positive Proben bei der Milbenzählung	7	36	36
Anzahl positive Proben beim ELISA-Test	5	49	50

Quelle: Sander et al. 2009

Protozoen

Bei Schimmelschäden können neben Schimmelpilzen und Bakterien auch häufig mikroskopisch kleine, einzellige Tiere (Protozoen) wie beispielsweise Amöben auftreten. So wurden bei Untersuchung von 124 Materialproben von

Feuchtigkeitsschäden in Gebäuden in Finnland in 22 % der Fälle Amöben nachgewiesen (siehe auch Tab. 1). Die Anzahl der Amöben zeigte eine Abhängigkeit von den Konzentrationen der Pilze, der Aktinobakterien und weiterer Bakterien. Außerdem wurden andere Protozoen wie Ciliaten und Flagellaten nachgewiesen.

Es gibt bisher keine Hinweise darauf, dass durch Protozoen im Zusammenhang mit Schimmel gesundheitliche Probleme bei den Raumnutzern hervorgerufen werden.

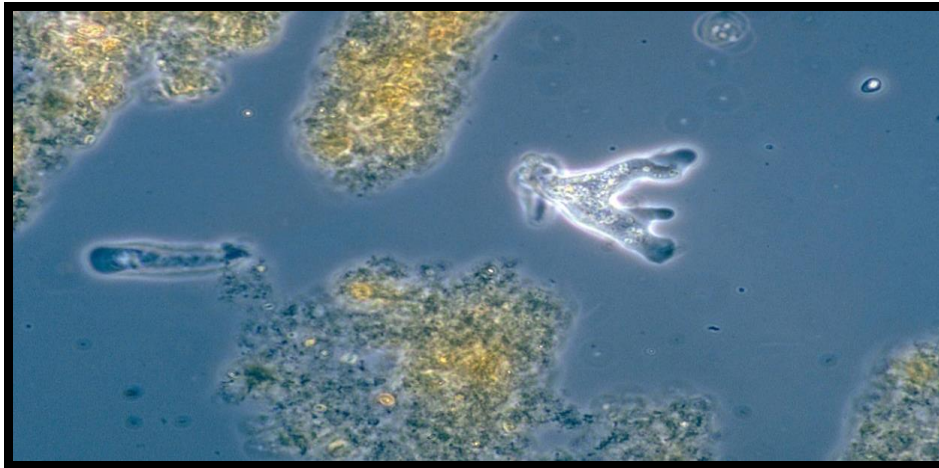


Abb. 5: Amöben in einem Bakterienbiofilm (Quelle: Szewzyk TU Berlin)

1.1.2 Befallene Materialien - Arten von Schimmelbefall

Bewachsen werden können grundsätzlich alle Materialien, die imstande sind, Feuchtigkeit zu speichern, wobei ausschließlich poriges Material Feuchtigkeit aufnehmen und speichern kann. Nicht wachsen können die Mikroorganismen deshalb in porenfreien Materialien wie Glas, Metall, Keramik oder Kunststoffen mit hoher Dichte. Ausgenommen ist, wenn sich auf solchen glatten Materialien durch Ablagerungen und Feuchte im Lauf der Zeit Biofilme gebildet haben, in denen auch Schimmel gedeihen kann. Sichtbarer Befall auf derartigen Materialien ist daher immer auf eine anhaftende Staub- oder Schmutzschicht zurückzuführen, da diese Schicht sowohl Feuchtigkeit speichern kann als auch Nährstoffe enthält.

Bei Schäden relativ schnell besiedelt werden Tapeten, Gipskartonwände, Gegenstände aus Papier oder Leder. Etablierte Feuchtigkeitsschäden mit Bauteildurchfeuchtung führen häufig zu einer Besiedlung in Holzwerkstoffen, Putzen, Dämmstoffen (Mineralwolle, Polystyrol). Schwer besiedelbar sind insbesondere nährstoffarme stark alkalische Materialien, wie Zementestrich, Beton, aber auch Vollholz. Es gibt allerdings „Spezialisten“ unter den Pilzen, die Holzkonstruktionen in der Tiefe besiedeln können. Diese sogenannten „Holzzerstörer“ gehören mit wenigen Ausnahmen jedoch nicht zu den Schimmelpilzen.

Schimmelpilze benötigen zum Wachstum erhöhte Feuchtigkeit (siehe Kap. 1.2). Sie wachsen dabei nicht nur an Stellen, die sofort ins Auge fallen, sondern häufig auch verdeckt an schlecht belüfteten Stellen wie hinter Fußleisten, Schränken, hinter Tapeten oder Verkleidungen.



Fotos verdeckte Schäden (Quelle: Lorenz)

Sind Materialien durchfeuchtet und deren Oberflächen gut belüftet, findet der Befall unterhalb der sichtbaren Oberfläche in den Materialporen statt, wie in Dämmstoffen oder im Wandputz. Diese Schäden können viel Biomasse enthalten, sind aber nur im Labor mikroskopisch oder mittels Kultivierung nachweisbar. Solche Schäden können ohne Freiräumen oder Bauteilöffnung nicht inspiziert werden.

Schimmelschäden sind nicht immer sichtbar

Mikrobielle Schäden können nur zum Teil mit bloßem Auge als Schimmelflecken wahrgenommen werden; daneben gibt es Schäden an verdeckten Stellen oder unter der Materialoberfläche, die nicht sichtbar sind. Sichtbare und nicht sichtbare Schimmelschäden können, müssen aber nicht gemeinsam auftreten.

Sichtbare Flecken mögen zu großer Besorgnis führen, selbst wenn es sich nur um kleine Flächen handelt, jedoch enthalten die nicht sichtbaren Schäden häufig sehr viel mehr Biomasse. So ist z. B. ein Befall von Wandputz in einem Keller mit Wanddurchfeuchtung meist visuell nicht erkennbar, verursacht allerdings in vielen Fällen massiven muffigen Geruch.

1.1.3 Auswirkungen von Schimmelbefall

Schimmelbefall kann zum einen zu störenden Flecken, Geruchsbelästigungen und Materialschäden führen. Durch die Emission von mikrobiellen Stoffen und Zellfragmenten können sie aber auch zu gesundheitlichen Problemen bei den Raumnutzern führen (siehe Kap. 2).

Ein Befall mit Schimmelpilzen und Bakterien kann zu Materialzerstörungen führen, aber der Abbauprozess ist in der Regel so langsam, dass er nicht das Hauptproblem darstellt. Typische Auswirkungen von Materialzersetzungen sind aufgelöster Tapetenkleber oder versandete Putze, bei denen das Bindemittel mikrobiell zersetzt wurde.



Foto Putzversandung,
Quelle: Lorenz, wird noch ergänzt

Mikrobielle Schäden können zu einer unangenehmen Geruchsbelästigung bis hin zu einer inakzeptablen Geruchsbelastung führen. Ob und welche Gerüche auftreten, hängt von den vorliegenden Arten, aber auch vom bewachsenen Material ab. Besonders intensiv riechen Bakterien der Gattung *Bacillus* oder manche Aktinobakterien. Der muffige Geruch in feuchten Altbau-Kellern wird oft von Bakterien der Gattung *Streptomyces* und anderen Aktinobakterien verursacht, die bei Altschäden so gut wie immer in großen Mengen nachzuweisen sind. Besonders stark muffig riechen feuchte, mikrobiell besiedelte Spanplatten, während entsprechend befallenes Polystyrol oder Mineralwolle meist nicht, oder wenn dann nicht muffig riecht.

Zusätzlich zu den mikrobiellen Emissionen können chemische Emissionen aus feuchten Materialien zu Geruchsbelästigungen führen. Erhebliche Geruchsbelästigungen können zu gesundheitlichen Problemen bei den Raumnutzern führen (siehe Kap. 2).

Folgen für die Innenraumhygiene

Das folgenschwerste Problem von Schimmelschäden sind die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen auf die Raumnutzer (siehe Kap. 2). Insbesondere wachsende Mikroorganismen führen bei Schimmelbefall zur Emission von Bioaerosolen bestehend aus Sporen, Zellen, Zellbruchstücken, flüchtigen organischen Verbindungen (MVOC) und toxischen Stoffen, die Einfluss auf die Gesundheit der Raumnutzer haben können. Welche Stoffe oder Partikel ursächlich für die gesundheitlichen Beschwerden verantwortlich sind, ist für die meisten Erkrankungen nicht geklärt. Jedoch ist die Mischbelastung durch die Bioaerosole ein ernst zu nehmendes hygienisches Problem (siehe Kap. 2).

1.2 Eigenschaften und Vorkommen von Schimmelpilzen in Innenräumen

1.2.1 Eigenschaften von Schimmelpilzen

„Schimmelpilze“ ist ein Sammelbegriff für Pilze, die typische Pilzfäden und Sporen ausbilden können und dadurch makroskopisch als (oft gefärbter) Schimmelbelag sichtbar werden (vgl. Abb. 1). Es handelt sich dabei aber nicht um eine einheitliche Gruppe von Pilzen, vielmehr sind unter dem Begriff „Schimmelpilze“ fädige Pilze aus unterschiedlichen taxonomischen Gruppen (Ascomyceten, Zygomyceten) und ihre anamorphen Stadien (früher Deuteromyceten oder Fungi imperfecti genannt) zusammengefasst.

Die einzelnen Schimmelpilzarten werden mit einem lateinischen Doppelnamen bezeichnet. Dabei bezeichnet der erste Teil des Namens die übergeordnete Pilzgattung (z.B. *Aspergillus*, *Penicillium*), der zweite Teil des Namens die einzelne Pilzart (syn. Pilzspecies; z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium chrysogenum*).

Viele Schimmelpilze haben aufgrund neuer taxonomischer Erkenntnisse neue Namen erhalten. Dies liegt daran, dass durch molekularbiologische Untersuchungen erkannt wurde, dass es sich bei manchen, bisher als eigene Arten beschriebenen (Schimmel)pilzen in Wirklichkeit um die sexuelle und asexuelle Form des gleichen Pilzes handelt. Seit 01.01. 2013 ist die duale Nomenklatur für die sexuelle (teleomorphe) und asexuelle (anamorphe) Form der Pilze abgeschafft (one fungus – one name). Dadurch hat es auch für Schimmelpilze Änderungen der Gattungs- und Artnamen gegeben (siehe Beispiele in Tab. 6).

Tabelle 6: Beispiele aktueller nomenklatorischer Änderungen für innenraumrelevante Schimmelpilze

Gültiger Name	Basionym/ Name bis 2012
<p><i>Talaromyces</i> spp. z.B.: <i>Talaromyces albobiverticillius</i> <i>Talaromyces variabilis</i> <i>Talaromyces funiculosus</i></p>	<p><i>biverticillate Penicillium</i> spp. z.B.: <i>Penicillium albobiverticillium</i> <i>Penicillium variabile</i> <i>Penicillium funiculosum</i></p>
<p><i>Aspergillus</i> spp. z.B.: <i>Aspergillus glaucus</i> <i>Aspergillus rubrobrunneus</i> <i>Aspergillus chevalieri</i></p>	<p><i>Eurotium</i> spp. z.B.: <i>Eurotium herbariorum</i> <i>Eurotium rubrum</i> <i>Eurotium chevalieri</i></p>
<p><i>Aspergillus</i> spp. z.B.: <i>Aspergillus nidulans</i></p>	<p><i>Emericella</i> spp. z.B.: <i>Emericella nidulans</i></p>

Internetlink mit weiterführenden Infos zu diesem Thema: <http://de.mycobank.org/>

Schimmelpilze bilden in der Wachstumsphase Zellfäden (Hyphen, siehe Abb. 6), deren Gesamtheit man als **Myzel** bezeichnet. Da diese Fäden meist farblos sind, sind die Schimmelpilze 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. 6-8). 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.

Abb. 6: wird ergänzt!

Bild von Umweltmykologie: Myzel, Lufthyphen, Sporenträger

Schimmelpilzsporen umfassen mit wenigen Ausnahmen den Größenbereich von 2 μm bis 30 μm (maximaler Bereich 1 μm -100 μm , 1 μm entspricht 1/1000 mm). Die meisten Sporen haben Durchmesser unter 10 μm . Sie sind damit einatembar und können in der Luft über weite Strecken schweben und mit dem Wind transportiert werden.

Abb. 7: wird ergänzt!

Aspergillus sp. unter dem Mikroskop, (400-fache Vergrößerung)

Abb. 8:wird ergänzt!

Stachybotrys sp. unter dem Mikroskop

Schimmelpilze kommen in der Natur häufig vor. Sie sind an der Zersetzung von organischem Material beteiligt und spielen damit eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf der Natur. Schimmelpilzsporen sind daher ein normaler Bestandteil der Außenluft und auch in der Innenraumluft immer vorhanden. Wichtig ist, dass die Konzentration an Schimmelpilzen in der Außenluft je nach Ort, Klima, Tages- und Jahreszeit großen Schwankungen unterworfen ist (siehe Abb. 9). Diese Schwankungen werden einerseits durch natürliche Einflüsse hervorgerufen, beispielsweise durch Änderung der Temperatur und Feuchtigkeit im Jahresverlauf sowie durch Abhängigkeit von der geographischen Lage, Ansammlung von verrottendem Material oder Aufwirbelung von Erde. Andererseits können auch durch menschliche Aktivitäten Schimmelpilze freigesetzt werden, wie z.B. in Kompostierungsanlagen, Wertstoffsortierungsanlagen, Tierhaltungsanlagen oder in der Getreideverarbeitung.

Schimmelpilze, die in der Innenraumluft nachgewiesen werden, können aus verschiedenen Quellen stammen. Zum einen können sie bei Lüftungsvorgängen aus der Außenluft in den Innenraum gelangt sein, sie können mit Staub und Schmutz an Kleidung und Schuhen in Gebäude verschleppt worden sein. Zum anderen können sie aus Quellen im Innenraum stammen. Um dies unterscheiden zu können, ist es wichtig, bei Untersuchungen der Innenraumluft parallel eine vergleichende Messung in der Außenluft oder in einem Referenzraum durchzuführen (Ausnahme Sanierungskontrolle, siehe Kap. 5).

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

Zu vermeiden ist jedoch eine erhöhte Konzentration von Schimmelpilzen durch Wachstum im Innenraum.

Die Konzentration an Schimmelpilzen in der Außenluft ist starken Schwankungen unterworfen. Dies muss bei der Bewertung von Raumluftkonzentrationen im Innenraum berücksichtigt werden.

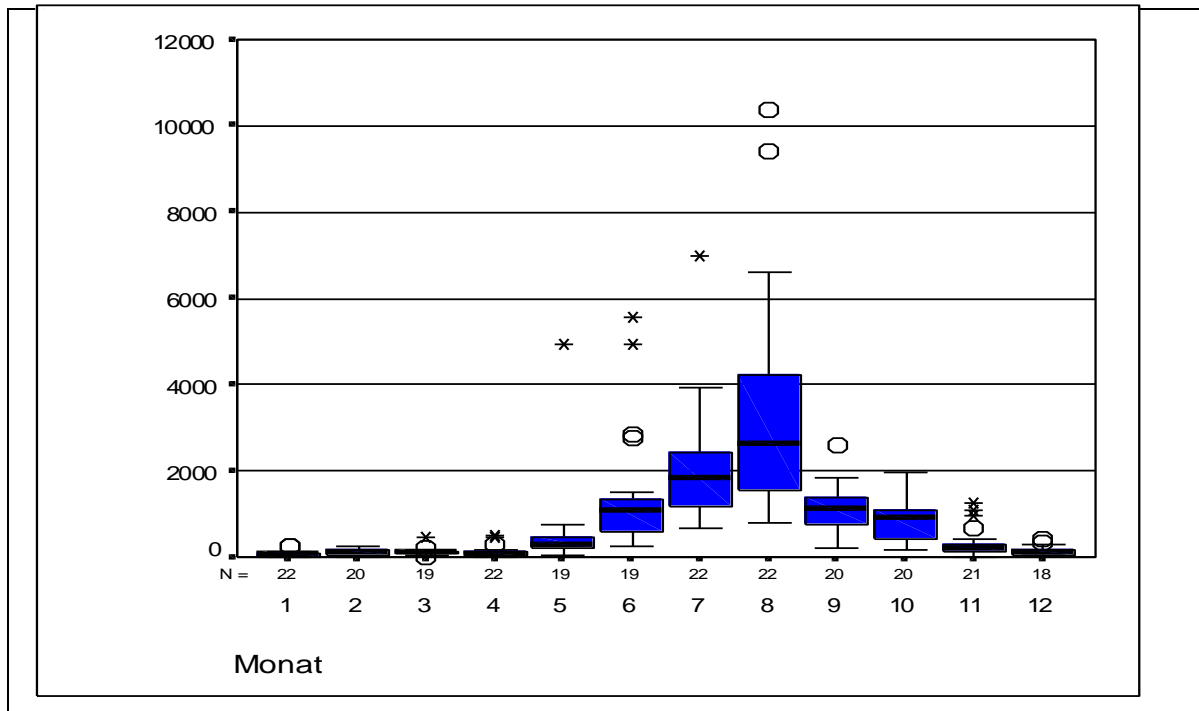


Abb.9: Jahreszeitlicher Verlauf der Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft. Die Boxplots zeigen den Medianwert (dicke schwarze Linie), das 25. und 75. Perzentil (Begrenzung blauer Bereich), das 5. und 95.

Perzentil sowie Ausreißer (o) und maximale Werte (*).

Quelle: Koch et al (2000): Indoor viable mold spores- a comparison between two cities, Erfurt (eastern Germany) and Hamburg (western Germany). Allergy 55: 176-180

1.2.2 Faktoren, die das Wachstum von Schimmelpilzen beeinflussen

Schimmelpilze benötigen zum Wachstum Nährstoffe und Feuchtigkeit. Da in Gebäuden Nährstoffe in mehr oder weniger gut verfügbarer Form vorhanden sind, kommt der Feuchtigkeit eine ausschlaggebende Bedeutung zu. Die Temperatur und der pH-Wert spielen ebenfalls eine Rolle, wobei Schimmelpilze in einem vergleichsweise weiten Temperatur- und pH-Bereich wachsen können. Je nach Nährstoffen, Temperatur- und pH-Wert wird das Schimmelpilzwachstum langsamer oder schneller ablaufen (siehe Kap. 1.2.3 und 1.2.4). Neben biologischen und physikalischen Einflussfaktoren bildet der Eintrag von Feuchtigkeit über Wasserschäden im Bauwerk (Leitungswasserschäden, unzureichende Abdichtung von Nasszellen, Restbaufeuchte etc.) oder von außen (z.B. nach Hochwasser) eine entscheidende Ursache für das Wachstum von Schimmelpilzen und sonstigen Mikroorganismen.

Feuchtigkeit

Die wichtigste Ursache für das Wachstum von Schimmelpilzen in Gebäuden ist **Feuchtigkeit**.

Feuchtigkeit wird häufig durch die sogenannte Wasseraktivität (a_w -Wert) beschrieben, wobei der a_w -Wert eines feuchten Materials (unter Gleichgewichtsbedingungen) dem Zahlenwert der an der äußeren und inneren Materialoberfläche vorliegenden relativen prozentualen Luftfeuchte geteilt durch 100 entspricht; ein a_w -Wert von 0,8 entspricht also bspw. 80% rel. Luftfeuchte. Um zu erkennen, bei welchen raumklimatischen Randbedingungen mit Schimmelpilzbildung zu rechnen ist, muss man wissen, dass Schimmelpilze sowohl aus dem Substrat als auch aus der Luft Wasser bzw. Wasserdampf aufnehmen können.

Man geht davon aus, dass Sporen während des Keimens die Feuchtigkeit aus der unmittelbaren Umgebung aufnehmen. Erst das nach der Keimung gebildete Myzel kann auch Feuchtigkeit aus dem Baustoff aufnehmen, denn die Schimmelpilzhyphen können in das Porengefüge eines Baustoffs eindringen.

Jede Pilzspezies wächst in einem charakteristischen Feuchtebereich, der die Intensität des Wachstums bestimmt (siehe Tab. 7). Xerophile Vertreter, wie z. B. *Aspergillus restrictus* können bereits ab einer Feuchte von 71 %-75 % über oder in dem Material wachsen, die meisten Schimmelpilze benötigen zum Wachstum a_w -Werte von mindestens 0,80-0,85. *Stachybotrys chartarum* braucht sehr viel mehr Feuchtigkeit zum Wachstum (minimaler a_w -Wert von 0,94) und tritt daher nur bei starker Durchfeuchtung des Materials, z.B. nach Wasserschäden, auf. Schimmelpilze können damit in der Regel trockenere Bereiche besiedeln als Bakterien, von denen fast alle zum Wachstum a_w -Werte über 0,9 benötigen.

Tabelle 7: Für das Wachstum unterschiedlicher Schimmelpilze erforderliche minimale Wasseraktivitätswerte (minimale a_w -Werte)

Schimmelpilzart	Minimale a_w -Werte
<i>Wallemia sebi</i>	0,69-0,75
<i>Aspergillus restrictus</i>	0,71-0,75
<i>Aspergillus versicolor</i>	0,78
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,78-0,81
<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>Rhizopus stolonifer</i>	0,93
<i>Stachybotrys chartarum</i>	0,94

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

Die **Feuchtegrenze**, unterhalb derer kein Wachstum von Schimmelpilzen auf Materialien stattfindet, liegt unter sonst optimalen Bedingungen bei ca. 70 % relativer Feuchte an der Oberfläche.

Mit zunehmendem Feuchtegehalt steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Schimmelpilzwachstum auftritt. Bei 80 % relativer Feuchte an der Oberfläche sind bei ausreichend hoher Oberflächentemperatur (deutlich im Plusgradbereich) die Wachstumsbedingungen für viele innenraumrelevante Schimmelpilzarten erreicht.

Bei höherer **Oberflächenfeuchte** können nahezu alle Schimmelpilzarten sowie Bakterien wachsen.

Viele Schimmelpilze können auch auf Materialien wachsen, die nicht sichtbar nass sind. Es genügt eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 % bis 80 % an der Oberfläche des Materials, wenn diese über längere Zeit einwirkt. Besonders gute Wachstumsbedingungen finden sich immer dann, wenn es zu Kondensation (Tauwasserbildung) auf oder im Material kommt. Die unterschiedlichen Stoffwechselfunktionen von Pilzen laufen bei unterschiedlichen Wasseraktivitäten ab. So unterscheiden sich die minimal erforderlichen und optimalen a_w -Werte für Sporenkeimung, Wachstum und Mykotoxinproduktion.

Temperatur

Schimmelpilze können in einem weiten **Temperaturbereich** wachsen.

Pilzarten, die ein optimales Wachstum in einem mittleren Temperaturbereich (25-35 °C) zeigen, werden als mesophil, solche, die auch noch bei hohen Temperaturen (30-40 °C) gut wachsen können, als thermotolerant bezeichnet. Liegt das Wachstumsoptimum bei hohen Temperaturen, handelt es sich um thermophile Pilze (siehe Tab. 8).

Außerhalb von Räumen finden in unseren Breiten mesophile Schimmelpilze am ehesten optimale Temperaturbedingungen. 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 *Aspergillus fumigatus*, kommen dagegen in unseren Breiten in Europa vergleichsweise selten vor.

Tabelle 8: 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 nach Mücke M, Lemmen Ch (1999): Schimmelpilze, Vorkommen, Gesundheitsgefahr, Schutzmaßnahmen. Ecomed-Verlag Landsberg.

Nährstoffe

Schimmelpilze können eine Vielzahl von Materialien als **Nährstoffquellen** nutzen.

Materialien, auf denen Schimmelpilze wachsen können sind z. B.:

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

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

Der **Nährstoffgehalt** des Untergrundes (Substrat) ist neben der Feuchtigkeit und der Temperatur eine weitere wichtige Einflussgröße für Schimmelpilzwachstum.

In der Regel sind auf Oberflächen in Innenräumen ausreichend Nährstoffe vorhanden.

Auch wenn die Feuchtigkeit der wichtigste Faktor ist, müssen die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen „Feuchtigkeit, Temperatur und Nährstoffe“ über eine bestimmte Zeitperiode gleichzeitig im günstigen Bereich vorhanden sein, damit Schimmelpilzsporen auskeimen und anschließend das Myzel wachsen kann (siehe Kap. 1.2.3 und 1.2.4).

pH-Wert

Inwieweit ein Substrat von Schimmelpilzen zum Wachstum genutzt werden kann, hängt auch vom pH-Wert ab. Der optimale Wachstumsbereich für Schimmelpilze ist von der Schimmelpilzart abhängig, viele Schimmelpilze können in einem Bereich zwischen pH 3 und 9 gut wachsen. Insgesamt werden pH-Werte zwischen 2 und 11 von einzelnen Schimmelpilzen toleriert.

Schimmelpilze können in einem breiten pH-Bereich wachsen. Oberhalb von pH 11 gedeihen Schimmelpilze so gut wie nicht mehr. Dies nutzt man aus, um in wenig genutzten Räumen (dauerhaft feuchte Kellerräume) durch stark alkalische Anstriche Schimmelpilzwachstum vorübergehend zu unterbinden (siehe. Kap. 6).

Tapeten und Anstriche weisen beispielsweise oft einen pH-Wert zwischen 5 (z. B. Raufasertapete) und 8 (z. B. Kunstharz-Dispersionsanstrich) auf. Kalkhaltige Baustoffe, wie zum Beispiel Putzmörtel oder Beton, können pH-Werte von mehr als 12 aufweisen. Trotzdem kann auch darauf Schimmelpilzwachstum entstehen, wenn sich z. B. organische Ablagerungen auf den Materialien gebildet haben. Außerdem führt das in der Luft enthaltene Kohlendioxid zu einer Karbonatisierung und damit zu einem Absenken des pH-Wertes. Kalkanstriche z. B. haben deshalb nur eine zeitlich begrenzte Wirkung gegen Schimmelpilzwachstum, wenn andere begünstigende Faktoren nicht ausgeschlossen werden können und müssen bei Bedarf regelmäßig erneuert werden.

1.2.3 Kombination von Temperatur und Feuchtigkeit

Die Auskeimung oder das Myzelwachstum kann bei den minimalen Werten der relativen Luftfeuchtigkeit nur stattfinden, wenn auch optimale Temperaturen und eine gute Nährstoffversorgung vorhanden sind. Sind die Temperaturen nicht optimal, findet Auskeimung oder Myzelwachstum erst bei höheren Luftfeuchten statt. Eine Überlagerung der beiden Einflüsse Temperatur und Feuchte lässt sich in einem Diagramm als Linien gleicher Auskeimungszeit bzw. gleichen Wachstums (so genannte Isoplethen) darstellen. Abb. 10 zeigt exemplarisch die Isoplethen für das Myzelwachstum von zwei Schimmelpilzarten der Gattung *Aspergillus*. So kann z. B. *Aspergillus versicolor* bei einer relativen Oberflächenfeuchte von 85 % bei 10 °C nur 0,01 mm pro Tag, bei 25 °C dagegen 0,5 mm pro Tag wachsen (siehe Abb. 10). Die äußersten Kurven kennzeichnen die Bedingungen, unter denen kein Wachstum mehr feststellbar ist.

Die **Wachstumsvoraussetzungen, Feuchtigkeit und Temperatur, können im Praxisfall nicht getrennt voneinander betrachtet** werden, da sich bei gleicher absoluter Feuchte der Wert der relativen Feuchtigkeit mit der Temperatur verändert.

Daher verschieben sich die zur Keimung oder zum Wachstum benötigten minimalen und optimalen Feuchtigkeiten bei unterschiedlichen Temperaturen.

Diese Isoplethen beruhen auf Literaturdaten und einzelnen, ausgewählten Untersuchungen. Sie sollen als Hinweis für die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Schimmelpilzwachstums dienen. Sie umfassen aber nicht alle im Einzelfall auftretenden Situationen.

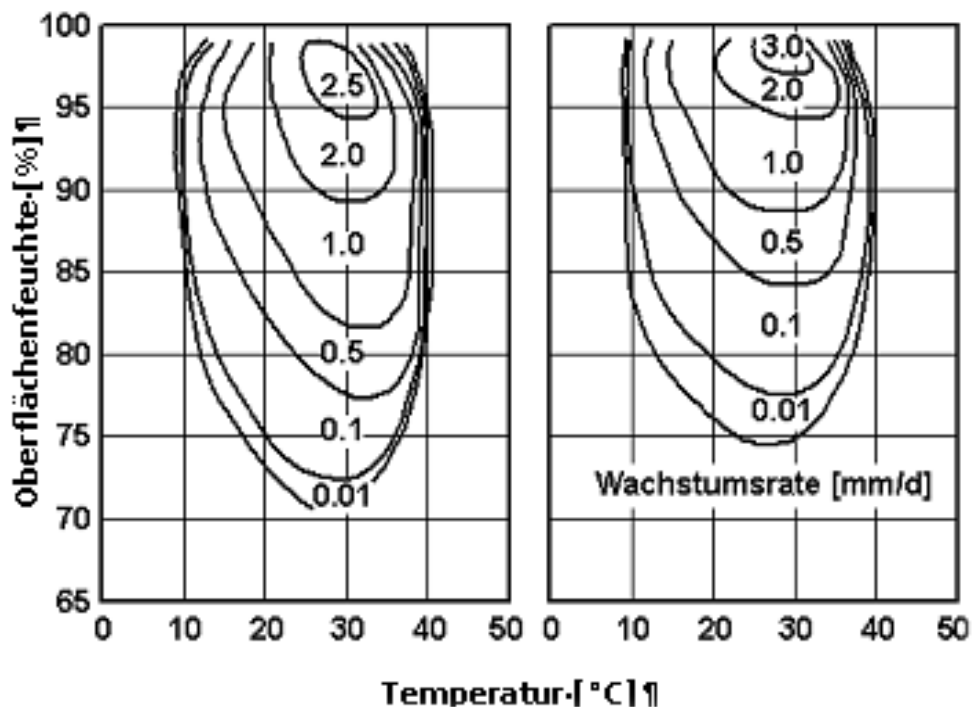


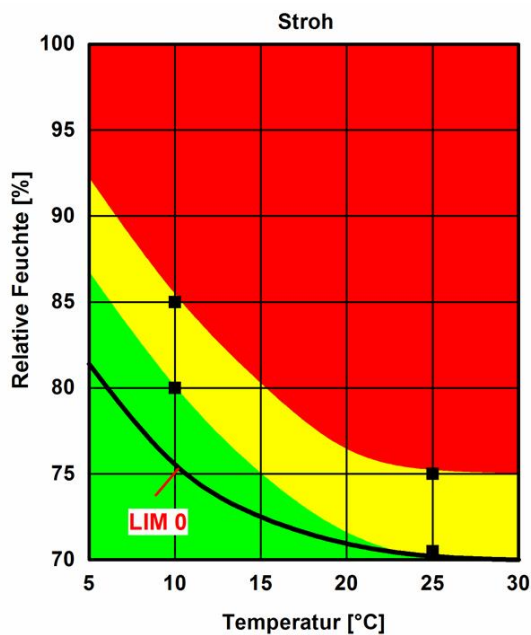
Abb. 10: Isoplethensysteme für Myzelwachstum der Schimmelpilze *Aspergillus restrictus* (links) und *Aspergillus versicolor* (rechts) in Abhängigkeit von relativer Oberflächenfeuchte und Temperatur nach Smith et al. (1982). Die Zahlen an den Isoplethen kennzeichnen die Wachstumsraten in Millimeter pro Tag (mm/d).

1.2.4 Kombination von Temperatur, Feuchtigkeit und Nährstoffgehalt

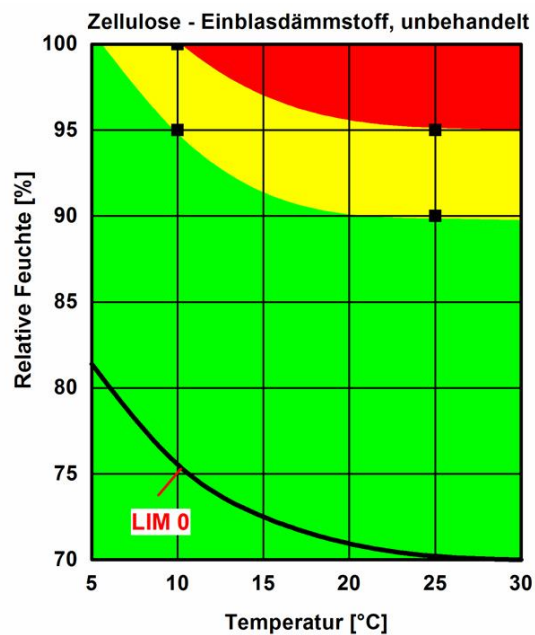
Der **Nährstoffgehalt** übt einen zusätzlichen Einfluss auf das Wachstum von Schimmelpilzen aus. Untersuchungen haben ergeben, dass je nach Oberflächenfeuchte und Temperatur materialspezifisch unterschiedliche Zeiträume zur Entwicklung von Schimmelpilzen erforderlich sind. Das können wenige Tage bis einige Wochen sein.

Unter Berücksichtigung der Oberflächenfeuchte, der Temperatur und des Nährstoffgehalts lassen sich umfassende verallgemeinerte Isoplethensysteme entwickeln (siehe Infobox). Mit Hilfe dieser Isoplethensysteme kann für bestimmte Temperaturen und relative Feuchtwerte die Wahrscheinlichkeit eines Schimmelbefalls eingeschätzt und modelliert werden.

Eine vereinfachte anschauliche Darstellung des materialspezifischen Resistenzverhaltens von Baustoffen bietet die so genannte Isoplethenampel (Abb. 11). Die Isoplethen geben Wachstumshinweise, können jedoch nicht alle Bedingungen in der Praxis abbilden.



Geringe Schadenstoleranz



Deutlich höhere Schadenstoleranz

Abb. 11: Gemessenen Isoplethenbereiche von Stroh (links) und von einem Zellulose Einblasdämmstoff (rechts) in der Darstellungsform „Isoplethen-Ampel“. Es sind Labormessungen zum Schimmelwachstum bei verschiedenen Kombinationen von relativer Luftfeuchte und Temperatur dargestellt. In den roten Arealen ist Schimmelwachstum sehr wahrscheinlich, während in den grün gefärbten Bereichen nicht mit Schimmelwachstum zu rechnen ist. Die gelben Zonen kennzeichnen einen Übergangsbereich, in dem Schimmelwachstum nicht völlig ausgeschlossen werden kann. Der Lim-0 bezeichnet den so genannten „Lowest Isopleth for Mould“, dieser wurde für eine große Auswahl an Schimmelpilzen von Baustoffen im Labor unter Einsatz von optimalen Nährstoffbedingungen auf Agarplatten (Voll-Nährböden) ermittelt. Bei den beiden verglichenen Baustoffen zeigt sich das Stroh als relativ anfällig für Schimmelpilzwachstum, während der unbehandelte Zellulose Einblasdämmstoff eine relativ hohe natürliche Resistenz gegenüber dem Befall durch Schimmelpilze aufweist.“(Lit Sedlbauer)

INFOBOX: Isolethensysteme mit Substratverfügbarkeit

Die wechselseitige Abhängigkeit der Faktoren Feuchtigkeit, Temperatur und Nährstoffgehalt (Substrat) lässt sich über Isolethensysteme darstellen.

Da sich zwischen einzelnen Pilzspezies bei den Wachstumsvoraussetzungen signifikante Unterschiede ergeben, wurden für die nachfolgenden Isolethensysteme nur Daten von Schimmelpilzen berücksichtigt, die in Gebäuden bei Feuchteschäden auftreten können.

Um den Einfluss der Nährstoffe zu berücksichtigen, wurden für verschiedene Substratgruppen Isolethensysteme entwickelt (Sedlbauer 2001):

Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z. B. Vollmedien); diese Isolethensysteme gelten für die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die untere Wachstumsgrenze.

Substratgruppe I: Biologisch verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen, stark verschmutztes Material.

Substratgruppe II: Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen.

Im Fall einer starken Verschmutzung sollte für die Beurteilung stets die Substratgruppe I zugrunde gelegt werden.

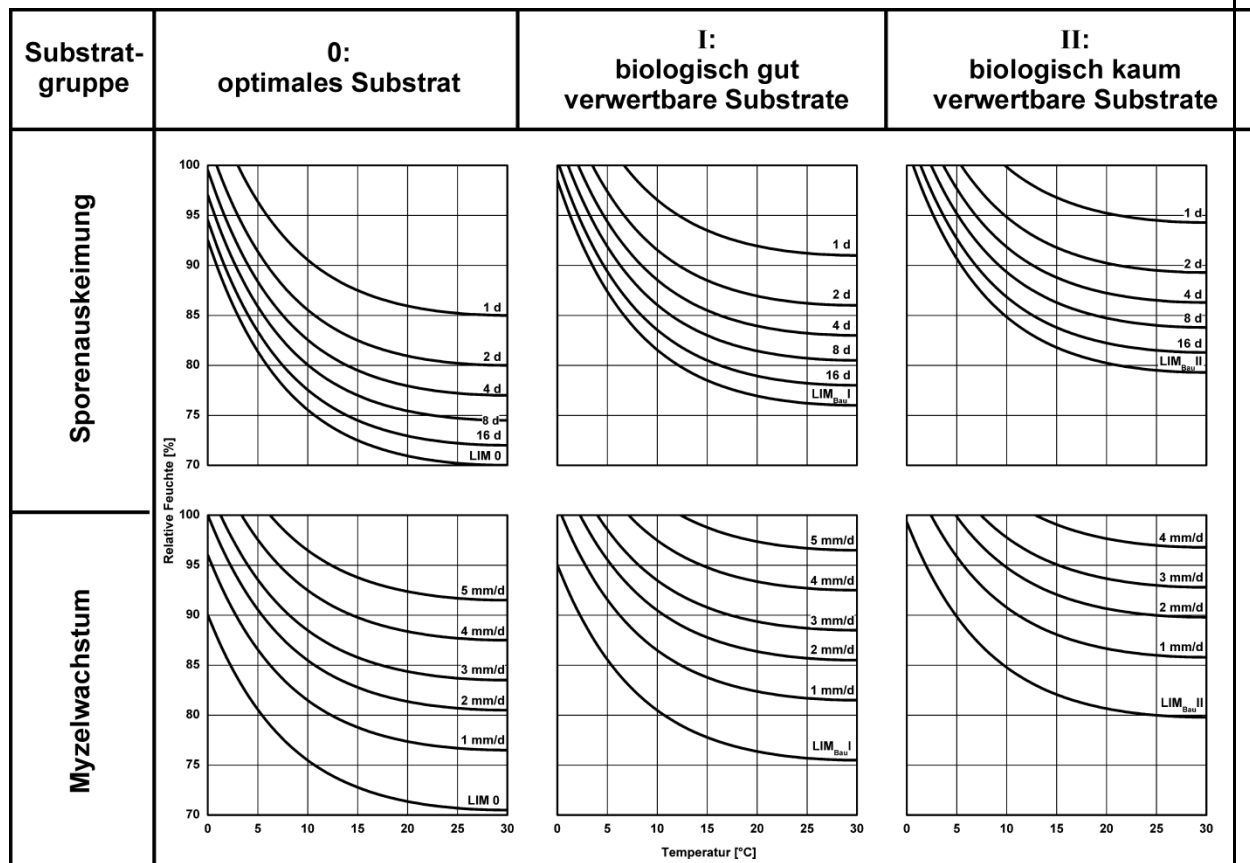


Bild: Verallgemeinerte Isolethensysteme für die Sporenauskeimung (oben) und Myzelwachstum (unten), die für in Bauteilen auftretenden Pilze gelten (nach Sedlbauer 2001); für optimales Substrat (links), für Substratgruppe I (mittig) und für Substratgruppe II (rechts). Die angegebenen Werte charakterisieren die Zeitdauer in Tagen, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist, bzw. das zu erwartende Wachstum in mm/Tag. LIM bedeutet (Lowest Isoleth for Mould) unterste Grenze der Sporenauskeimung bzw. des Myzelwachstums.

In Wohnräumen sind meist Nährstoffe und für das Wachstum von Schimmelpilzen notwendige Temperaturen vorhanden. Daher kommt zur Vermeidung des Wachstums der Reduktion der Feuchte im Material bzw. auf seiner Oberfläche eine entscheidende Bedeutung zu (siehe Kap. 3 und 4). Auch bei der Sanierung von mit Schimmelpilz befallenen Wohnungen ist ein langfristiger Erfolg nur zu erreichen, wenn die Ursachen für die erhöhte Feuchtigkeit gefunden und beseitigt werden (siehe Kap. 6).

1.3 Aktinobakterien bei Schimmelbefall in Innenräumen

Aktinobakterien ist der deutsche Begriff für die Klasse *Actinobacteria*, die im Jahr 1997 vorgeschlagen wurde, um der großen morphologischen Diversität der bis zu diesem Zeitpunkt auch als „Aktinomyzeten“ bezeichneten Bakteriengruppe Rechnung zu tragen.

Es wird vorgeschlagen, für die Praxis den Begriff Aktinomyzeten in Zukunft nur noch für die auf Agarplatten zu erkennenden myzelbildenden Bakterien der Ordnung *Actinomycetales* zu verwenden.

1.3.1 Aktinobakterien

Bei den *Actinobacteria* handelt es sich um heterotrophe, überwiegend aerobe Bakterien, die in ihren morphologischen, physiologischen und cytochemischen Eigenschaften stark variieren. Die sehr große morphologische Diversität der Aktinobakterien reicht von Kokken bzw. kokkoiden Zellen bis hin zu komplexen myzelialen Strukturen (daher der frühere Name „Aktinomyzeten“, der oftmals eine Verwechslung mit „echten Pilzen“ nach sich zieht).

Bereits in der Ordnung *Actinomycetales*, zu der viele im Innenraum vorkommende Aktinobakterien wie *Streptomyces* und *Nocardia* aber auch Mykobakterien gehören, sind mehr als 150 verschiedene Gattungen mit zum Teil sehr unterschiedlichen Ausprägungen koloniemorphologischer Merkmale zusammengefasst.

Charakteristisch für viele Aktinobakterien ist die Fähigkeit, ein Mycel auszubilden. Die Hyphen sind im Vergleich zu Schimmelpilzhypen aber deutlich dünner (ca. 1 µm, siehe Tab. 2). Bei vielen Arten sind freie Myzelstränge aus den Oberflächenkolonien in den Luftraum (Luftmycel) erkennbar, wodurch sie ein charakteristisches pulvriges bzw. samtiges koloniemorphologisches Bild besitzen. Viele Aktinobakterien können Sporen ausbilden und sich dadurch verbreiten und vermehren. Hierbei wachsen die vegetativen Hyphen zu langen Filamenten aus, die zu Sporophoren umgebildet werden, an denen durch Differenzierung der Fragmente Sporen reifen, die dann an die Luft freigesetzt werden.

Einige Vertreter der Aktinobakterien bilden spezifische Sekundärmetabolite wie leicht flüchtige organische Komponenten, die z.T. geruchsintensiv sind. Weiterhin ist bekannt, dass einige Aktinobakterien Toxine als Stoffwechselprodukte produzieren. Insbesondere zählen zahlreiche *Streptomyces*-Arten zu den bekanntesten potentiellen Produzenten von antibiotischen und/oder toxischen Wirkstoffen. In Bezug auf die Bildung von toxischen Stoffen sowie pathogenen Eigenschaften benennt die Kommission für Arbeitsschutz und Normung die Gattungen *Actinomyces*, *Mycobacterium*, *Frankia*, *Dermatophilus*, *Nocardia*, *Rhodococcus*,

Streptomyces, *Micromonospora*, *Gordona*, *Tsukamurella* und *Actinomadura* als gesundheitlich relevant. Entsprechend dem erhöhten Vorkommen in Innenräumen mit Feuchteschäden, der damit verbundenen Exposition des Menschen und unter Berücksichtigung der cytochemischen Merkmale sind also Aktinobakterien und andere Gram-positive Bakterien schon seit langem Gegenstand des klinischen wissenschaftlichen Interesses (siehe Kap. 2).

In der umfangreichen Studie von Gabrio et al. (2009)¹ konnte bestätigt werden, dass Aktinobakterien einen wichtigen Bestandteil der mikrobiellen Gemeinschaft in Räumen mit Feuchteschäden darstellen. Hierbei konnten insbesondere *Streptomyces*, *Amycalotopsis*, *Pseudonocardia*, *Nocardia* und *Promicromonospora* mittels molekularbiologischen und auf Kultivierung basierenden Methoden nachgewiesen werden. Im Rahmen dieser Studie wurde eine Vielzahl von neuen im Innenraum vorkommenden Arten und Gattungen entdeckt (Tab. 9).

Über die Wachstumsbedingungen von Aktinobakterien liegen keine so detaillierten Erkenntnisse wie für Schimmelpilze vor. Man kann jedoch davon ausgehen, dass sie ähnliche Wachstumsbedingungen tolerieren, bzw. bevorzugen, wie die mit ihnen assoziierten Schimmelpilze. Meist treten sie aufgrund ihres relativ langsamen Wachstums eher bei Altschäden sowie - wie andere Bakterien - in der Regel bei hohen a_w -Werten auf.

1.3.2 Nachweis und Identifizierung von Aktinobakterien

Viele Aktinobakterien können nicht durch Kultivierung nachgewiesen werden, da sie zum Teil sehr spezifische Wachstumsansprüche haben und von anderen Bakterienkolonien nicht unterschieden werden können. Für die Praxis ist es daher sinnvoll, nur Aktinomyzeten (myzelbildende Aktinobakterien der Ordnung *Actinomycetales*) nachzuweisen, da sie, wenn sie auf Agar morphologisch relativ gut erkennbare Kolonien bilden.

Trotzdem gestalten sich der Nachweis und die Identifizierung von Aktinomyzeten schwieriger als von Schimmelpilzen. Beim Einsatz von kultivierungsabhängigen Standardverfahren und –medien werden sie häufig von den mit ihnen assoziierten Schimmelpilzen „überwachsen“, und übersehen. Die Isolierung von Aktinomyzeten von feuchten Materialien aus Innenräumen ist zudem schwierig, weil die Gruppe der Aktinomyzeten sehr unterschiedliche Organismen mit sehr unterschiedlichen Wachstumsansprüchen enthält. Um diese zu berücksichtigen, müssen unterschiedliche Nährmedien verwendet werden (Gabrio et al. 2009¹).

Es ist daher nicht möglich, eine allgemein anwendbare Routinemethode zum Nachweis von „allen“ Aktinomyzeten anzugeben. Bei bestimmten Fragestellungen (siehe Kap. 5) kann es wichtig sein, zu untersuchen, ob bei einem Feuchteschaden ein Aktinomyzetenbefall vorliegt. Deshalb wird für die Routine empfohlen, die Aktinomyzeten auf Mineralagar nach Gauze zu isolieren (siehe Kap. 5).

¹ Gabrio T., Weidner U., Miljanic T., Fischer G., Groth I., Martin K., Kämpfer P., Jäckel U., Schäfer J., Lorenz W., Trautmann Ch. & Dill I. (2009). Untersuchungen zum Vorkommen und zur gesundheitlichen Relevanz von Bakterien in Innenräumen Forschungsbericht 205 62 236 UBA-FB 001229 Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. <https://www.baufachinformation.de/literatur/Untersuchungen-zum-Vorkommen-und-zur-gesundheitlichen-Relevanz-von-Bakterien-in-Innenräumen/2012079010482>

Die Art-Identifizierung von Aktinomyzeten innerhalb einer Gattung ist aufgrund der vergleichsweise geringen morphologischen Unterschiede und der ständig anwachsenden Zahl der bekannten Arten mit morphologischen sowie mit biochemischen Methoden nicht oder nur sehr begrenzt möglich. Häufig können Aktinobakterienisolate auch durch die Kombination von morphologischen und biochemischen Methoden nicht sicher bis auf das Artniveau und in einigen Fällen auch nur unsicher auf Gattungsniveau identifiziert werden. Mit molekularbiologischen Methoden können Aktinobakterienisolate relativ effizient zumindest auf Gattungsniveau differenziert werden. Diese Untersuchungen sollten nur in dafür spezialisierten und auch ausgewiesenen Laboratorien durchgeführt werden.

Tabelle 9: In Baumaterialien und Hausstaub nachgewiesene Aktinobakterien; Ergebnisse der mit Kultivierung oder molekularbiologischen Methoden (Vollsequenzen des 16S rRNA-Gens) erfasste Gattungen aus Material- und Bioaerosolproben (UBA Forschungsprojekt)

Nur Kultivierung	Nur Klonierung/ Sequenzierung	Kultivierung und Klonierung/ Sequenzierung
<i>Citricoccus</i>	<i>Actinomyces</i>	<i>Agrococcus</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>Actinopolymorpha</i>	<i>Amycolatopsis</i>
<i>Isoptricola</i>	<i>Aeromicrobium</i>	<i>Arthrobacter</i>
<i>Leucobacter</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Brachybacterium</i>
<i>Micrococcus</i>	<i>Agromyces</i>	<i>Brevibacterium</i>
<i>Oerskovia</i>	<i>Blastococcus</i>	<i>Jiangella</i>
<i>Ornithinicoccus</i>	<i>Conexibacter</i>	<i>Kocuria</i>
<i>Propionicicella</i>	<i>Crocebacterium</i>	<i>Kribella</i>
<i>Saccharomonospora</i>	<i>Crossiella</i>	<i>Lentzea</i>
<i>Tsukamurella</i>	<i>Crustibacterium</i>	<i>Microbacterium</i>
	<i>Cryocola</i>	<i>Microlunatus</i>
	<i>Georgenia</i>	<i>Micromonospora</i>
	<i>Goodfellowia</i>	<i>Mycobacterium</i>
	<i>Leifsonia</i>	<i>Nocardia</i>
	<i>Longispora</i>	<i>Nocardioides</i>
	<i>Microcella</i>	<i>Nocardiopsis</i>
	<i>Modestobacter</i>	<i>Prauserella</i>
	<i>Parkia</i>	<i>Promicromonospora</i>
	<i>Patulibacter</i>	<i>Pseudonocardia</i>
	<i>Prauseria</i>	<i>Rhodococcus</i>
	<i>Propionibacterium</i>	<i>Saccharopolyspora</i>
	<i>Saccharothrix</i>	<i>Streptomyces</i>
	<i>Sanguibacter</i>	
	<i>Solirubrobacter</i>	
	<i>Stackebrandtia</i>	
	<i>Tetrasphaera</i>	
	<i>Yania</i>	

2 Wirkungen von Schimmel in Innenräumen auf die Gesundheit des Menschen

Bevölkerungsbezogene Studien haben hinreichend gezeigt, dass Menschen, die Schimmel in Innenräumen ausgesetzt sind, einem erhöhten Risiko vielfältiger Atemwegserkrankungen unterliegen, unter anderem der Entwicklung von Asthma, Atemwegsinfektionen, Symptomen wie Husten, keuchende Atemgeräusche und Atemnot. Außerdem kann es bei Menschen, die bereits eine Asthmaerkrankung haben, zu einer Verschlimmerung von Asthmasymptomen kommen, wenn sie sich in feuchten und von Schimmel befallenen Innenräumen aufhalten (siehe Tab. 10, WHO 2009). Schimmel in Innenräumen scheint ebenfalls verknüpft zu sein mit Bronchitis und allergischer Rhinitis (Heuschnupfen), allerdings sind die Belege für den Heuschnupfen noch nicht eindeutig und es liegen nur wenige Studien zur Bronchitis vor (WHO Guidelines 2009). Vor allem bei Kindern, die in Wohnräumen mit sichtbarem Schimmelbefall aufwachsen, deuten die Ergebnisse auf eine insgesamt nachteilige gesundheitliche Entwicklung der betroffenen Kinder hin.

Es ist zu beachten, dass länger andauernde Feuchte in Innenräumen auch ohne sichtbares Schimmelwachstum mit einem erhöhten Risiko einer Erkrankung der Atmungsorgane, einer Atemwegsinfektion oder der Verstärkung einer vorhandenen Asthmaerkrankung einhergehen kann. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass Räume, die andauernd feucht sind, mit hoher Wahrscheinlichkeit verdeckte Schimmelschäden oder nicht sichtbares Schimmelwachstum aufweisen.

Tabelle 10: Stärke der Zusammenhänge zwischen einem Feuchte/Schimmelbefall in Innenräumen und gesundheitlichen Beschwerden

ursächlicher Zusammenhang	<ul style="list-style-type: none"> - für keine Gesundheitsbeschwerden konnte bisher ein <u>ursächlicher</u> Zusammenhang nachgewiesen werden.
ausreichende Hinweise für einen Zusammenhang	<ul style="list-style-type: none"> - Verschlimmerung und Verstärkung der Symptome eines bestehende Asthmas - Symptome der oberen Atemwegen - Husten - Keuchende Atemgeräusche - Entwicklung einer Asthmaerkrankung - Atemnot - Aktuell bestehendes Asthma - Atemwegsinfektionen
begrenzte Hinweise für einen Zusammenhang	<ul style="list-style-type: none"> - Vorkommen von Bronchitis - Vorliegen von Symptomen des allergischem Schnupfens (Heuschnupfens)
unzureichende Hinweise für einen Zusammenhang	<ul style="list-style-type: none"> - veränderte Lungenfunktion - Auftreten einer Allergie oder Atopie - Auftreten von Asthma jemals im gesamten Leben, (muss nicht aktuell vorliegen und Symptome verursachen)

Aus WHO-Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness an Mould 2009

Es gibt in diesem Zusammenhang bislang nur wenige Studien, die den Effekt einer Verringerung der Feuchtigkeit in Innenräumen untersucht haben. Diese wenigen Studien zeigen jedoch, dass eine Verringerung der Feuchtigkeitslast in Innenräumen nachteilige gesundheitliche Effekte mindern kann (WHO 2009).

Von Bewohnern von Räumen mit Feuchteschäden und Schimmelwachstum werden auch unspezifische Symptome wie Augenbindehaut-, Hals- und Nasenschleimhautreizungen sowie Husten, Kopfschmerzen oder Müdigkeit genannt. Augenbindehaut- oder Nasenschleimhautreizungen können sowohl im Zusammenhang mit allergischen als auch mit reizenden Wirkungen stehen; die anderen Symptome werden vor allem mit reizenden Wirkungen in Verbindung gebracht.

Wissenschaftlich abgesicherte Aussagen über eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen einer Exposition gegenüber Schimmel in Innenräumen und gesundheitlichen Beschwerden der Bewohner sind derzeit nicht möglich. Dies liegt darin begründet, dass die Exposition gegenüber Schimmel in bevölkerungsbezogenen Studien meist nur qualitativ anhand weniger Indikatoren wie z. B. sichtbarer Feuchtigkeit, bekanntem Wasserschaden, sichtbarer Schimmel oder Schimmelgeruch erfasst wurde. Bei den vorliegenden quantitativen Messungen wurden nur wenige Schimmelpilzarten bestimmt, andere Einflussgrößen wie Aktinobakterien oder andere Bakterien, Hefen, Protozoen und Milben blieben meist unberücksichtigt. Einige Aktinobakterien können jedoch wie Schimmelpilze Allergien, Reizwirkungen und bei massiv immungeschwächte Personen Infektionen hervorrufen.

Feuchte und Schimmelbefall in Innenräumen erhöhen das Risiko für Atemwegserkrankungen sowie für eine Entwicklung und Verschlimmerung von Asthmasymptomen bei den Raumnutzern.

Im Einzelfall (Patient) ist es nicht möglich, gesundheitliche Wirkungen ursächlich auf den Schimmelbefall in einem bestimmten Innenraum zurückzuführen, da prinzipiell eine Vielzahl von Ursachen für die Erkrankung und die Sensibilisierung verantwortlich sein können.

Im Einzelfall ist es nicht möglich, gesundheitliche Wirkungen ursächlich auf den Schimmelbefall im Innenraum zurückzuführen, da prinzipiell eine Vielzahl von Ursachen für die Erkrankung verantwortlich sein können und kaum ein definitiver Nachweis der Ursache gelingt (siehe Kap. 5). Das bedeutet, dass gesundheitliche Wirkungen von Schimmel in Innenräumen nicht einem bestimmten auslösenden Agens und/oder einer bestimmten Konzentration von Schimmelpilzen und/oder damit verbunden Bakterien zugeschrieben werden können. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann bei einem Schimmelwachstum in Innenräumen generell nur von einer Risikoerhöhung für bestimmte gesundheitliche Beschwerden ausgegangen werden.

Im Folgenden werden die verschiedenartigen gesundheitlichen Wirkungen (allergische, reizende Wirkungen und Infektionen) bei Exposition gegenüber Schimmel grundsätzlich dargestellt und dann im Hinblick auf das Vorkommen bei

Auftreten von Feuchte und Schimmel im Innenraum bewertet. Während allergische und reizende Wirkungen sowohl von einer Vielzahl an lebenden als auch von abgestorbenen Schimmelpilzen in Innenräumen ausgehen können, sind zur Auslösung von Infektionen nur wenige lebende Schimmelpilzarten befähigt.

Aktinobakterien (früher als Aktinomyzeten bezeichnet, siehe Kap. 1.3)) können wie Schimmelpilze neben Allergien auch irritative Reaktionen und bei massiv immungeschwächten Personen Infektionen hervorrufen. Außerdem produzieren sie zum Teil sehr stark „schimmelig“ oder modrig riechende Geruchsstoffe. Es gibt daher keinen begründeten Anlass, Aktinobakterien bei der Bewertung von Schäden zu vernachlässigen oder sie im Vergleich zu Schimmelpilzen als harmloser einzustufen (siehe auch Presseinfo Aktinomyzeten des UBA im Anhang- wird später ergänzt).

Nicht beschrieben werden hier gesundheitliche Wirkungen nach Exposition gegenüber sehr hohen Schimmelpilzkonzentrationen (um 10^6 bis 10^{10} Sporen/ m^3), wie z. B. das Organic Dust Toxic Syndrom (ODTS), die akute toxische Pneumonitis oder die exogen allergische Alveolitis, die in der Regel nur an bestimmten Arbeitsplätzen auftreten. Derart hohe Schimmelpilzkonzentrationen werden im Allgemeinen in Wohnungen oder Büros nicht angetroffen.

2.1 Allergische Reaktionen

Schimmelpilze können sensibilisierend wirken und in der Folge allergische Reaktionen auslösen.

Ein Nachweis spezifischer Antikörper im Blut lässt weder Rückschlüsse auf den Ort der Exposition gegenüber Schimmel (Innenraum oder Außenluft) noch auf den Schweregrad der allergischen Reaktion zu.

Eine der möglichen Reaktionen des Körpers auf eine erhöhte Schimmelpilzkonzentration in der Luft ist das Auftreten von Allergien, die durch das Einatmen von Schimmelpilzen (Sporen oder Myzelbruchstücke) ausgelöst werden können. Da bislang nur für wenige Schimmelpilzarten Extrakte für die Allergietestung verfügbar sind, kann es vorkommen, dass eine Schimmelpilzallergie im Test nicht als solche erkannt wird. Zudem wird die Allergietestung nicht mit reinen Einzelallergenen durchgeführt, dadurch kann es auch vorkommen, dass mit den Testsystemen unterschiedlicher Hersteller durch die Kombination unterschiedlicher Einzelallergene auch unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Bislang können nur 18 Schimmelpilzarten routinemäßig getestet werden. Manche Tests erfassen nur typische Außenluftarten. Mit solchen Tests lassen sich Allergien gegen Schimmelpilze in Innenräumen daher nicht nachweisen.

Die Häufigkeit von Allergien, die durch Schimmelpilze in der Außen- und der Innenraumluft hervorgerufen werden, liegt in der Gesamtbevölkerung zwischen 3 % und 10 % (Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ 2007). Meist sind die betroffenen Personen bereits gegenüber mehreren Allergenen sensibilisiert. Nach Ergebnissen des Kinder-Umwelt-Surveys von 2003 bis 2006 des Umweltbundesamtes wiesen rund 6 % der 1.790 getesteten Kinder im Alter zwischen

drei und vierzehn Jahren Antikörper gegenüber mindestens einem der getesteten Innenraumschimmelpilze auf. Die Sensibilisierungsrate war mit 5 % für *Penicillium chrysogenum* am höchsten, gefolgt von *Aspergillus versicolor* (2,3 %), *Eurotium* sp. (1,6 %) und *Wallemia sebi* (0,2 %). Gegenüber den in der Außenluft in hohen Konzentrationen vorkommenden Schimmelpilzen *Alternaria alternata* und *Cladosporium herbarum* waren 4,8 % und 2,1 % der Kinder und gegenüber *Aspergillus fumigatus*, der sowohl in der Außenluft als auch in der Innenraumluft in geringen Konzentrationen vorkommt, 2,6 % der Kinder sensibilisiert.

Bei asthmatischen Kindern fanden sich am häufigsten Sensibilisierungen gegenüber den typischerweise in der Außenluft vorkommenden Schimmelpilzarten *Alternaria* und *Cladosporium*. In einer in den Winterhalbjahren 2011/12 und 2012/13 durchgeführten Untersuchung des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg an 490 Schulkindern aus der vierten Klasse waren 3,7 % gegenüber Schimmelpilzen sensibilisiert, die überwiegend in der Außenluft vorkommen (*Cladosporium herbarum*, *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*), gegenüber Innenraumtypischen Schimmelpilzarten war die Sensibilisierungsrate deutlich geringer (1,2 % gegen *Penicillium chrysogenum*, 0,2 % gegen *Aspergillus versicolor* und 0,2 % gegen *Chaetomium globosum*).

INFOBOX 1

Was ist eine Sensibilisierung und wie entsteht eine Allergie

Bei Allergien reagiert das körpereigene adaptive Immunsystem auf sogenannte Antigene (Fremdstoffe wie z. B. Pollen, Bestandteile von Lebensmitteln, Schimmelpilzsporen). Beim ersten Kontakt mit dem Antigen kommt es zur Bildung von Abwehrstoffen (Antikörpern). Die sog. Typ I-Allergie wird durch Immunglobulin-E-Antikörper (IgE) vermittelt. Beim Kontakt des Körpers mit einem oder mehreren Schimmelpilz-Allergenen kann es zu einer Bildung von spezifischen IgE-Antikörpern kommen. Diesen Vorgang nennt man Sensibilisierung. Eine Sensibilisierung an sich stellt noch keine Erkrankung dar. Erst bei erneutem Kontakt mit dem Antigen kann es zu Reaktionen im Körper kommen, die zu den typischen Krankheitserscheinungen mit Symptomen wie Schnupfen, Niesen, gerötete Augen, Hautausschlag etc. führen können. Die Neigung, mit allergischen Reaktionen vom Soforttyp (Typ-I-Allergie) auf den Kontakt mit ansonsten harmlosen Substanzen aus der Umwelt zu reagieren, wird Atopie genannt. Atopie bezeichnet eine erbliche Überempfindlichkeitsreaktion des Körpers mit einer krankhaft erhöhten Bildung von IgE-Antikörpern.

Zu den allergischen Symptomen, die durch eingeatmete Schimmelpilze-haltige Außen- oder Innenraumluft ausgelöst werden können, zählen z.B. Rhinitis (Heuschnupfen-ähnliche Symptome), Asthma und allergische Alveolitis. Rhinitis- und Asthma-Anfälle können innerhalb weniger Minuten nach dem Einatmen von Schimmelpilz-haltigen Aerosolen auftreten und gehören damit zur Typ-I-Allergie. Bei bereits sensibilisierten Personen können schon geringe Schimmelpilzkonzentrationen in der Außen- und Innenraumluft (z. B. 10^2 *A. alternaria*-Sporen/m³ oder 10^3 *C. herbarum*-Sporen/m³) ausreichen, um allergische Reaktionen auszulösen. Da auch immer eine Exposition gegenüber Schimmelpilzen

in der Außenluft vorliegt, kann im Einzelfall nicht nachgewiesen werden, dass eine Allergie durch eine Exposition gegenüber Schimmelpilzen im Innenraum hervorgerufen wurde.

Eine Möglichkeit zur Abschätzung, ob eine Person gegenüber Schimmelpilzen in der Außen- oder Innenraumlufte ausgesetzt war, ist die Bestimmung von spezifischen Antikörpern (IgG) gegenüber weit verbreiteten Schimmelpilzallergenen im Blut. Ein Nachweis dieser Antikörper spiegelt zwar eine vorhergegangene Exposition der Person zu diesen Schimmelpilzen – z. B. in der Außenluft, am Arbeitsplatz oder in der Wohnung – wider, lässt jedoch keine Rückschlüsse auf das Vorhandensein oder den Schweregrad einer allergischen Reaktion zu.

2.2 Reizende, toxische und geruchliche Wirkungen

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

Das Ausmaß und die Bedeutung reizender oder geruchlicher Wirkungen bei Schimmelbefall in Innenräumen sind nicht hinreichend bekannt.

Schimmel in Innenräumen kann zu unspezifischen Reizungen der Schleimhäute der Augen (z. B. Brennen, Tränen), der Nase (Niesreiz, Sekretion und Obstruktion der Nasenhöhle) und des Rachens (z. B. Trockenheitsgefühl, Räuspern) führen. Sie sind insbesondere bei Beschäftigten als mögliche Folge einer mehrwöchigen Exposition gegenüber mittleren Schimmelpilzkonzentrationen ($>10^3$ Sporen/m³) am Arbeitsplatz bekannt. Symptome einer Reizwirkung wurden aber auch in bevölkerungsbezogenen Studien im Zusammenhang mit erhöhten Konzentrationen von Schimmelpilzen in Innenräumen beschrieben. Es wird vermutet, dass sowohl Bakterienbestandteile (z. B. Endotoxine) als auch Schimmelpilzbestandteile (z. B. 1,3-β-D-Glucan) sowie unterschiedliche, von Schimmelpilzen produzierte Stoffe (MVOC) Schleimhautreizungen auslösen können.

- Endotoxine als Zellwandbestandteile von gramnegativen Bakterien können in hohen Konzentrationen verschiedene toxische Wirkungen verursachen, die sich am häufigsten als Entzündungsreaktion auf die Bindehäute, die Haut, seltener auf die Schleimhaut der Nase, der oberen Atemwege, noch seltener auf die tiefen Atemwege auswirken.
- 1,3-β-D-Glucan ist ein Toxin, das Bestandteil der Zellwand von Pilzen ist. Vergleichbar mit den aus gramnegativen Bakterien freigesetzten Endotoxinen hat es eine entzündungsfördernde Wirkung und wurde bei Untersuchungen in Bürogebäuden mit mangelhafter Innenraumluftequalität mit dem Auftreten von Schleimhautreizung und Müdigkeit in Zusammenhang gebracht.
- Mykotoxine
Bei in vivo- und in vitro-Untersuchungen mit Bioaerosolen aus feuchten Gebäuden wurden auch Entzündungs- und Toxizitätsreaktionen sowie

immunmodulatorische Wirkungen beobachtet. Die bisher in Innenräumen gemessenen Konzentrationen an Mykotoxinen sind jedoch so niedrig, dass sie keine akuten Wirkungen auslösen. Über die gesundheitliche Wirkung bei langfristiger Exposition gibt es bislang keine Erkenntnisse.

- MVOC (aus dem Englischen: Microbial Volatile Organic Compounds) sind Gemische flüchtiger organischer Verbindungen z. B. Alkohole, Terpene, Ketone, Ester und Aldehyde, die von Schimmelpilzen oder Bakterien gebildet werden. Sie verursachen den charakteristischen Schimmelgeruch. Die Geruchswahrnehmungsschwellen einiger MVOC sind sehr niedrig und liegen im ng/m³-Bereich.
Akute gesundheitliche Wirkungen der MVOC bei Schimmelbefall sind aufgrund der geringen Konzentrationen nicht zu erwarten. Über die gesundheitliche Wirkung bei langfristiger Exposition gibt es bislang keine Erkenntnisse.
Ein erhöhtes Vorkommen von MVOC in der Innenraumluft kann ein Hinweis auf einen verdeckten Schimmelbefall sein. Da einige der von den Mikroorganismen abgegebenen MVOC auch aus anderen Innenraumquellen stammen können und somit nicht spezifisch für Schimmelwachstum sind, sollte aber alleine aus erhöhten MVOC-Konzentrationen kein direkter Handlungsbedarf für eine Schimmel- oder Feuchtigkeitssanierung abgeleitet werden (siehe Kap. 5).

INFOBOX 2

Reaktionen des angeborenen Immunsystems – PAMPs

Pathogen-assoziierte molekulare Muster (PAMPs =Pathogen Associated Molecular Pattern) sind Struktur motive oder Moleküle, die charakteristisch für ein breites Spektrum an Mikroorganismen sind und es dem Immunsystem ermöglichen, das Eindringen von Bakterien, Viren, Pilzen oder Parasiten zu erkennen.

Wenn das angeborene Immunsystem auf Fremdstoffe zur Abwehr von Krankheitserregern reagiert, werden PAMPs von speziellen Rezeptoren (PRRs, Pattern Recognition Receptors) auf körpereigenen Fresszellen (Phagozyten) erkannt, wodurch weitere Abwehrreaktionen ausgelöst werden, die zur Elimination der Krankheitserreger beitragen.

Bei Schimmelpilzen werden insbesondere bestimmte komplexe Kohlenhydrate in der Zellwand (z. B. β -Glukane, Phospholipomannane) als PAMPs erkannt. Sie lösen nicht adaptive Immunantworten aus, die zu reizenden oder entzündlichen Reaktionen führen können. Es wird vermutet, dass solche Reaktionen zu den unspezifischen Krankheitssymptomen bei Exposition gegenüber Schimmelpilzen beitragen können.

2.3 Infektionen

Infektionen durch Schimmelpilze (**Mykosen**) kommen in Innenräumen äußerst 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.

Infektionen durch Schimmelpilze (Mykosen) kommen in Innenräumen nur sehr selten und wenn, dann nur bei stark immungeschwächten Patienten vor. Mykosen können nur durch wenige Schimmelpilzarten (z.B. Aspergillen) hervorgerufen werden. Am häufigsten tritt die durch *Aspergillus fumigatus* hervorgerufene Aspergillose auf. Infektionsstellen sind die Haut, die Nasennebenhöhlen, die Ohren und die Lunge. Letztere wird in Form einer pulmonalen Mykose am häufigsten befallen. Wie Schimmelpilze können auch Aktinobakterien Infektionen hervorrufen. Neben seltenen Fällen von älteren Patienten, die häufig anfälliger für Atemwegsinfektionen sind, sind fast ausschließlich stark immungeschwächte Personengruppen (z.B. Krebspatienten nach Chemotherapie und Transplantationspatienten) betroffen. Um hier präventiv tätig zu sein, sollten stark immungeschwächte Patienten, die ambulant behandelt werden, von ihrem behandelnden Arzt unbedingt über die Risiken einer Infektion durch Schimmelpilze und Aktinobakterien aufgeklärt werden.

In der KRINKO-Empfehlung „Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von Immunsupprimierten Patienten“ (Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert-Koch-Institut) wird für hochgradig immunsupprimierte Patienten eine Unterbringung in Einheiten mit hocheffektiver (HEPA) Luftfilterung und Überdruckbelüftung für den Fall empfohlen, dass der angrenzende Stationsflur in der Klinik nicht auch über eine HEPA-Filterung verfügt. Solche Patienten sollten nach Entlassung im häuslichen Umfeld auf Zimmerpflanzen verzichten, da diese eine Quelle für Pilzsporen (*Aspergillus* spp.) darstellen können und das Blumenwasser häufig Bakterien (z.B. *Pseudomonas* spp.) enthält. Diese Patienten sollten ebenfalls Vorsichtsmaßnahmen bei der Entsorgung von Biomüll, bei Gartenarbeiten und beim handwerklichen Arbeiten einhalten. Darüber hinaus wird immunsupprimierten Patienten generell empfohlen, Räume mit Feuchteschäden aufgrund einer möglichen Schimmelbelastung zu meiden.

3 Ursachen für Schimmelwachstum in Gebäuden

Schimmelpilze und andere Mikroorganismen, die bei Schimmelbefall auftreten, benötigen zum Wachstum vor allem Feuchtigkeit (siehe Kap. 1) Je nach Nährstoffen, Temperatur- und pH-Wert wird das Schimmelwachstum langsamer oder schneller ablaufen. Neben biologischen und physikalischen Einflussfaktoren stellt der Eintrag von Feuchtigkeit über Baumängel, Wasserschäden im Bauwerk oder durch die Raumnutzer eine entscheidende Ursache für Schimmelwachstum dar. Im Folgenden wird auf diese Ursachen näher eingegangen. Es werden die Einflussgrößen beschrieben, die zu Schimmelbefall führen können (siehe Kap. 3.1). Danach wird auf Feuchteschäden infolge unsachgemäßer Sanierung eingegangen (siehe Kap. 3.2). Kapitel 3.3 befasst sich mit Möglichkeiten zur Ermittlung der Schadensursachen. In Anlage 3 wird auf Normen und Richtlinien verwiesen (wird später ergänzt).

3.1 Bauliche, nutzungsbedingte und sonstige Einflussgrößen

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen baulichen Einflussgrößen (z.B. unzureichende oder unsachgemäße Wärmedämmung, Wärmebrücken, schlechte Feuchtepufferung von Materialien, Leckagen, Neubaufeuchte, aufsteigende Feuchte durch unzureichende Abdichtung gegenüber dem Erdreich), nutzungsbedingten Einflussgrößen (unzureichendes oder unsachgemäßes Heizen und Lüften) und sonstigen Einflussgrößen (Wassereintritt durch Havarien, Hochwasser etc.) Feuchteschäden sind oft auch auf eine ungünstige Kombination unterschiedlicher Einflussgrößen zurückzuführen. Auf die Einflussgrößen wird einzeln eingegangen. Zum Schluss des Kapitels wird in einer graphischen Übersicht (siehe Anlage 2) nochmals die Abfolge möglicher Ursachen zusammengefasst dargestellt.

Eine Grundvoraussetzung zum Verständnis der ablaufenden Mechanismen ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen der Oberflächentemperatur und der Oberflächenfeuchte in Abhängigkeit von raumluftklimatischen Bedingungen (siehe INFOBOX 1).

Zur Beurteilung der Ursachen von Feuchteschäden und Schimmelbefall ist daher die Erfassung der Raumklimasituation durch fachgerechte Bestimmung der Oberflächentemperatur und der Oberflächenfeuchte sehr wichtig (siehe INFOBOX 2).

INFOBOX1 Zustandsdiagramme

Anhand des Zustandsdiagramms von Luft (siehe Bild) lassen sich die an einer kühlen Wand ablaufenden Vorgänge genauer erläutern. Dargestellt sind die in Abhängigkeit vom Wassergehalt der Luft (y- Achse) und der Raumlufthtemperatur (x-Achse) vorliegenden relative Raumluffteuchte (in %).

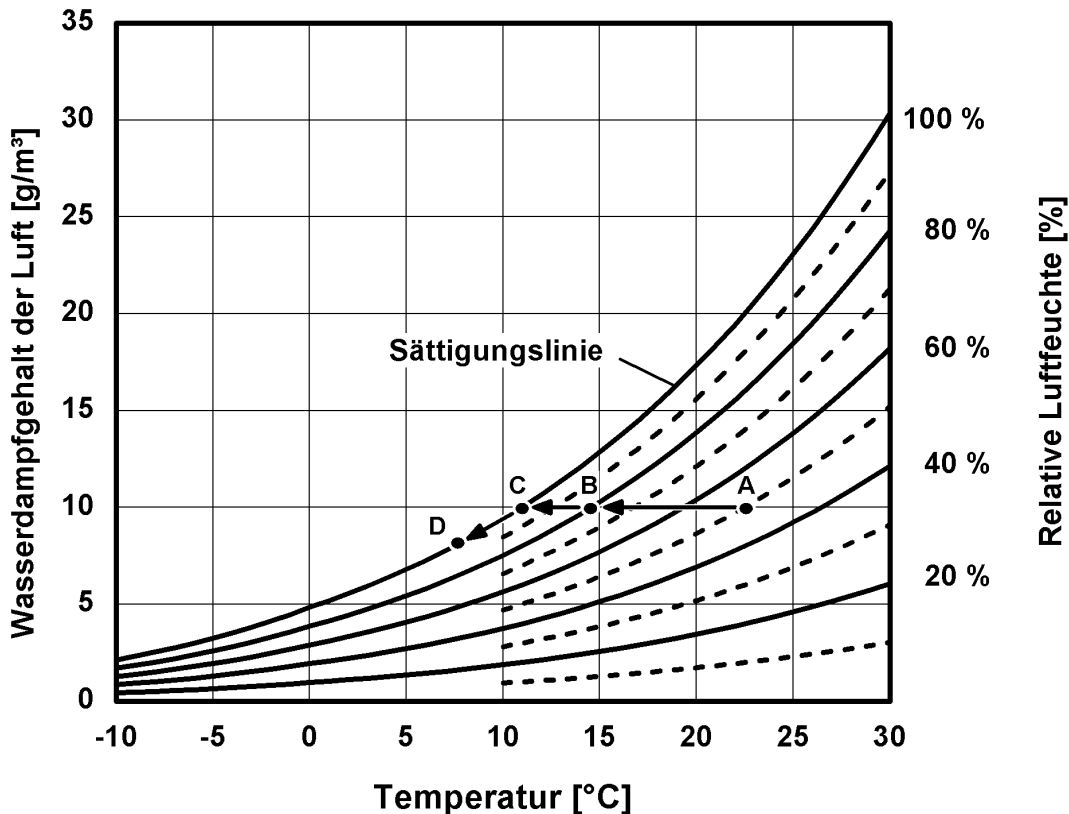


Bild: Wasserdampfgehalt der Luft in Abhängigkeit von Raumlufthtemperatur und relativer Luftfeuchte.

Die Luft in einem Raum mit beispielsweise 22 °C und einem Wassergehalt von 10 g/m³ weist eine relative Luftfeuchte von 50% auf (Punkt A). Ist die Oberflächentemperatur der Innenwand ebenfalls 22°C, werden auch dort 50 % Luftfeuchte vorliegen. Gerade im Winter wird aber aufgrund der niedrigen Außenlufttemperaturen die innerseitige Oberflächentemperatur der Außenwände niedriger liegen (für dieses Beispiel sei eine Oberflächentemperatur von 14,5°C angenommen, wogegen durch die Raumheizung die Raumlufthtemperatur auf 22°C konstant gehalten wird. In Wandoberflächennähe ist der absolute Wassergehalt der Raumlufth weiterhin der Gleiche wie in Raummitte (in diesem Beispiel also 10 g/m³). Die Raumlufth kühlt jedoch bei Annäherung an die Wand ab. Das bedeutet: Bei Annäherung an die Wand ändert sich der Zustand der Luft, wie im Bild dargestellt, parallel zur Abszisse bis zum Punkt B. In Wandnähe liegt somit eine höhere relative Luftfeuchte von 80 % vor, was ein Schimmelwachstum begünstigt. Eine weitere Abkühlung der Wandinnenoberfläche würde unter diesen Bedingungen ein weiteres Abkühlen der Luft und damit das Erreichen des Taupunktes (bei ca. 11°C; Punkt C) bedeuten. Bei Unterschreitung dieser 11°C läuft der Zustand der Luft entlang der Sättigungslinie (bis hin zu Punkt D). Es entsteht Wasserdampfkondensation an der kühlen Oberfläche.

INFOBOX 2 Erfassung der Raumklimasituation

Für die Einschätzung eines möglichen Schimmelwachstums ist die Oberflächentemperatur und -feuchte entscheidend.

Wird die Oberflächentemperatur an den Wänden gemessen, sollte dies möglichst an verschiedenen Stellen und zu unterschiedlichen Zeiten erfolgen. Eine einmalige Messung lässt oft keinen Rückschluss auf eventuell vorhandene Wärmebrücken und andere bauliche Mängel zu. Messungen über längere Zeit liefern aussagekräftige Ergebnisse. Diese sollten Fachleuten vorbehalten bleiben, die über das nötige Equipment und die Erfahrung bei der Bewertung verfügen.

Die Oberflächenfeuchte an Innenseiten von Außenwänden aufgrund von hygrothermischen Effekten wird in der Regel nicht durch Feuchtemessungen bestimmt, sondern rechnerisch aus der ermittelten Raumluftfeuchte und den gemessenen Raumluft- und Oberflächentemperaturen ermittelt.

Der Raumnutzer kann die Temperatur sowie die relative Luftfeuchte im Raum und in kritischen Bereichen wie in Ecken und in unmittelbarer Nähe der Außenwände leicht selbst überprüfen. Zur Eigenkontrolle, ob die Raumtemperatur ausreichend ist und genügend gelüftet wurde, eignen sich einfache elektronische Thermo-Hygrometer, die u.a. in Baumärkten erhältlich sind. Allerdings erlauben die damit gemessenen Werte nur eine grobe Einschätzung.

Für die Messung der Ausgleichsfeuchte von Materialien wird auf das WTA-Merkblatt „Schimmelpilzschäden: Ziele und Kontrolle von Schimmelpilzsanierungen“ (Gelbdruck, 2015) verwiesen.

3.1.1 Unzureichende Wärmedämmung

Das Auftreten von Schimmelwachstum an der Innenseite von Außenwänden und -decken hängt von deren Oberflächentemperatur und -feuchte ab. Diese wiederum werden beeinflusst vom Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der Außenwand und dem Wärmeübergangswiderstand (R_{si} -Wert) an der Innenseite der Außenwand (siehe auch Kap. 3.1.3) sowie von der Raumlufttemperatur und -feuchte.

Unter stationären Bedingungen kann die Oberflächentemperatur wie folgt berechnet werden:

$$\Theta_{si} = \Theta_i - U R_{si} (\Theta_i - \Theta_e) \quad (2)$$

Θ_{si}	[°C]	Oberflächentemperatur innen
Θ_i	[°C]	Raumlufttemperatur
Θ_e	[°C]	Außenlufttemperatur
U	[W/(m ² K)] ¹⁾	Wärmedurchgangskoeffizient
R_{si}	[(m ² K)/W]	Wärmeübergangswiderstand innen

¹⁾ Watt pro Quadratmeter und Kelvin

Der U-Wert charakterisiert das Dämmniveau eines Bauteiles der Außenhülle, z.B. der Außenwand. Ein hoher U-Wert bedeutet einen hohen Wärmeübergang und damit eine schlechte Dämmung.

Die Wärmedämmung darf nicht mit der Wärmespeicherung verwechselt werden. Ein höheres **Wärmespeichervermögen** bei schweren Wandbaustoffen (Massivbauwände) kann Temperaturschwankungen besser ausgleichen als leichte Baukonstruktionen und damit auch für eine bessere Pufferung der Raumlufttemperatur sorgen (siehe Kap. 3.1.7). Überdies können Massivbauten eine Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes bewirken (Vermeidung übermäßiger Raumaufheizung). Für die Vermeidung von Schimmel ist jedoch nicht die Wärmespeicherung, sondern die **Wärmedämmung** der Außenhülle sowie ein sachgerechtes Lüften und Heizen entscheidend.

3.1.2 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen in den Umfassungsflächen (Wände, Decken, Fußböden) eines Gebäudes, durch die ein erhöhter Wärmeabfluss nach außen und zu unbeheizten Räumen stattfindet. Dies führt zu einer Verringerung der raumseitigen Oberflächentemperatur von Bauteilen. Wärmebrücken können durch die räumlichen (geometrischen) Verhältnisse bedingt sein (z. B. Ecken, siehe Abb. 10 rechts und Abb. 11) oder durch die Verwendung von Baustoffen mit sehr unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit (z. B. Tragpfeiler in einer Wand, Holzbalken im ausgebauten Dachgeschoss etc., siehe Abb. 10 links). Die Folgen von Wärmebrücken sind im Winter – neben höheren Energieverlusten – ein Absinken der raumseitigen Oberflächentemperaturen der betroffenen Bauteile, eine Erhöhung der Oberflächenfeuchte und damit ein erhöhtes Risiko für Kondensation und Schimmelbefall entlang der Wand.

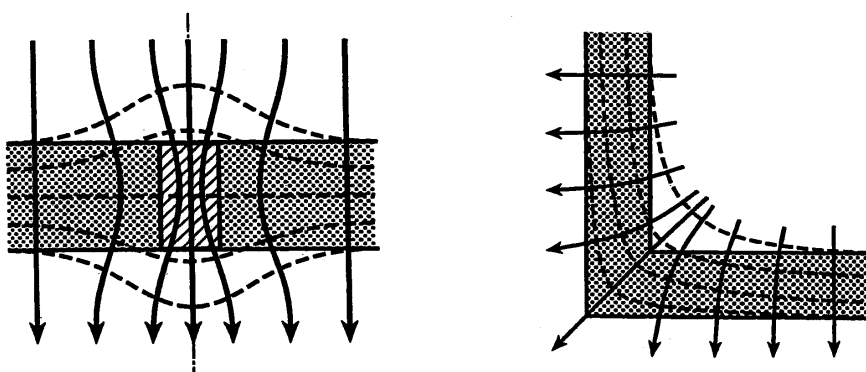


Abb. 10: Schematische Darstellung zweier Wärmebrücken mit Angabe der Wärmeströme (Adiabaten; durchgezogene Linien) und Isothermen (gestrichelte Linien). Wärmebrücken zeichnen sich physikalisch durch verstärkten Wärmefluss mit Verdichtung der Adiabaten und Wölbung der Isothermen aus (nach Gertis et al. 2001)

3.1.3 Erhöhte Wärmeübergangswiderstände durch Möblierung

In Gebäudeecken ist aufgrund der Behinderung der freien Luftströmung (Konvektion) ein erhöhter Wärmeübergangswiderstand gegeben. Die warme Raumluft erreicht die Ecken des Raumes nur unzureichend. Gerade bei Außenwändecken führt dies neben der Wärmebrückenwirkung zu einer zusätzlichen Absenkung der Oberflächentemperatur und damit Erhöhung der Oberflächenfeuchte entlang der Wandecke. Aus diesem Grund wird Schimmelwachstum besonders häufig an Außenwändecken beobachtet.

Möbel, Gardinen und dergleichen stellen kaum einen Widerstand für die Raumluftfeuchtigkeit dar, d.h. die Raumluftfeuchte dringt bis hinter die Möbel an die Wände. Gleichzeitig gelangt aber die Wärme im Raum – durch verringerten konvektiven und strahlungsbedingten Wärmeübergang – nur unzureichend hinter die Möbel und Gardinen. Möbel und Gardinen verursachen daher erhöhte Wärmeübergangswiderstände. Dadurch wird entlang von Wandbereichen mit Möbeln die relative Luftfeuchte an der Wand zusätzlich erhöht (siehe Abb. 11).

Möbel, Gardinen und sonstiges Inventar sollten bei unzureichend gedämmten Außenwänden immer einige Zentimeter von der Wand entfernt aufgestellt werden, damit die Luft ungehindert auch hinter die Möbel strömen kann und damit zum einen die Wand erwärmt und zum anderen Feuchtigkeit von der Wand mit dem Luftstrom mitgenommen wird. Hilfreich ist es auch, Möbelstücke auf Füße zu stellen, damit eine vertikale Hinterlüftung erreicht wird. **Bereits bei der Planung von Wohnungseinrichtungen sollte zudem verstärkt darauf geachtet werden, dass z.B. Einbauschränke nicht an ungedämmten Außenwänden ohne ausreichenden Luftspalt zum Raum hin fest eingebaut werden.**

Bei in der Regel gut gedämmten Niedrigenergie- und Passivhäusern moderner Bauart ist die Anordnung von Möbeln an Außenwänden unproblematisch.

Diese zusätzlichen Wärmeübergangswiderstände sind vor allem bei schlecht gedämmten Altbauten problematisch (siehe Abb. 11 oben). Während an der unmöblierten Außenwand bei einer Oberflächentemperatur von 15 °C nur 70 % Oberflächenfeuchte auftritt, kommt es hinter einem Schrank an der Außenwand durch die verringerte Temperatur von 11 °C bereits zu 89 % Oberflächenfeuchte und in der Außenecke bei 6 °C zu Tauwasserausfall (siehe Abb. 1, oben).

Bei gut gedämmten Bauwerken ist eine Möblierung an der Außenwand/-Ecke unkritisch (siehe Abb. 11, unten) solange nicht zusätzlich durch nicht ausreichende Lüftung eine erhöhte Innenraumluftfeuchte gegeben ist (in Abb. 11, unten, als Bsp. 60 % rel. Feuchte). Bei 20°C Raumlufttemperatur und 50 % relativer Raumluftfeuchte tritt selbst in der Außenecke hinter dem Schrank nur eine Oberflächenfeuchte von 73 % auf. Eine erhöhte Raumluftfeuchte von 60 % führt aber dort bereits zu einer Oberflächenfeuchte von 88 % mit dem Risiko für Schimmelbefall. Abbildung 11 stellt die theoretisch errechneten Werte unter stationären Bedingungen dar. In der Praxis treffen diese Vorgaben nicht immer exakt zu.

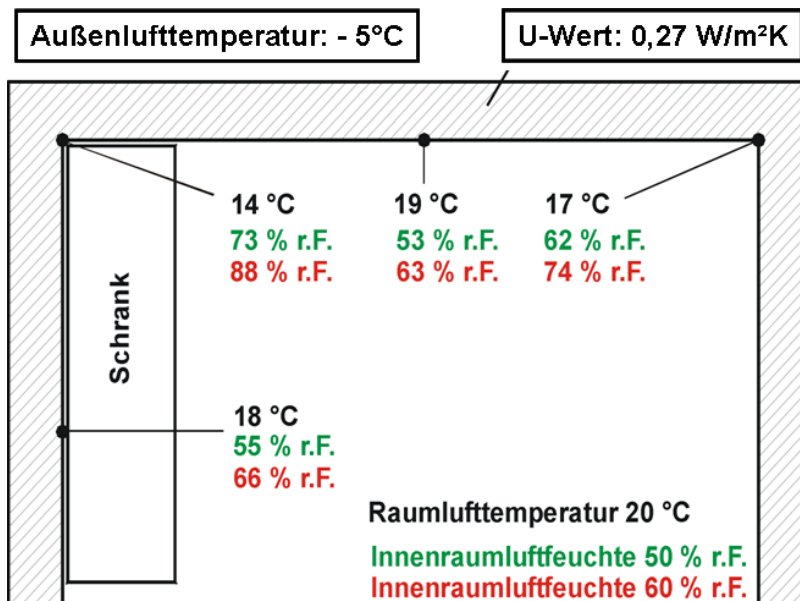
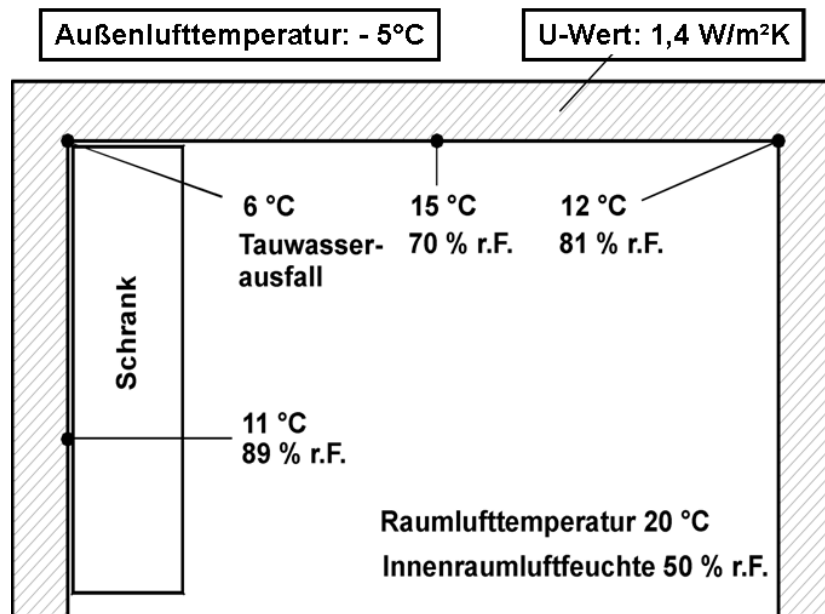


Abb. 11: Zusammenfassende Darstellung der Folgen eines erhöhten Wärmeübergangs (z.B. durch vor der Wand stehende Möbel), hoher Wärmedurchgangskoeffizienten (oberer Bildteil) und von Wärmebrücken (Außenecken) auf die Wandtemperatur und die relative Feuchte an der Oberfläche (Oberflächenfeuchte) der Raumseite der Außenwände für ein Gebäude mit geringem Wärmedämmstandard (U-Wert ca. 1,4 W/m²K; oberer Bildteil) und einem Gebäude mit hohem Wärmedämmstandard (U-Wert = 0,27 W/m²K; unterer Bildteil), bei einer Raumluftfeuchte in Raummitte von 50 % und für das besser gedämmte Gebäude von zusätzlich 60 %; r.F. = relative Luftfeuchte. Quelle IBP

3.1.4 Unzureichende oder unsachgemäße Beheizung

Eine Erhöhung der Raumlufttemperatur durch Heizen bewirkt – bei gleichem absolutem Wassergehalt der Luft – eine Verringerung der relativen Raumluftfeuchte. Außerdem wird durch eine Beheizung des Raumes auch die Oberflächentemperatur der Innenwände erhöht. Beide Effekte tragen somit zu einer Verringerung der Gefahr eines Schimmelwachstums bei.

Werden einzelne Räume wenig oder gar nicht beheizt, erhöht sich im Umkehrschluss die Gefahr von Schimmelwachstum. In Schlafzimmern wird oft weniger geheizt als in übrigen Wohnräumen. Die abgesenkte Innenraumlufttemperatur sorgt dann nicht nur für eine erhöhte Raumluftfeuchte, sondern auch für niedrigere Oberflächentemperaturen (siehe Abb. 12). Durch Ausatmen und Transpiration wird zusätzlich Feuchtigkeit freigesetzt. Dadurch erhöht sich die Luftfeuchtigkeit und bei kalten Wänden die Gefahr der Wasserdampfkondensation weiter. Gerade in Schlafzimmern wird oft zu wenig oder falsch gelüftet (zum sachgerechten Heizen und Lüften vgl. Ausführungen und INFOBOXEN in Kap. 4).

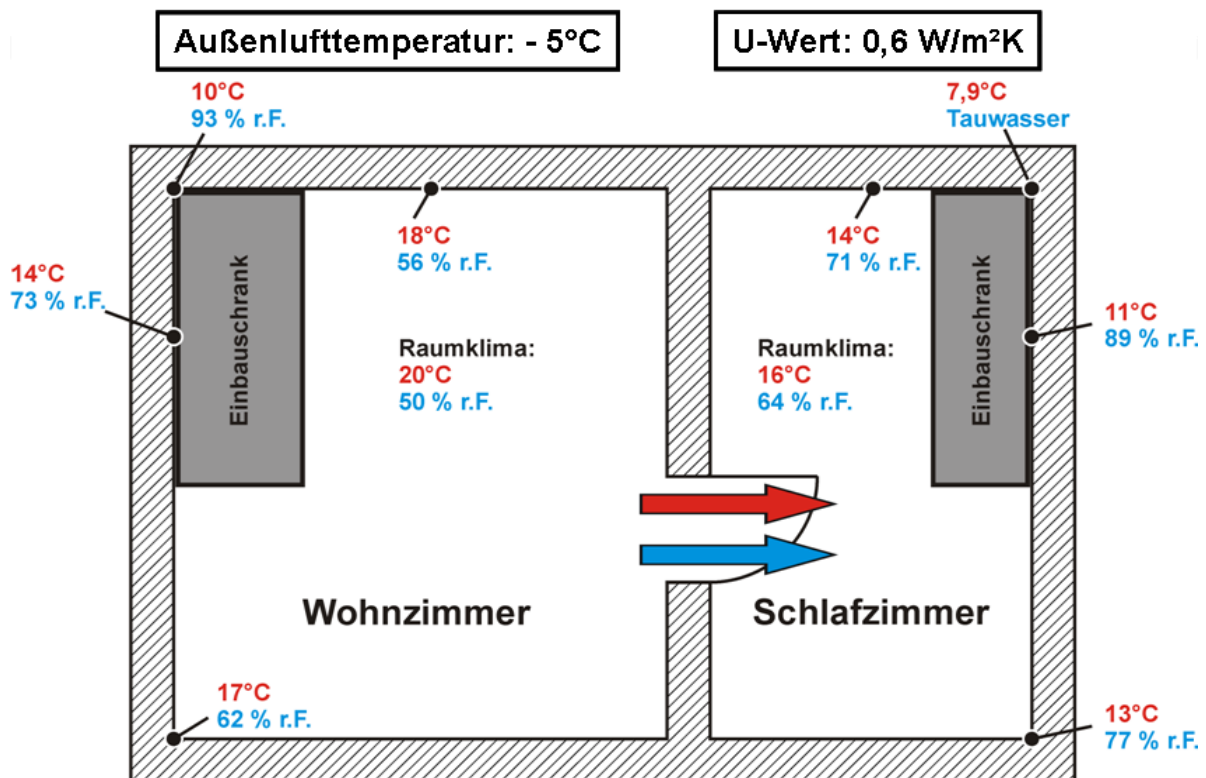


Abb. 12: Darstellung der Auswirkung von Außenecken (Wärmebrücken) und Möblierungen auf die Wandtemperatur und die relative Feuchte (r.F.) an der Oberfläche der Innenwand eines im Luftaustausch mit der restlichen Wohnung stehenden, gering beheizten Schlafzimmers bei einer relativen Raumluftfeuchte von 50 % in Raummitte des Wohnzimmers. Quelle IBP

3.1.5 Erhöhte Feuchteproduktion im Innenraum

Eine hohe Feuchteproduktion führt zu höherer relativer Luftfeuchte im Innenraum und damit auch zu höherer Oberflächenfeuchte.

Tab. 12 gibt einen Überblick über die bei verschiedenen Tätigkeiten und Ausstattungen in Innenräumen anfallenden absoluten Feuchtemengen. Dabei handelt es sich um Erfahrungswerte; im Einzelfall können die Feuchtemengen nach oben und nach unten abweichen.

Tabelle 12: Zusammenstellung der Feuchteabgabe durch Aktivitäten der Raumnutzer oder durch Einrichtungsgegenstände in Räumen bei einer Raumlufttemperatur von 20°C; Quelle: IBP 2001 verändert

Feuchtequelle	Feuchteabgabe pro Stunde bzw. pro m ² und Stunde	
Mensch, leichte Aktivität	30 – 40 g/h	
trocknende Wäsche (4,5 kg Trommel)	geschleudert	50 – 200 g/h
	tropfnass	100 – 500 g/h
Zimmerpflanzen	1-5 g/h ¹⁾	
Wasseroberfläche: offenes Aquarium	ca. 40 g/m ² /h ²⁾	
abgedecktes Aquarium	ca. 2 g/m ² /h	

- 1) Kann nach Anzahl und Art der Zimmerpflanzen auch deutlich darüber liegen
- 2) Gramm pro Quadratmeter und Stunde, je nach Umgebungsbedingungen.

Für einen durchschnittlichen 3-Personen-Haushalt summiert sich die von den Raumnutzern produzierte in die Luft übertretende Feuchtemenge auf etwa 6 bis 12 Liter am Tag (siehe Abb. 13).

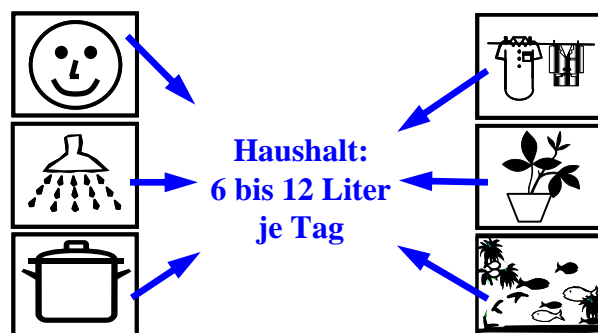


Abb. 13: Feuchtequellen in Wohnungen

Besonders bei Innenräumen **mit hoher relativer Luftfeuchte** (vgl. Abb. 14) sollen in der kalten Jahreszeit zusätzliche Feuchtequellen wie das Trocknen von Wäsche, viele Zimmerpflanzen oder ein Zimmerbrunnen vermieden werden.

Bei erhöhter Feuchtemenge im Innenraum muss die relative Luftfeuchte durch vermehrtes Lüften und ggf. Heizen verringert werden (siehe Hinweise in Kap. 4).

Die im Jahresverlauf in Gebäuden üblichen Raumlufffeuchtwerte sind in Abb. 14 dargestellt. Die Daten wurden für normal genutzte, nicht von Schimmel befallene Räume ermittelt. Es zeigt sich ein typischer Jahresverlauf mit niedriger Raumlufffeuchte im Winter und höherer Raumlufffeuchte im Sommer. Zur Vermeidung von Schimmelbefall sollte im Winter die Raumlufffeuchte dauerhaft die angegebenen Werte (markiert durch die durchgezogene und gestrichelten Linien) nicht überschreiten. In unseren Breiten treten auch im Winter nur ausnahmsweise Situationen auf, in denen die Raumluff über einen längeren Zeitraum sehr trocken ist (unter 20%). Wird in solchen Fällen ein Luftbefeuchter in Betrieb genommen, sollte mit einem Hygrometer kontrolliert werden, dass die relative Luftfeuchte den in Abb. 14 dargestellten mittleren Jahresverlauf nicht dauerhaft überschreitet, da sonst die Gefahr für Schimmelwachstum zunimmt. Luftbefeuchter sollen regelmäßig gereinigt werden.

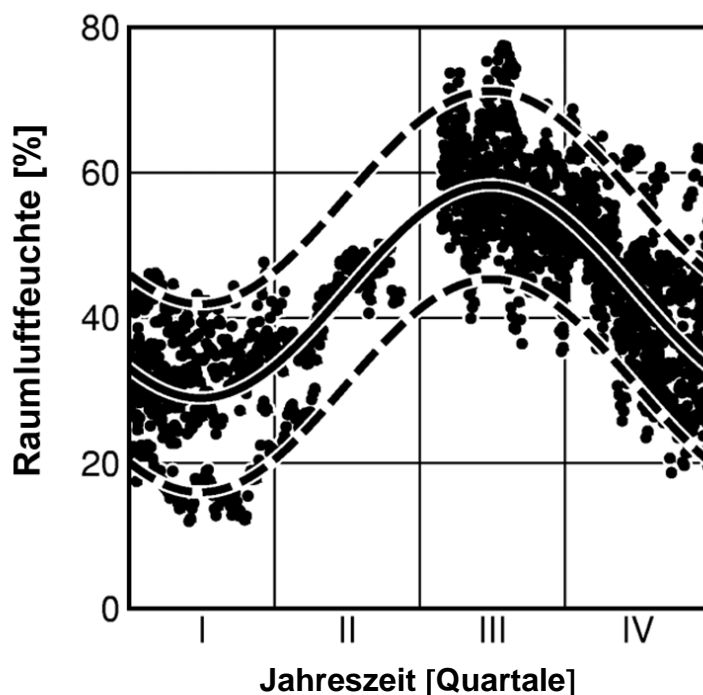


Abbildung 14: Typischer Jahresgang der relativen Raumlufffeuchte in Gebäuden in Deutschland. Die durchgezogene Linie ist eine an die Messpunkte angepasste Sinuskurve. Die gestrichelten Linien stellen die Streubreite der Messpunkte dar: zwischen diesen beiden Linien liegen 90% der Messpunkte; Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen).

3.1.6 Unzureichendes oder unsachgemäßes Lüften

Eine ausführliche Beschreibung zum Thema Lüften enthält das Kapitel 4.

Lüftung stellt das wirksamste Mittel dar, um vom Raumnutzer selbst produzierte Feuchtigkeit aus der Wohnung zu entfernen. Lüften muss regelmäßig erfolgen (vgl. Kap. 4).

Charakteristische Größe für die Effektivität der Lüftung ist die *Luftwechselzahl*², sie gibt an, welche Luftmenge, bezogen auf das Raumvolumen, pro Stunde ausgetauscht und durch Außenluft ersetzt wird.

Vor allem bei geringen Temperaturen im Winter enthält die Außenluft auch bei hoher relativer Luftfeuchte (z.B. bei Regen) eine geringe absolute Feuchte (siehe Tab. 15). Wird z.B. bei – 10 °C Außentemperatur gelüftet und die kalte Außenluft erwärmt sich im Innenraum auf 20 °C, verringert sich die relative Feuchte der Außenluft durch die Erwärmung von ursprünglich 80 % auf nur noch 9 % (vgl. Tab. 15). Damit steht sehr viel Kapazität zur Aufnahme von der in Innenraummaterialien gespeicherten Feuchte zur Verfügung, die an die nun trockene Raumluft abgegeben und beim nächsten Lüften nach außen transportiert wird.

Tabelle 15: Relative Luftfeuchte im Innenraum bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen durch Erwärmen von 80% feuchter Außenluft auf 20°C Innenraumtemperatur bei jeweils gleichbleibender absoluter Feuchte.

Aussenlufttemperatur [°C]	Relative Feuchte aussen [%]	Absolute Feuchte ¹⁾ [g/m ³]	Relative Innenluftfeuchte bei 20°C [%]
-10	80	1,7	9
0		3,9	21
10		7,5	42
20		13,5	80

Immer wieder hört man die These, dass Wände „atmen“ und darüber ein Luftaustausch stattfindet. Das ist aber physikalisch nicht möglich, es sei denn die Wände weisen Undichtigkeiten und Risse auf.

² In der Erläuterung zu DIN 1946, Teil 6 wird zur Vermeidung bauphysikalischer Schäden wie Schimmelbefall infolge von Wohnungsfeuchte eine Luftwechselzahl von 0,5/h empfohlen.

Ein Luftaustausch vom Innenraum nach außen über baulich intakte Wände gibt es nicht. Auch die durch Dampfdiffusion durch die Wände transportierten Feuchtemengen sind im Vergleich zu den durch Lüftung abtransportierten Mengen vernachlässigbar. Die Dampfdichtheit des Wandaufbaus hat daher nur minimalen Einfluss auf die Raumlufftfeuchte und -qualität. Der im diesem Zusammenhang gern verwendete Begriff der „**atmenden**“ **Wände** ist lediglich im Zusammenhang mit der Feuchtepufferung (siehe Kap. 3.1.7) zu sehen, nicht aber als bauliche Unterstützung beim Luftaustausch.

3.1.7 Geringe Feuchtepufferung der Baumaterialien

Durch die Nutzung von Innenräumen werden über den Tag verteilt unterschiedliche Feuchtemengen freigesetzt. Ein Teil dieser Feuchtemenge wird von den Baumaterialien im Raum aufgenommen, gespeichert und wieder abgegeben. Dies bezeichnet man als Feuchtepufferung oder Feuchtereulation. Bei einer Erhöhung der relativen Feuchte nimmt das Material Umgebungsfeuchte auf (Adsorption) und transportiert einen Teil durch Diffusion in tiefer liegende trockenere Bauteilbereiche. Bei einer Verringerung der Umgebungsfeuchte wird Feuchtigkeit aus dem Inneren des Baumaterials wieder an die umgebende Luft abgeführt (Desorption). Da sich im Innenraum die Bedingungen ständig verändern, ändern sich auch Feuchtereulation und Temperatur des Materials. Wie schnell ein Material Feuchte aufnehmen oder abgeben kann, hängt von den Materialeigenschaften (Sorptionsfähigkeit und Diffusionswiderstand) ab.

Die Pufferwirkung der Materialien ist meist auf eine Tiefe von wenigen Millimetern des Bauteiles beschränkt, nur die innenraumnahen Materialien tragen merklich dazu bei. Auch die Möblierung (unbeschichtete Holzmöbel, Polstermöbel) hat einen Einfluss auf den Raumlufftfeuchteverlauf.

Die Feuchtepufferung der Baumaterialien reduziert, abhängig von dem Puffervermögen des Materials, die täglichen Luftfeuchteschwankungen (siehe auch INFOBOX Feuchtepufferung).

Die feuchtepuffernde Wirkung all dieser Materialien zusammen führt zu einer Verringerung der Raumlufftfeuchteschwankungen, was der Behaglichkeit zugute kommt. Inwiefern dies auch einen Einfluss auf das Schimmelwachstum hat, lässt sich daraus nicht unmittelbar ableiten. Werden durch die sorptive Wirkung der Wände Feuchtespitzen gepuffert, die ohne Pufferung zu Kondensation oder zu einer erhöhten Oberflächenfeuchte geführt hätten, kann das Risiko für Schimmelbefall verringert werden.

Durch die Sorptionseigenschaften des Wandmaterials werden in erster Linie Feuchtespitzen ausgeglichen. Der mittlere Feuchtegehalt der Luft bleibt weitgehend unverändert und kann nur durch aktives Lüften verringert werden (siehe Kap. 4).

INFOBOX 3 Feuchtepufferung

Den Effekt der Feuchtepufferung kann man messtechnisch untersuchen, indem in einem definierten Raum mit unterschiedlichen Wandbeschichtungen der typische tägliche Verlauf der Feuchtelast (Bild links) eingebracht wird und die Raumlufffeuchte ermittelt wird (Bild rechts). Im Untersuchungsbeispiel wurde die Feuchteproduktion einer Familie mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern in einer 65 m² großen Wohnung simuliert. Man erkennt, dass zwischen 6 Uhr und 8 Uhr eine besonders hohe Feuchteproduktion durch Kochen und Duschen stattfindet und abends zwischen 18-22 Uhr erneut. Die ab diesem Zeitpunkt erhöhte Feuchtelast entsteht erneut durch z.B. Waschen, Kochen und durch die Feuchteproduktion der Bewohner. Man erkennt weiter, dass bei Holzverkleidung im gewählten Beispiel die relative Raumlufffeuchte durch die Pufferung der Wandverkleidung von ca. 70 % auf ca. 60 % abfällt, beim gestrichenen Putz sogar noch mehr, allerdings bei höherer Schwankungsbreite. Dies sind nur Beispiele. Im Einzelfall hängt die Pufferwirkung maßgeblich von der Art und Oberflächenstruktur der Wandoberflächenmaterialien ab sowie von der Art des Anstriches (diffusionsoffen, versiegelnd) etc.

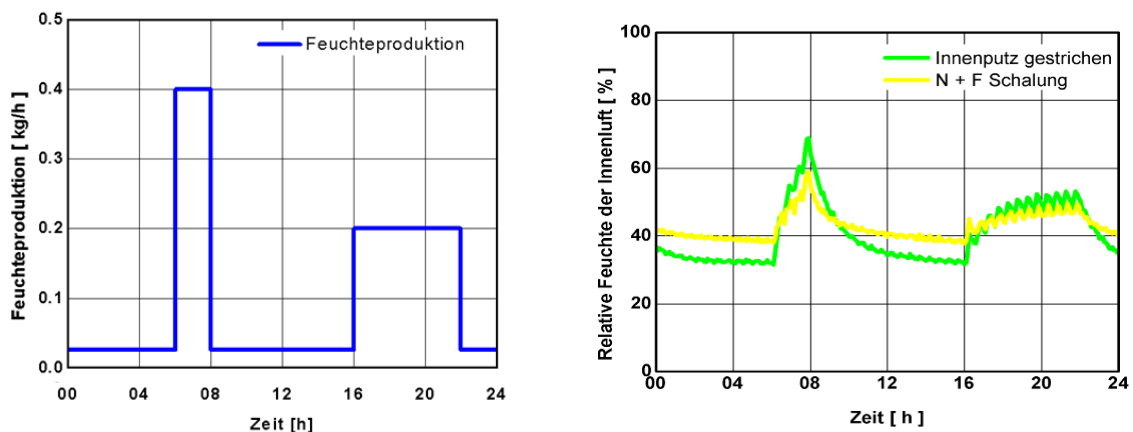


Bild: Tagesverlauf der Feuchteproduktion (links) und daraus resultierende Feuchteveränderungen der Raumluff (rechts) eines Raums mit einem mit Wandfarbe beschichteten typischen Innenputz (grüne Linie) und einen Raum mit Holzverkleidung (Nut und Feder, N + F Schalung, gelbe Linie); Quelle Fraunhofer IBP wird ergänzt.

3.1.8 Feuchtigkeit in der Baukonstruktion durch Leckagen, aufsteigende Feuchte

Feuchtigkeit gelangt auf verschiedenen Wegen in die Baukonstruktion. Zum einen kann Feuchtigkeit von außen ins Gebäude eindringen. Durch Schlagregen kann Feuchtigkeit über die Außenwände in das Bauwerk gelangen, sofern diese nicht ausreichend gegenüber Regenwassereintritt geschützt sind. Typische Bauschadensfälle, bei denen Wasser in das Gebäude gelangt, sind undichte Fensterlaibungen und -rahmen oder Undichtigkeiten im Dachbereich.

Aufsteigende und seitlich eindringende Feuchtigkeit kann über unzureichend gegen das Erdreich abgedichtete Fundamente und Kellerwände erfolgen.

Zum anderen können große Mengen an Wasser durch Leitungswasserschäden, undichte Heizungsrohre, geplatzte Waschmaschinenschläuche etc. oder mangelhafte Abdichtung im Bereich von Duschen oder Wannen freigesetzt werden und in die Gebäudekonstruktion gelangen. Auch zunehmend in einzelnen Regionen periodisch auftretende Hochwasserschäden führen immer wieder zu massivem Feuchtigkeitsanfall in Gebäuden.

Bei allen **Feuchteschäden in der Baukonstruktion** ist es erforderlich, die Ursachen des Feuchteintritts umgehend zu beseitigen und die betroffenen Gebäudebereiche unverzüglich zu trocknen, um das Entstehen von sichtbarem und verdecktem Schimmelwachstum zu vermeiden (vgl. Kap. 6).

3.1.9 Baufeuchte

Baufeuchte stellt ein Problem dar, wenn neu errichtete Gebäude oder bestehende Gebäude nach größeren Umbauten zu früh nach Fertigstellung bezogen werden bzw. wenn nach der Fertigstellung nicht ausreichend gelüftet wird. Bauteile (allem voran Beton und Estriche, aber auch verputzte Wände und Decken) enthalten unmittelbar nach Errichtung oft noch große Mengen Wasser. Diese Baufeuchte wirkt sich negativ auf den Energieverbrauch aus. Wesentlicher ist aber der Einfluss auf die Raumluftfeuchte, die durch die Baufeuchte über längere Zeit oft deutlich erhöht wird.

Eine **intensive Lüftung ist bei Neubauten oder größeren Umbauten** wegen der erhöhten Baufeuchte, aber auch im Hinblick auf die möglicherweise von den Baumaterialien abgegebenen chemischen Substanzen sinnvoll. Es sollte bei Bezug eines noch baufeuchten Innenraumes unbedingt eine längerfristige intensive Lüftung erfolgen. Je nach Bausausführung und Konstruktion kann die Trocknungsphase bis zu einigen Jahren dauern. Unterstützend kann auch verstärktes Heizen wirken.

3.1.10 Hochwasserschäden

Immer wieder kommt es in Gewässernähe zu Hochwasserschäden in Gebäuden. Leider nehmen Gefahr und Frequenz als Folge des Klimawandels seit Jahren zu. Man steht diesen Naturereignissen oft machtlos gegenüber und die Folgen bei der Sanierung der davon betroffenen Gebäude sind immens. Der Wassereintritt führt oft in der Folge nicht nur zu Schimmelwachstum, sondern auch zu einer mikrobiellen Kontamination durch entsprechend verunreinigtes Wasser.

Weitere Ausführung dazu siehe Kap. 6.

3.2 Feuchteschäden durch unsachgemäße energetische Modernisierung

Jede energetische Sanierung hat neben der beabsichtigten Reduzierung des Energiebedarfs immer auch Einfluss auf den Feuchtehaushalt der Raumluft und der Baumaterialien. Im Falle einer außenseitigen Dämmung wird das Risiko für Schimmelwachstum, fachgerechte Ausführung vorausgesetzt, durch die damit verbundenen höheren Temperaturen an der Innenseite der Außenwände und Vermeidung von Wärmebrücken verringert. Innendämmungen können, sachgerecht ausgeführt, ebenfalls die Oberflächentemperaturen der Wände erhöhen. Leider werden hierbei hin und wieder Fehler gemacht, die die Gefahr für Schimmelwachstum sogar noch erhöhen (vgl. Kap. 3.2.2).

3.2.1 Einbau dichter Fenster in unzureichend gedämmten Altbauten

Durch undichte Fenster in nicht energetisch sanierten Altbauwohnungen (unter „Altbau“ sind hier Gebäude zu verstehen, die bis in die 60er- und 70er-Jahre des vorigen Jahrhunderts hinein gebaut wurden sowie Gebäude mit späterer Errichtung, die aber dennoch – aus heutiger Sicht – unzureichenden Wärmestandard aufweisen) findet über Fenster und Türen ein gewisser Luftaustausch (Infiltrationsluftwechsel) auch ohne aktives Lüften statt. Dadurch wird bereits ein Teil der im Innenraum produzierten Feuchtigkeit nach außen transportiert.

Durch den Einbau dicht schließender Fenster, wie es durch die verschärften Wärmeschutzvorschriften seit Jahren, spätestens seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung von 2002 üblich ist, fällt dieser Infiltrationsluftwechsel weitgehend weg und es muss zum Abtransport der Feuchtigkeit mehr aktiv gelüftet werden (siehe INFOBOX unten). Problematisch sind dicht schließende Fenster insbesondere dann, wenn die Wände nicht gleichzeitig wärme gedämmt werden und die Außenwände in der Wohnung weiterhin kalt sind (vgl. Kap. 3.2.2). Dann kann es durch unzureichende Lüftung zu erhöhter Luftfeuchte im Innenraum kommen, die an den kalten Wänden zu Erhöhung der Oberflächenfeuchte bzw. Wasserdampfkondensation führt.

Mit Hilfe eines Berechnungsmodells kann der Einfluss unterschiedlicher Lüftungsvarianten auf das Raumklima berechnet werden (siehe INFOBOX 4). Die Berechnungen zeigen, dass der Einbau neuer dichter Fenster bei geringem Dämmstandard des Gebäudes ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen zu Feuchteproblemen führt. Aus diesem Grund wird bei einem Wechsel von mehr als einem Drittel der Fenster in DIN 1946, Teil 6. die Erstellung eines Lüftungskonzepts zwingend vorgeschrieben.

INFOBOX 4 Ergebnisse einer Berechnung zum Einfluss unterschiedlicher Lüftungsvarianten auf das Raumklima

Zugrunde gelegt wurde eine typischen 3-Zimmerwohnung im Altbau mit Ziegelmauerwerk mit Mindestwärmeschutz (U-Wert 1,4 W/m²K

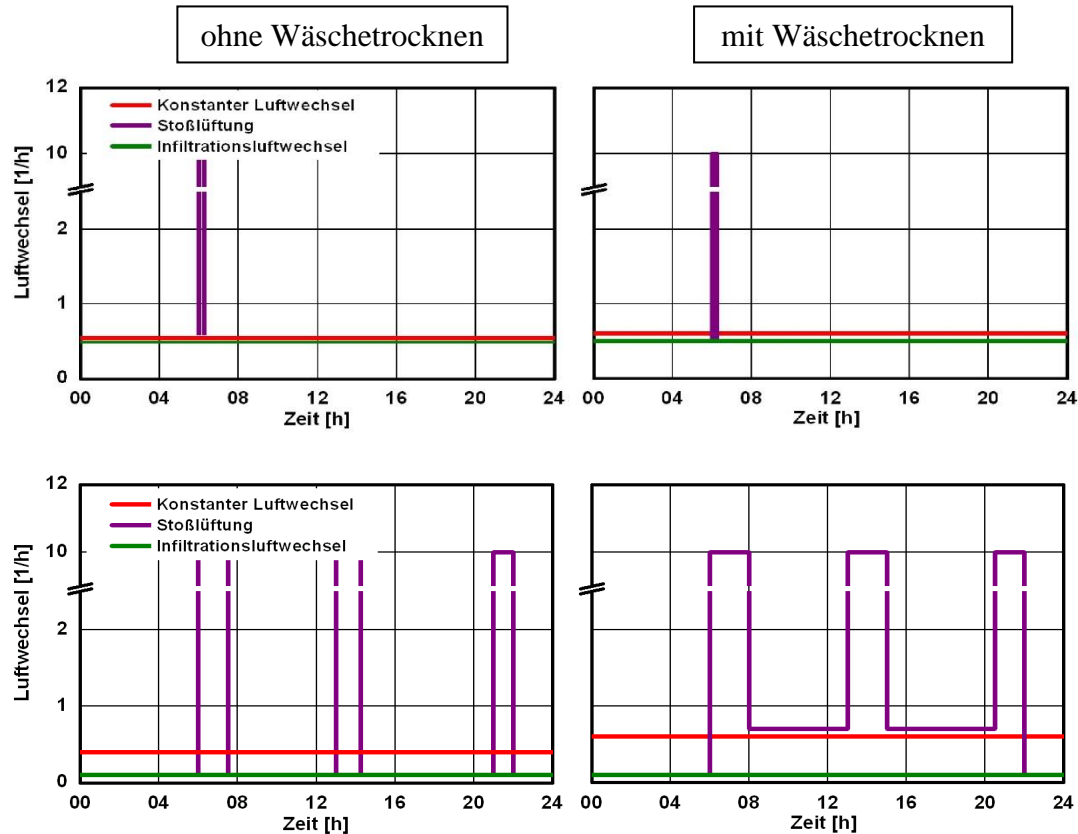


Bild: Zur Schimmelpilzvermeidung ermittelte notwendige Dauerlüftung (rot) bzw. Stoßlüftung (violett) im Schlafzimmer einer Altbauwohnung vor (oben) und nach Einbau dicht schließender Fenster (unten) sowie ohne (links) und mit (rechts) Wäschetrocknung im Wohnraum. Ebenfalls dargestellt ist der Infiltrationsluftwechsel (grün); Quelle: IBP

Als Beispiel zeigt das Bild oben den zeitlichen Verlauf der zur Vermeidung von Schimmelwachstum resultierenden Lüftungserfordernisse für das unsanierte Schlafzimmer der Modellwohnung und unten für das sanierte Schlafzimmer. Dargestellt sind Anzahl und Dauer der notwendigen aktiven Stoßlüftungen (Fenster öffnen) oder als Alternative der notwendige konstante Luftwechsel (z.B. über Lüftungsanlagen oder Infiltration), bei denen/dem es auch an der ungünstigsten Stelle im Raum (Außenecken) nicht zu einem Schimmelwachstum kommt. In dieser Berechnung wird auch der Infiltrationsluftwechsel über Undichtigkeiten berücksichtigt, der bei nicht sanierten Altbau Fenstern hoch (in diesem Beispiel 0,5 h⁻¹) und bei neuen, dichteren Fenstern sehr gering (in diesem Beispiel 0,1 h⁻¹) ist.

Bei der nicht sanierten Altbauwohnung (oben) ist aufgrund der hohen Infiltration (grüne Linie) durch die undichten Fenster eine einzige Stoßlüftung morgens ausreichend. Der Einfluss der erhöhten Feuchtelast durch Wäschetrocknen auf die Lüftung ist zwar zu erkennen (Bild rechts), trotzdem kommt man ohne weitere Stoßlüftung aus. Bei Dauerlüftung (bspw. mit einem Abluftventilator) genügt ein geringer zusätzlicher Luftaustausch.

Ein ganz anderes Bild ergibt sich, wenn beim Altbau ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen dichte Fenster eingesetzt werden (unten). Die dann notwendige Frequenz beim Stoßlüften (Bild unten links) wird in Praxis kaum noch erreicht. Das gilt erst recht, wenn zusätzlich Wäsche in der Wohnung getrocknet wird (Bild unten rechts). In solchen Fällen ist eine Belüftung über Lüftungsanlagen von Vorteil (rote Linie).

3.2.2. Falsch ausgeführte Innendämmungen

Eine **Innendämmung** von Außenwänden ist mittlerweile eine technisch ausgereifte Methode, um den geringen Wärmdämmstandard von Außenwänden in alten Gebäuden rasch zu verbessern. Allerdings ist eine sachgerechte Planung und Ausführung wichtig, da Innendämmmaßnahmen ansonsten das Schimmelpilzrisiko noch erhöhen können. **Innendämmmaßnahmen sollten daher vorzugsweise von Fachfirmen durchgeführt werden.**

Innendämmmaßnahmen sind dann das Mittel der Wahl, wenn aus Gründen des Denkmalschutzes oder der Ästhetik die Außenfassade nicht verändert werden darf. Die Innendämmung darf aber keinesfalls dazu eingesetzt werden, feuchte Wände (z.B. durch aufsteigende oder seitlich eindringende Feuchte oder Undichtheiten) zu kaschieren. Die Anwendung einer nachträglichen Innenwanddämmung birgt unterschiedliche Risiken und kann bei nicht fachgemäßem Einbau innerhalb von kurzer Zeit zu erheblichen Schäden am Bestandsgebäude führen (Abb. 16). Typische Probleme sind Hinterströmung der Innendämmung mit (feuchter) Luft, Kondensation durch Dampfdiffusion sowie Fehlstellen bei der Innendämmung. Weniger Probleme entstehen durch diffusionsoffene, vollflächig verklebte Dämmstoffe oder den Einbau von Installationsebenen.

Abb. 16 Schadensbild Innendämmung – wird später ergänzt.

Für das Anbringen einer Innendämmung sollten immer Fachleute zu Rate gezogen werden, da für den Laien die möglichen Probleme meist nicht direkt erkennbar sind. Häufig kann auch im Bereich von Wanddurchbrüchen und Steckdosen Feuchtigkeit hinter die Dämmfassade gelangen. Wanddurchbrüche müssen daher besonders sorgfältig ausgeführt werden. Ein Problem kann auch Schlagregen sein, wobei die Feuchtigkeit durch die Außenwand bis zur Raumseite vordringt, dort wegen der Innenwanddämmung aber nicht abtrocknen kann. Die jahrhundertlang bewährte zusätzliche Verkleidung von Außenwänden –Wetterseite- mit regendichten Materialien wie bspw. Schieferschindeln kann auch bei der energetischen Altbausanierung mit Innendämmung sinnvoll sein.

Innenwanddämmungen sollten immer sorgfältig vorbereitet und ausgeführt werden. Zur Vermeidung von Eintrag von Luftfeuchte aus dem Raum hinter die Dämmung ist die Dämmung vollflächig und dicht an der Außenwand anzubringen. Sofern diffusionsoffene Systeme eingesetzt werden, sollten diese unbedingt kapillaraktiv sein und eventuell gleichzeitig aufgrund ihrer hohen Alkalität wenig zur Schimmelbildung neigen, wie z.B. Calciumsilikatplatten.

INFOBOX 5

Innendämmungen sachgerecht ausführen!

Da Innenwanddämmungen häufig auch als „rasche Maßnahme“ zur Verbesserung der (alten) Bausubstanz zunehmend durchgeführt werden, werden im Folgenden die typischen Problembereiche einer Innenwanddämmung, die zu Schimmelwachstum führen können, kurz erläutert.

Hinterströmung der Innendämmung:

Durch die Dämmmaßnahme kann die Temperatur hinter der Dämmung unter den Taupunkt der Raumluft sinken. Luftkonvektion aus dem Wohnraum, die hinter die Dämmung gelangt, führt dann zu einer Feuchteerhöhung in diesem Bereich. Dämmstoffplatten sollen deshalb immer vollflächig an der Außenwand verklebt sein, um eine Befeuchtung durch Hinterströmung mit Innenraumluft zu vermeiden. Abb. 16 zeigt ein typisches Schadensbild, verursacht durch nicht vollflächige Verklebung und daraus resultierender Kondensation.

Kondensation durch Dampfdiffusion:

Die Temperatur der Oberfläche hinter der Innendämmung sinkt bei steigendem Dämmwert zeitweise deutlich unterhalb der Taupunkttemperatur der Innenluft. Aus diesem Grund eignen sich diffusionsoffene Standarddämmstoffe, wie z.B. Mineralwolle, als Innendämmung nur, sofern der Dämmwert dieser Innendämmung im Vergleich zum Dämmwert des dahinter liegenden Wandaufbaus gering ist oder raumseitig eine zusätzliche geeignete Dampfbremse (Dampfsperre) angebracht wird. Diffusionsoffene, aber kapillaraktive Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten, Mineralschaumplatten, Aufspritzzellulose) sind besser geeignet.

Fehlstellen bei Innendämmung:

Ausführungsfehler können dazu führen, dass am Bauwerk eventuell durch die Innenbeschichtung und die Dämmung ein durchgehender diffusionsoffener Spalt auftritt. Selbst bei korrekter Bauausführung ist aufgrund der Bewegungen im Mauerwerk oder Schrumpfungs- und Dehnvorgängen das Auftreten derartiger Fehlstellen nicht immer auszuschließen. Auch bezüglich dieser Fragestellung kann sich eine Kapillaraktivität des Dämmstoffes als vorteilhaft erweisen. Ganz wesentlich ist bei einem Innendämmsystem mit Dampfbremse, dass diese Sperrfolie ordentlich verklebt und nicht verletzt wird (z.B. durch nachträglich angebrachte Steckdosen, oder Dübellöcher in der Wand). Vermeidbar sind solche Beschädigungen durch Verwendung sog. Hohlraumsteckdosen oder durch den Einbau von Installationsebenen.

Einbindende Decken bzw. Innenwände:

Sofern in dem Gebäude vor der Anbringung der Innendämmung im Übergangsbereich zur Wand oder Decke keine Schimmelprobleme aufgetreten sind, sind nach der Innendämmmaßnahme auch keine zu erwarten. Diese Aussage gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die sonstigen Randbedingungen unverändert bleiben. Liegt nach der thermischen Sanierung eine Nutzungsänderung mit höherer Feuchtebelastung oder ein verändertes Lüftungsverhalten (z.B. durch Einbau neuer dichter Fenster) vor, muss das Risiko für späteren Schimmelbefall neu bewertet werden.

Fensterlaibungen

Eine Innendämmung führt auch zu einer Absenkung der Temperatur im Laibungsbereich der Fenster. Hier sind die Anwendungsmöglichkeiten für eine Dämmung meist stark eingeschränkt, da im Falle der Beibehaltung der bestehenden Fenster im Bereich des Fensterstocks meist nur wenige Zentimeter zur Verfügung stehen. Dieser Bereich muss deshalb besonders beachtet werden und erfordert häufig gesonderte Dämmösungen mit gegebenenfalls anderem Dämmstoff mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit als bei der Innendämmung der Wandflächen.

3.3 Bestehende Normvorgaben

Normative Hinweise zur Schimmelproblematik in Gebäuden findet man in aktuellen Regelwerken zum Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau. Ausgearbeitete, speziell auf die Schimmelproblematik ausgerichtete Normen gibt es derzeit in Deutschland noch nicht. In Anlage 3 findet sich eine Zusammenstellung aktueller Normen für den Schimmelbereich – wird später ergänzt.

3.4 Möglichkeiten zur Ermittlung der Befallsursachen

Bei der Ursachenermittlung eines Schimmelbewuchses sind in erster Linie die Gründe eines zu hohen Feuchtegehalts im befallenen Bereich festzustellen. Die Abfolge möglicher Ursachen ist in einem „Ursachenbaum“ nochmals schematisch dargestellt (siehe Anlage 2). Auf der linken Seite werden die Situationen aufgeführt, die vorliegen und die rechts dargestellten Ursachen haben können.

Der Ursachenbaum richtet sich primär an Wohnungsnutzer und -eigentümer, die entweder eine erste Ursache zu einem Schimmelbefall feststellen oder Maßnahmen zur Reduzierung eines Schimmelrisikos ergreifen wollen. Die Anwendung des Ursachenbaums ersetzt in schwerwiegenden oder komplizierteren Fällen nicht die Hinzuziehung einer sachverständigen Person.

Häufig sind Schimmelpilzschäden nicht auf einen Sachverhalt zurückführen, sondern die Folge mehrerer, sich überlagernder Ursachen. Beispielsweise kann eine ungünstige Kombination von Wärmebrücke, geringer Raumtemperatur und hoher Luftfeuchte zu einem Schimmelbefall führen, wobei keiner der Einzelfaktoren alleine diesen Effekt bewirkt hätte.

Eine genaue Bestimmung der Ursachen von Schimmelbefall erfordert häufig einen großen Untersuchungsaufwand hinsichtlich der konstruktiven Situation sowie zum Nutzerverhalten. Bei klar erkennbaren Ursachen sollte ohne weitere Untersuchungen sofort saniert werden, da der Aufwand zusätzlicher Untersuchungen in keinem Verhältnis zum Nutzen steht.

4 Vorbeugende Maßnahmen gegen Schimmelbefall

Feuchtigkeit ist der wichtigste Faktor für die Entstehung von Schimmel (siehe Kap. 1+3). Schimmelbefall vorzubeugen, bedeutet daher in erster Linie Maßnahmen zu ergreifen, um erhöhte Feuchtigkeit wirksam zu vermeiden oder zu beseitigen.

Viele häufig auftretende Schäden können durch Beachtung technischer, (bau)physikalischer Aspekte (siehe Kap. 4.1) und durch sachgerechte Nutzung mit ausreichendem Lüften (siehe Kap. 4.2) und Heizen (siehe Kapitel 4.4) vermieden werden.

Da einer sachgerechten Lüftung große Bedeutung zukommt, werden in Kapitel 4.3 die wichtigsten Lüftungsmöglichkeiten kurz beschrieben.

Leider gibt es aber Einflüsse, die weder bei der Planung neuer Gebäude, bei einer Renovierung oder Sanierung, noch vor und während der Nutzung berücksichtigt werden können und auch nicht durch bauliche Maßnahmen verhindert werden können und die dennoch zu massiven Feuchte- und Schimmelschäden führen können, wie z.B. Havarien durch Überschwemmungen (siehe Kap. 3.1.10), Rohrbrüche oder Unwetterereignisse mit Schäden an Dach oder Fassade.



Foto: Überschwemmung (Quelle: H. Merten, Dresden)

4.1 Vorbeugende bauliche Maßnahmen

Die Grundvoraussetzung für ein Gebäude ohne Feuchteprobleme und Schimmelbefall ist die Errichtung des Gebäudes nach den geltenden Vorgaben (Allgemein anerkannte Regeln der Technik, Bauordnungen der Länder; Musterbauordnung des Bundes). Dazu gehören insbesondere das Vermeiden von Wärmebrücken und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle sowie die Abdichtung der erdberührten Bauteile. Es empfiehlt sich, die Gebäudehülle sowie wasserführende Installationen vor der Nutzung auf mögliche Undichtigkeiten mittels Dichtheitsprüfung zu untersuchen.

Ebenso ist der Wärmeschutz der Außenhülle auch an Wärmebrücken zu beachten. Eine Überprüfung der Dämmung im ersten Winter mittels thermographischer Analyse des Innenraumes kann zeigen, wo eventuelle Schwachstellen vorliegen.

Bei der Bauausführung ist insbesondere zu beachten, dass keine feuchten Baumaterialien eingebaut werden (siehe Kap. 4.1.2) und vorhandene Baufeuchte ausreichend getrocknet und/oder abgelüftet werden muss (siehe Kap. 4.1.1).

Werden Bestandsgebäude saniert, dann sind zusätzliche Aspekte zu beachten (siehe Kap. 4.1.3). Außerdem helfen regelmäßige Inspektionen bei Gebäuden, Problemen vorzubeugen (siehe Kap. 4.1.4).

4.1.1 Vermeidung von Schimmelbefall durch Baufeuchte

Bei der Erstellung von Neubauten aber auch bei umfangreichen Sanierungen werden Baumaterialien eingebaut bzw. verwendet, die als wesentliche Komponente Wasser enthalten. So werden beispielsweise bei einem massiv errichteten Einfamilienhaus, bestehend aus gemauerten Wänden, Zementputz, Kellerwänden und Geschossdecken aus Beton ca. 10.000 l Wasser eingesetzt, d.h. in das Gebäude „eingebaut“. Ein Teil des Wassers muss über Trocknungsvorgänge sowie längerfristige intensive Gebäudelüftung nach außen transportiert werden (siehe auch Kap. 3). Je nach Bauausführung und Konstruktion kann die Trocknungsphase bis zu einigen Jahren dauern.

Aus wirtschaftlichen Gründen gibt es seit Jahren die Tendenz, Gebäude zu allen Jahreszeiten so schnell wie möglich zu errichten und zu beziehen. In der Vergangenheit wurde eher darauf geachtet, dass Rohbauten über die Wintermonate trocknen konnten, bevor mit dem Innenausbau begonnen wurde. Da früher weniger Wasser verwendet wurde (Ziegelmauerwerk und Holzbalkendecken statt Beton), die Gebäude undichter waren und zudem durch Verwendung von Feuerstätten eine stärkere Belüftung hatten, fand im Allgemeinen eine rasche Trocknung statt. Die Trocknung von Häusern mit Zentralheizung ist, zudem wenn sie luftdicht gebaut sind, deutlich schwieriger und zeitintensiver.

Bei der Bauausführung sollte darauf geachtet werden, dass der Innenausbau erst erfolgt, wenn die Baufeuchte hinreichend abgeführt wurde. Spezielle Probleme treten bei Estrichverlegearbeiten in Gebäuden mit Trockenbauwänden auf, hier kommt es häufig zu (teils verdecktem) Schimmelbefall an den Gipswerkstoffplatten.

4.1.2 Vermeidung von feuchten Baumaterialien

Baumaterialien sollen trocken gelagert und in trockenem Zustand eingebaut werden. Die Baupraxis zeigt immer wieder, dass Baumaterialien sorglos im Freien (und damit auch im Regen) gelagert und in diesem Zustand später ebenso sorglos eingebaut werden (siehe Foto).



Foto: Verschimmelte Gipskartonplatten vor Einbau; Quelle Lorenz

Besondere Sorgfalt ist auf die **Bauausführung** zu legen. **So sollen an der Baustelle angelieferte Materialien trocken gelagert und in trockenem Zustand eingebaut werden.** Besonders kritisch sind oft die ungeschützte Lagerung und der feuchte Einbau bei Dämmmaterialien sowie Trockenbauelementen und Holzwerkstoffplatten. Feucht eingebaute Materialien können später nur schwer abtrocknen und es kann in der Folge zu verdecktem Schimmelbefall kommen. **Baufeuchte**, die vor allem bei monolithischer Bauweise und beim Gießen von Estrichen auftritt (vgl. Kap. 3), muss ausreichend ablüften, bevor der Innenausbau erfolgt. Unsachgemäß ist es auch, Zwischenwände und Vorsatzschalen auf noch feuchten Estrich zu setzen, weil Feuchtigkeit von den Materialien aufgenommen wird und nur schwer abtrocknen kann.

4.1.3 Vermeidung von Feuchte und Schimmel bei Umbaumaßnahmen

Werden bisherige Nutzräume zu Wohnräumen umgewandelt oder für eine andere Nutzung umgerüstet, ist zu prüfen, inwieweit sich die bauphysikalischen Bedingungen dadurch ändern. Ein als Lager in einem Altbau genutzter und entsprechend errichteter Kellerraum oder Anbau kann zu erheblichen Problemen führen, wenn nur ein Innenausbau mit Wandverkleidungen und neuen Bodenbelägen durchgeführt wird, ohne die Dichtheit der Außenwände und der Bodenplatte gegen eindringende Feuchtigkeit zu prüfen und ggf. nachzubessern. Alte Räume, bestehend aus einer Beton-Bodenplatte und gemauerten Wänden, mit ausreichendem Luftwechsel über Wandöffnungen, undichte Türen und Fenster vertragen problemlos das Eindringen geringer Mengen an Feuchtigkeit. Wird jedoch beispielsweise die ehemals nicht gestrichene oder mit Kalkputz beschichtete Ziegelwand mit Trockenbauteilen verkleidet und der Fußboden mit schwimmendem Estrich und relativ dichtem Belag versehen, dann kann die über das Erdreich in Wände und Bodenplatte eindringende Feuchtigkeit nicht mehr in gleichem Maße an die Raumluft abgegeben werden wie zuvor; es kann zu einem Feuchtigkeitsstau kommen und es besteht die Gefahr, dass die Gipskartonwände, der Wandputz oder die Dämmung im Fußboden mikrobiell besiedelt werden.

Beim Anbau von Räumen oder Bauteilen, wie Treppen, ist genau darauf zu achten, dass der Schutz der Gebäudehülle gegen eindringendes Wasser (Schlagregen, drückendes Wasser) oder Erdfeuchte weiterhin gegeben ist. Insbesondere im Anschlussbereich alter und neuer Bauteile entstehen oft Lücken in der Gebäudeabdichtung, die zu erheblichen Schäden führen können. Fatal ist die Problematik dann, wenn die Abdichtung nach dem Anbau nicht mehr ohne weiteres nachgebessert werden kann, z.B. wenn an ein bestehendes Gebäude eine Garage direkt angebaut und hierbei die Abdichtung der erdberührenden Bauteile beschädigt wird. Die Reparaturstelle liegt in diesem Fall genau unter der Garage und ist von außen nicht mehr erreichbar, ohne die neue Garage wieder abzureißen.

Bei einer Gebäudesanierung werden nach heutiger Gesetzeslage oft große Anstrengungen gemacht, um den Energieverbrauch zu reduzieren. Dies führt unweigerlich dazu, dass an ein Gebäude, welches vor langer Zeit unter völlig anderen Gesichtspunkten und deshalb nach einem anderen bauphysikalischen Konzept errichtet wurde, komplett andere technische Anforderungen gestellt werden. Der nachträgliche Einbau dichter Fenster und die Installation einer Wärmedämmung

führen dazu, dass einerseits der gebäudespezifische Luftwechsel massiv reduziert wird und andererseits die Wandflächentemperaturen sich drastisch ändern (siehe Kap. 3.2.1).

Ein durch Sanierung von ursprünglich $n = 1 \text{ h}^{-1}$ auf $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$ reduzierter gebäudebezogener **Luftwechsel** bedeutet, dass man rein rechnerisch bei gleicher nutzungsbedingter Feuchtigkeitsproduktion, 10-fach länger lüften müsste als vorher. Das ist in der Praxis kaum realisierbar. **Mechanische Lüftungseinrichtungen** sind hier hilfreich, um den Feuchteabtransport zu gewährleisten. Weitere Hinweise zu Lüftung und Lüftungskonzepten finden sich in DIN 1946 Teil 6.

4.1.4 Überprüfung von Gebäuden im Alltagsbetrieb

Technische Produkte, die Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, werden gewöhnlich regelmäßig inspiziert und gewartet. Dies ist bei Fahrzeugen und bei gewerblich betriebenen Anlagen vorgeschrieben. Auch bei Gebäuden ist eine regelmäßige Inspektion hilfreich, um Feuchte- und Schimmelprobleme zu vermeiden.

Zu überprüfen wäre in regelmäßigen Abständen die Dichtheit der Gebäudehülle und, soweit möglich, der Zustand in Nassräumen und von Wasser führenden Leitungen.

Häufig entstehen Schäden durch sehr einfache zu beseitigende Ursachen, wie z.B. mit Laub verstopfte Regenrinnen. Wenn sich die Dachrinne verstopft, läuft Wasser an der Fassade herunter und kann einerseits in die Wände eindringen und andererseits zu einer Auskühlung der dann außen nassen Teile der Gebäudehülle führen. Im Winter können zusätzlich Frostaufbrüche die Folge sein, in das später weiteres Schlagregenwasser eindringt.



Foto: Regenrinnen, Einläufe Flachdach etc. - Quelle wird noch ergänzt

Silikonfugen in Nassräumen sind sogenannte "Wartungsfugen", die nach einer gewissen Betriebszeit ausgetauscht werden müssen, da sie dann undicht werden. Duschwasser kann dann leicht in die Wand hinter der Badewanne oder der Duschtasse eindringen und vor allem bei Leichtbau- und Holzkonstruktionen meist unbemerkt schweren Schaden anrichten.

Rohrleitungen im Haus sollen regelmäßig geprüft werden. Das ist bei „unter-Putz“ verlegten wasserführenden Versorgungsleitungen allerdings technisch aufwendig und schwierig. Deutliche Hinweise auf die Notwendigkeit, Rohre zu erneuern, können Rostpartikel im Wasser oder entsprechende Verfärbungen des Wassers sein.

TIPPS:

Regelmäßig die Regenrinnen und die Fassade kontrollieren.

Nach Sturm das Dach inspizieren.

Auf Ablösungen und Undichtigkeiten von Silikondichtungen im Badbereich (Dusche, Badewanne) achten.

Im Zuge einer Sanierung prüfen, ob alte Wasserrohre getauscht werden müssen.

4.2 Richtiges Lüften

Die Raumnutzer können viel dazu beitragen, den Innenraum frei von Schimmelwachstum zu halten, denn durch ausreichendes Lüften kann die bei der Nutzung freigesetzte Feuchtigkeit ins Freie „entsorgt“ werden. Durch Heizen (siehe Kap. 4.4) wird der Feuchtigkeitstransport beim Lüften unterstützt und der Gefahr zu geringer Oberflächentemperaturen z.B. der Wände (siehe Kap. 3) entgegengewirkt. Bei Gebäuden mit baulichen Mängeln oder zu geringen Lüftungsmöglichkeiten sind diese Maßnahmen im Einzelfall aber nicht ausreichend.

Alte, undichte Gebäude verfügen selbst bei geschlossenen Fenstern und Türen über einen höheren Luftwechsel (= größerer Luftaustausch) als neue oder sanierte dichte Häuser. Lüften ist in alten wie neuen (luftdichten) Gebäuden gleichermaßen wichtig. Allerdings ist die Lüftungsfrequenz in „dichten“ Gebäuden je nach Nutzung zum Teil deutlich zu erhöhen. Alternativ können Lüftungstechnische Einrichtungen (siehe Kap. 4.3.3) eingebaut werden.

Die Raumnutzer sollen insbesondere bei Neubezug und nach energetischen Sanierungsmaßnahmen über die jeweiligen Besonderheiten ihrer Gebäudesituation aufgeklärt werden und auf die Situation abgestimmte Handlungsempfehlungen erhalten. Hilfestellung findet man bei der bundesgeförderten Energieberatung der Verbraucherzentralen www.verbraucherzentrale-energieberatung.de

In Häusern oder Wohnungen mit kontrollierten Wohnraumlüftungssystemen wird in der Regel über die Lüftungstechnik ausreichend Feuchte abtransportiert.

INFOBOX 1 Tipps zum Lüften

Die folgenden Tipps beziehen sich auf Gebäude, die über Fenster belüftet werden und nicht über eine Lüftungstechnik verfügen.

In Räumen mit hoher Feuchtfreisetzung, insbesondere im Bad und in der Küche, die mit Feuchtigkeit angereicherte Luft so rasch wie möglich nach der Nutzung durch Lüften ins Freie transportieren. Eintrag der feuchten Luft in andere Räume verhindern, d.h. besser nicht Querlüften sondern mit komplett geöffnetem Fenster bei geschlossener Tür lüften.

Auch Räume lüften, die nur kurz oder fast nicht genutzt werden, wie Flure, Gästezimmer oder Abstellräume. Es wird unweigerlich Feuchtigkeit aus den genutzten Räumen auch in diese Räume gelangen; diese muss auch dort „weggelüftet“ werden, bevor es zu einer kritischen Feuchteanreicherung kommt.

Beim Trocknen von Wäsche oder feuchten Handtüchern in geschlossenen Räumen auf ausreichendes, zeitnahes Lüften achten. Alternativ kann der Einsatz von Wäschetrocknern sinnvoll sein, bei dem die Feuchtigkeit entweder in einem Behälter gesammelt (Kondenstrockner) oder direkt ins Freie transportiert wird (Ablufttrockner).

„Restfeuchte“ auf den Wandfliesen nach dem Baden oder Duschen mit einem Wischer abziehen. Eine nachträgliche Installation einer über Feuchtesensoren gesteuerten mechanischen Belüftung mittels Abluftventilator ist insbesondere bei kleinen Bädern ohne Fenster empfehlenswert.

Funktion von Abluftschächten (mit oder ohne Ventilator) regelmäßig auf einwandfreie Funktion kontrollieren. Auf einfache Weise testet man dies, indem man ein Stück Toilettenpapier an das Lüftungsgitter hält. Wird das Papier nicht angesaugt und bleibt nicht am Gitter hängen, ist die Lüftung sehr wahrscheinlich unzureichend und der Filter muss gereinigt werden. Wenn dies nicht hilft, muss der Abluftventilator von Fachleuten inspiziert werden. Auf keinen Fall darf der Auslass verschlossen oder der Ventilator außer Betrieb genommen werden.

Zur Reduzierung der Feuchtelast in Küchen haben sich **Dunstabzugshauben** mit Abführung der Abluft ins Freie sehr bewährt. Viele Abzugshauben sind aber keine Abluftanlagen, sondern Umluftanlagen, die nur Gerüche reduzieren, nicht aber die beim Kochen freigesetzte Feuchtigkeit. Küchen ohne Entlüftungsanlagen müssen während und nach der Nutzung durch ausreichende Fensterlüftung „entfeuchtet“ werden.

In kühlen Kellerräumen gilt die Regel, dass man nur lüften sollte, wenn die Temperatur der Außenluft geringer ist als die Temperatur im Keller. Man läuft sonst Gefahr, dass -absolut betrachtet- feuchtere Außenluft in den Keller einströmt, dort abkühlt und zu sogenannter „Sommerkondensation“ führt – dies kann auch bei Souterrainräumen auftreten. Bei warmem und feuchtem Außenklima sollte man daher nur spät abends, nachts oder in den frühen Morgenstunden lüften d.h. wenn die Außentemperatur nicht über der Kellertemperatur liegt.. Tagsüber sollten die Kellerfenster am besten geschlossen bleiben. Reicht eine entsprechend angepasste Lüftung nicht aus, um kritische Feuchtigkeit zu vermeiden, sind technische

Maßnahmen wie beispielsweise über die absolute Feuchte gesteuerte Lüftungssysteme erforderlich (siehe Kap. 4.3.3).

4.3 Möglichkeiten der Lüftung

In den folgenden Kapiteln werden die Möglichkeiten der freien Lüftung (siehe Kap. 4.3.1) sowie der Lüftung mit Lüftungstechnik (siehe Kapitel 4.3.2 und 4.3.3) und deren Wartung (siehe Kap. 4.3.4) beschrieben.

4.3.1 Freie Lüftung

Eine Luftförderung, die durch Ausnutzung natürlicher Druckunterschiede infolge Wind und Thermik (Temperaturunterschiede) entsteht, nennt man freie Lüftung. Eine freie Lüftung kann über manuelle Fensterlüftung oder über Abluftschächte (siehe oben) erfolgen. Unterschiedliche Wetterlagen und Windverhältnisse (Luv/Lee) führen dabei jedoch zu einem nicht kontrollierbaren Luftwechsel.

Manuelle Fensterlüftung

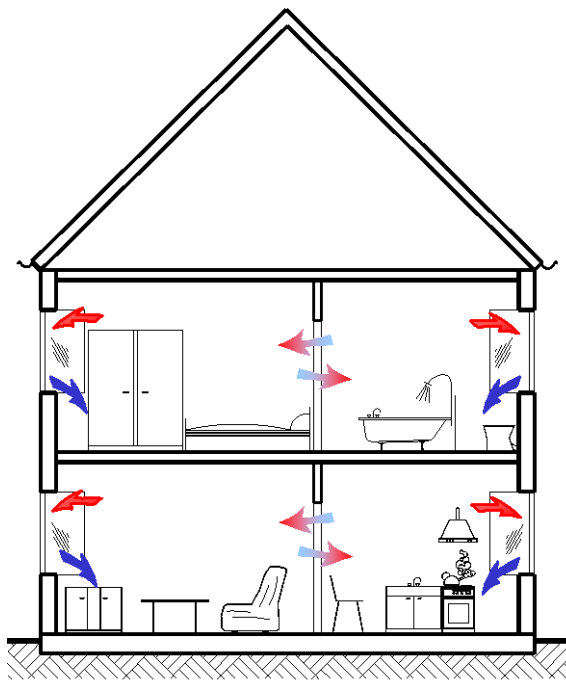


Abb. 17: Freie Lüftung – Fensterlüftung (rot = Abluft; blau = Zuluft)

Für hohe Lüftungsraten sollen die Fenster im zu lüftenden Raum komplett geöffnet werden (Stoßlüftung, siehe Abb. 17). Die Fensterlüftung ist dabei am wirksamsten, wenn man gegenüber liegende Fenster gleichzeitig öffnet (sog. Querlüftung), da dann die Luft am schnellsten gegen Außenluft ausgetauscht wird. Querlüften kann aber zu unerwünschten Zugerscheinungen führen. Entsprechend empfindliche Personen sollten darauf achten und während der Querlüftung den betreffenden Raum meiden.

Stoß- und Querlüftung sind die Mittel der Wahl! Eine Lüftung mittels gekippter Fenster ist deutlich weniger effektiv und müsste über einen erheblich längeren Zeitraum erfolgen. Das lang anhaltende Lüften über Kippstellung der Fenster birgt in der kalten Jahreszeit zudem die Gefahr, dass der Laibungsbereich stark auskühlt und es dann an den ausgekühlten Oberflächen zu Schimmelbildung kommt. Außerdem empfiehlt sich in der kalten Jahreszeit die Kipplüftung über längere Zeiträume nicht, da unnötige Heizenergie verbraucht wird. Bei dichteren Gebäuden ist Fensterlüftung nicht immer ausreichend und muss ggf. durch mechanische Lüftungseinrichtungen unterstützt oder ersetzt werden.

Schachtlüftung und passive Lüftungsöffnungen

Besonders in älteren Mehrfamilienhäusern mit Bädern oder WCs ohne Fenster sind häufig nicht ventilatorunterstützte Abluftschächte (Schachtlüftungen) vorhanden. Über einem über das Dach führenden Lüftungsschacht sollen damit Bäder und Küchen durch natürlichen Auftrieb entlüftet werden. Mitunter sind verschiedene Mieter aus unterschiedlichen Stockwerken an denselben Schacht angeschlossen. In diesen Fällen kann es leicht zu einer Geruchsübertragung kommen.

Passive Lüftungsöffnungen wie gezielt eingebaute Schlitze oder Öffnungen in Fenstern und Türen können ebenfalls einen gewissen (meist nicht ausreichenden) Luftaustausch zulassen und damit zur Entfeuchtung der Räume beitragen.

Bei Schachtlüftungen und passiven Lüftungsöffnungen kann die Menge an Frischluft nicht gesteuert werden. Dies führt dazu, dass oft im Winter zu viel und im Sommer zu wenig Luft ausgetauscht wird. Eine effiziente Abfuhr von Luftfeuchte ist dadurch nur zeitweise gegeben, es kommt zu unnötigen Energieverlusten und unkontrollierten Luftströmungen. Eine gezielte Ablufführung mittels Ventilator gewährleistet die notwendige Feuchteabfuhr wesentlich besser und gezielter. Ob die vorhandenen Schächte geeignet sind, um sie für eine ventilatorgestützte Lüftungsanlage (siehe 4.4.2) zu nutzen muss von Fachleuten für Lüftungstechnik geprüft werden.

Schachtlüftungen und **passive Lüftungsöffnungen** bewirken einen gewissen Luftwechsel, sind aber für eine gezielte Feuchteabfuhr ungeeignet.

4.3.2 Einfache mechanische Lüftungseinrichtungen

Reicht das manuelle Lüften über Fenster oder passive Lüftungsöffnungen nicht aus, um eine ausreichende Feuchteabfuhr zu erreichen, ist der Einbau lüftungstechnischer Einrichtungen zu empfehlen. Sie haben den Vorteil, dass sie nutzerunabhängig betrieben werden können. Einfache mechanische Lüftungseinrichtungen gewährleisten eine Entfeuchtung von Räumen, alleine betrieben sind sie bei dichten Gebäuden jedoch nicht in der Lage, eine hygienisch ausreichende Luftabfuhr in Hinblick auf vom Menschen verursachte Luftverunreinigungen zu gewährleisten. Sie können daher kein Ersatz für Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung sein.

Ventilatorbetriebene Abluftanlagen

Die in Abb. 18 dargestellten Abluftanlagen sind dadurch gekennzeichnet, dass Abluft aus den am meisten belasteten Räumen (Küche, Bad, WC) mittels eines Ventilators abgesaugt und über einen Luftkanal nach außen (meistens über das Dach) transportiert wird. Wenn in Küche und Bad Luft aus der Wohnung gesaugt wird, muss auch Luft in die Wohnung nachströmen können. Bei älteren, undichten Gebäuden strömt die Außenluft über Undichtheiten in das Gebäude nach. Bei neuen oder energetisch sanierten, mithin luftdichten Gebäuden ist der Einbau von Außenluftdurchlässen (ALD) zur Luftnachströmung erforderlich. Verschmutzte Filter von Abluftanlagen in Nassräumen beeinträchtigen oder verhindern die Luftströmung und gehören daher zu den häufigen Ursachen von zu hoher Luftfeuchte in diesen Räumen.

Ventilatorgestützte Abluftanlagen in Verbindung mit Außenluftdurchlässen (ALD) bieten eine einfache Möglichkeit zur zielgerichteten Entfeuchtung.

Der Betrieb der Abluftanlagen erfolgt am einfachsten durch Kopplung mit dem Lichtschalter mit Nachlauf, z.B. bei Bädern ohne Fenster. Mitunter reicht dies aber nicht aus.

Bei hoher Luftfeuchte können **Feuchtesensoren**, sogenannte Hygrostaten, eingebaut werden, die ab einer gewissen relativen Luftfeuchte den Ventilator in Betrieb setzen. Im Sommer kann dies zu einem nicht sinnvollen Dauerbetrieb führen, besser wäre es daher, den Ventilator über die absolute Luftfeuchte zu steuern.

Filter, Ventilator und Deckenauslass von Abluftventilatoren und Dunstabzugseinheiten müssen regelmäßig gesäubert bzw. gewechselt werden. Mieter sollen vom Vermieter darüber informiert werden, für welche Wartungsarbeiten (z.B. Filterwechsel) der Mieter selbst zuständig ist.

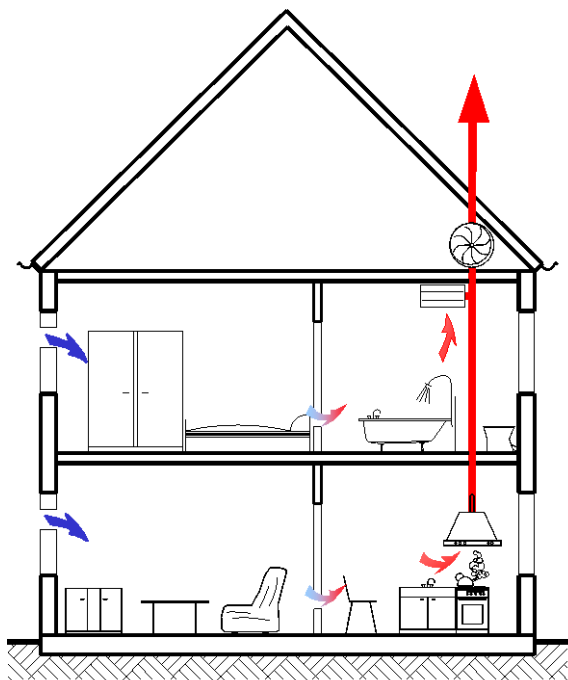


Abb. 18: Ventilatorgestützte Entlüftung einer Wohnung: Außenluftdurchlässe (ALD) und Abluftanlage (rot = Abluft; blau = Zuluft)

Bedarfsorientierte mechanische Fensterlüftung

Eine einfache gezielte Lüftungsmaßnahme stellt die bedarfsorientierte mechanische Fensterlüftung dar. Bei erhöhter Luftfeuchte (oder zu hohen CO₂-Werten) werden die Fenster mittels kleiner Motoren automatisch geöffnet und anschließend bei Erreichen der gewünschten Werte wieder verschlossen. Regen- und Windsensoren verhindern das Öffnen bei ungünstigen Wetterverhältnissen.

Der Vorteil einer derartigen Lösung ist der relativ einfache Einbau (vor allem bei Dachflächenfenstern) und die Möglichkeit der automatisierten Nachtlüftung im Sommer. Nachteile ergeben sich im Vergleich zur kontrollierten Wohnraumlüftung (siehe Kap. 4.3.3 und 4.3.4) durch den erhöhten Lüftungswärmeverlust und die häufig unkalkulierbaren zugeführten Luftmengen, die unter bestimmten Umständen zu Zugerscheinungen führen können.

4.3.3 Raumluftechnische Anlagen mit Zu- und Abluftführung

Komplexer als reine Entlüftungsanlagen sind Anlagen mit Zu- und Abluftführung, die heute in der Regel mit einer Wärmerückgewinnung versehen werden. Diese Lüftungseinrichtungen haben ebenfalls den Vorteil, dass sie nutzerunabhängig sind, d.h. auch betrieben werden können, wenn der Nutzer nicht an das Lüften denkt, wenn es ihm nicht möglich ist (bspw. in den Nachtstunden oder an dicht befahrenen Straßen) oder wenn er nicht zu Hause ist. Der Luftvolumenstrom (und damit der Lüftungserfolg) hängt zudem nicht nur von den Luftdruckdifferenzen innen-außen, sondern von der Nutzung der Räume ab. Ein gewisser Nachteil ist die Notwendigkeit zur regelmäßigen Wartung und Kontrolle.

Wenn die Luft nur transportiert und gegebenenfalls temperiert wird, spricht man von „Lüftungsanlagen“, ggf. mit Heizfunktion (siehe DIN EN 13779). Systeme mit zusätzlicher Be- und/oder Entfeuchtung bzw. Kühlung nennt man „Klimaanlagen“. Funktionstüchtige Lüftungsanlagen sind die sicherste Lösung, um Feuchtigkeit, Gerüche, Kohlendioxid und sonstige, im Innenraum unerwünschte, Luftinhaltsstoffe abzutransportieren.

Im Schulneubau hat das Umweltbundesamt in seinem Leitfaden zur Innenraumhygiene in Schulgebäuden (Umweltbundesamt 2009) empfohlen, grundsätzlich solche Lüftungseinrichtungen vorzusehen. Im Miet- und Privatwohnungsbau ist es derzeit in Deutschland eher die Ausnahme, in angrenzenden Ländern wie der Schweiz und Österreich oder im skandinavischen Raum bei Neubauten aber oft schon die Regel.

Soll die Außenluft vorgekühlt (Sommer) oder vorerwärmt (Winter) in das Gebäude gelangen, sind unterschiedliche Systeme an Erdwärmetauschern verfügbar. Entweder wird die zu temperierende Luft direkt durch den Erdwärmetauscher geführt (Luft-Erdwärmetauscher) oder über einen Wärmetauscher (Sole-Erdwärmetauscher). Die Wandtemperatur der Luft-Erdwärmetauscher ist ähnlich wie bei kalten Kellerwänden im Frühjahr und Sommer zeitweise niedriger als die Taupunkttemperatur der Luft. Dann tritt hohe relative Feuchte an den Wänden oder sogar Kondensation auf. Auch bei korrekter Abfuhr der Feuchte und guten Zuluftfiltern ist bei Wachstum von Mikroorganismen ein Transport von kleineren mikrobiellen Bestandteilen wie PAMPs oder Mykotoxinen (siehe Kap. 2.2) in die Innenräume über die Zuluft zu erwarten. Aus diesem sowie aus Gründen der

einfacheren Regelung sollten Luft-Erdwärmetauscher nicht mehr verwendet werden, sondern Sole-Erdwärmetauscher oder Wärmepumpen bevorzugt werden. Zu beachten ist immer, dass diese in Lüftungsanlagen integrierten Kühlregister eine regelmäßige Wartung entsprechend den Vorschriften für Klimaanlage erforderlich machen.

Lüftungsanlagen

Lüftungsanlagen gibt es als zentrale Anlagen für das gesamte Gebäude, für einzelne Wohnungen oder Büroeinheiten sowie als dezentrale Einzelgeräte für einzelne Räume.

Bei zentralen Lüftungsanlagen mit Zu- und Ablufführung – in Wohngebäuden auch „Kontrollierte Wohnraumlüftung“ genannt – (siehe Abb. 19) wird mit einem Ventilator Raumluft aus Abluft-Räumen (bspw. Küche, Bad und WC) abgesaugt. Die Zuluft wird mit einem zweiten Ventilator über Luftkanäle in die Wohnung oder den Bürobereich geleitet. Während der Heizperiode erfolgt eine Wärmerückgewinnung, die die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes verbessert. Lüftungsanlagen mit erhöhten Anforderungen an Effizienz, Hygiene und Komfort werden „Komfortlüftung“ genannt (www.komfortlüftung.at).

Bei Passivhäusern oder Nullenergie-Häusern sowie bei so genannten Plus-Energie Häusern sind der Einbau von Zu- und Abluftanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung (Komfortlüftungsstandard) zwingend erforderlich. Bei älteren und einfacheren Zu- und Abluftanlagen kann üblicherweise der Luftaustausch in mehreren Stufen eingestellt werden oder er wird über eine Zeitschaltautomatik gesteuert. Bei diesen Systemen kann es im Winter zu sehr niedriger Luftfeuchte kommen. Moderne Anlagen nutzen die eingebrachte Luft effizienter durch einfache oder mehrfache Überströmung (kaskadische Mehrfachnutzung) und arbeiten mit Sensoren-unterstützter Bedarfsregelung. Sie enthalten auch eine Feuchterückgewinnung, damit die Luft in den Wintermonaten nicht zu trocken wird.

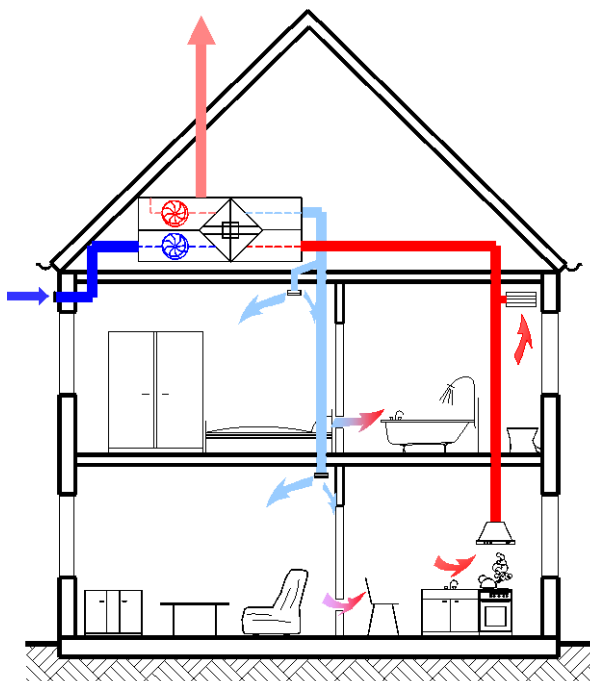


Abb. 19: Zentrale (wohnungsweise) Lüftungsanlage mit Zu- und Ablufführung mit Wärmerückgewinnung (rot = Abluft; blau = Zuluft)

Neben zentralen (wohnungsweisen) Lüftungsanlagen erfreuen sich dezentrale Lüftungssysteme zunehmender Beliebtheit. Mit dezentralen Lüftungsgeräten (siehe Abb. 20) können einzelne Räume belüftet werden. Diese Geräte werden bevorzugt an der Außenwand neben dem Fenster oder im Bereich der Fensterbank montiert. Eine andere Variante besteht in der Kombination des Lüftungsgerätes mit dem Heizkörper unter dem Fenster. Abgesehen von einigen Sonderlösungen handelt es sich um Zu- und Abluftgeräte. Wie bei der zentralen Zu- und Abluftanlage ist der Einsatz eines Wärmetauschers mittlerweile Standard.

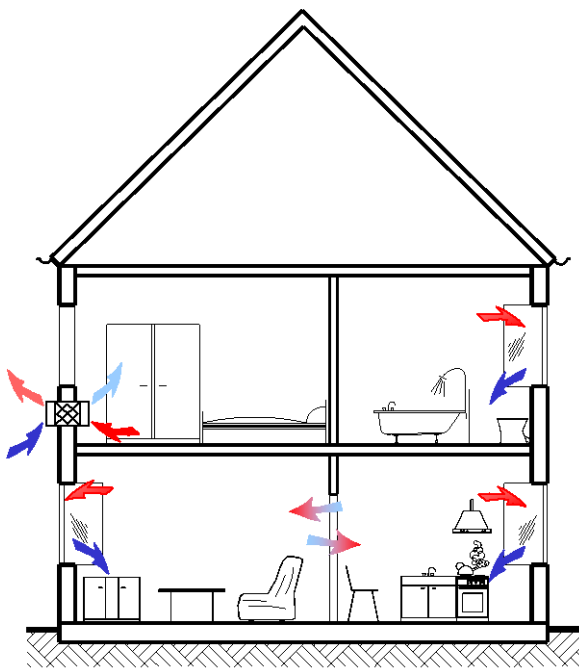


Abb. 20: Dezentrale (raumweise) Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung
(rot = Abluft; blau = Zuluft)

Für dezentrale Lösungen sind keine längeren Lüftungsleitungen erforderlich. Die Lüftung lässt sich gut – oft auch mit Zeitprogramm – an die Raumnutzung anpassen. Besonders wichtig sind leise Ventilatoren, da besonders in den Schlafräumen Lüftungsgeräusche zu Recht als störend empfunden werden. Nachteile dezentraler Lösungen ergeben sich aus den oft zu geringen Luftleistungen derartiger Geräte, die keine ausreichende Abfuhr anthropogener Luftverunreinigungen erlauben.

Dezentrale Lüftungseinrichtungen eignen sich besonders bei der Altbauanierung, wo es baulich kaum oder nur mit hohem Kostenaufwand möglich ist, zentrale Zu- und Abluftanlagen für das ganze Haus oder die Wohnung zu installieren. Sie eignen sich auch als Lösung für besonders beanspruchte bzw. ungünstig gelegene Räume, wie z.B. in Wohn- und Schlafräumen an viel befahrenen Straßen.

Für jedes Lüftungsgerät sind in der Regel Öffnungen in der Außenwand erforderlich. Das Aussehen der Gebäudefassade wird dadurch beeinflusst. Besonders bei

denkmalgeschützten Gebäuden erschweren architektonische Bedenken daher oft den Einbau. Es gibt aber auch Einzellüftungsgeräte, die vollständig in den Fensterrahmen integriert sind und keine derartigen Öffnungen mehr benötigen (siehe Abb. 20).

Klimaanlagen

Als „Klimaanlagen“ werden zentrale RLT-Anlagen bezeichnet, wenn die Zuluft zusätzlich noch be- oder entfeuchtet bzw. gekühlt werden kann. Meist erfolgt dies zentral in Klimazentralen. Der Vorteil derartiger Anlagen liegt in der genauen Einstellung des gewünschten Innenraumklimas. Nachteile sind der energie- und kostenintensivere Betrieb und der erhöhte Wartungsbedarf. Die Auswahl und Anordnung der Luftauslässe erfordert strömungstechnisches Fachwissen, da sonst leicht Zugerscheinungen auftreten.

Unter „**Klimaanlagen**“ versteht man raumluftechnische Anlagen, die nicht nur eine Temperierung der Luft über eine Wärmerückgewinnung ermöglichen, sondern auch zusätzliche Komponenten zur Kühlung / Heizung und/oder zur Be- und Entfeuchtung der Luft verfügen. An die Installation und Wartung solcher Anlagen sind hohe Anforderungen zu stellen. Klimaanlagen arbeiten meist mit zwei **Filtersystemen**, die Verunreinigungen aus der angesaugten Luft filtern.

Auch Verfahren zur „Luftverbesserung“ wie Ozonung oder Ionisation der Zuluft werden angeboten, sind aus hygienischen Gründen aber weder erforderlich noch sinnvoll. In Wohnungen sind Klimaanlagen eher die Ausnahme und zur Vermeidung von Schimmelbefall nicht notwendig.

4.3.4 Wartung technischer Lüftungseinrichtungen

Lüftungsanlagen müssen regelmäßig inspiziert und wenn nötig gereinigt werden. Details dazu sind in der Richtlinienreihe VDI 6022 geregelt. Zu- und Abluftfilter sind regelmäßig zu wechseln. Hochwertige Zuluftfilter (F7 oder besser) helfen Verschmutzungen im System zu vermeiden und senken den Eintrag von Pollen, Sporen und Feinstaub aus der Außenluft deutlich.

Werden technische Lüftungseinrichtungen installiert, sind die sorgfältige Ausführung beim Bau, die eingestellten Zuluftvolumina und die einwandfreie Funktion unmittelbar nach der Installation zu überprüfen.

Im Einzelnen müssen die Anforderungen an Dimensionierung, Funktion und Schallschutz kontrolliert und protokolliert werden. Detaillierte Hinweise hierzu finden sich in der DIN EN 13779, der DIN 1946 – Teil 6 sowie in der VDI-Richtlinie 6022. Darin finden sich auch Angaben zur Wartung und Kontrolle solcher Anlagen.



Foto: Verschmutzter Filter bei Abluftanlage, Quelle wird noch ergänzt

Gut gewartete moderne Lüftungs- und Klimaanlage sind keine „Keimschleudern“ mehr, wie die praktisch nicht gewarteten Klimaanlage der siebziger-Jahre des vorigen Jahrhunderts mit Umlaufsprühbefeuchtung mitunter zu Recht bezeichnet wurden. Bei Lüftungsanlagen ist eine Verkeimung der Luftkanäle bauartbedingt praktisch nicht möglich. Durch eine geeignete Filterung der Zuluft werden sogar deutlich niedrigere Luftkeimkonzentrationen in der Raumluft erreicht als bei reiner Fensterlüftung, Voraussetzung dafür sind hochwertige Zuluftfilter (in der Praxis meist nur G4 bis F6, Empfehlung jedoch F7 bis F9).

4.4 Richtiges Heizen

In Kap. 3 wurden bereits einige Ausführungen zum Zusammenhang Heizen und Raum- und Oberflächentemperaturen gemacht. Richtiges Heizen zusammen mit richtigem Lüften (siehe Kap. 4.2) beugen Schimmelwachstum vor.

INFOBOX 2

Richtig Heizen

Alle Räume ausreichend heizen.

Kalte Raumluft kann weniger Wasser aufnehmen als wärmere!

Schlafräume:

Pro Nacht gibt jede Person etwa $\frac{1}{4}$ Liter Wasser an die Raumluft ab. Deshalb sollte die Raumlufttemperatur in Schlafräumen möglichst nicht zu tief sinken, die Türen zu wärmeren Räumen geschlossen werden und für eine ausreichende Lüftung gesorgt werden. Im Allgemeinen reichen Temperaturen von 16 °C -18 ° C, um Feuchte- und Schimmelprobleme zu vermeiden. Aufgrund der niedrigeren Raumlufttemperaturen sollte die Möblierung bei schlecht gedämmten Gebäuden gerade im Schlafzimmer bevorzugt an den Innenwänden erfolgen.

Ungenutzte Räume:

Auch über längere Zeiträume wenig oder nicht genutzte Räume sollten geringfügig beheizt werden.

Türen zu weniger beheizten Räumen geschlossen halten.

Es ist nicht sinnvoll kühle Räume mit Luft aus wärmeren Räumen zu temperieren, denn dadurch wird nicht nur Wärme, sondern auch Feuchte in den kühlen Raum übertragen. Wenn sich die warme Luft an den Wandoberflächen abkühlt, steigt die relative Oberflächenfeuchte und es besteht die Gefahr, dass Schimmelbefall entsteht.

Heizung kann nachts oder bei längerer Abwesenheit gedrosselt werden.

Durch die Verringerung der Raumlufttemperatur – das geschieht nachts meist zentral über die Heizkesselanlage des Hauses – wird Energie gespart. Dabei muss aber der Zusammenhang mit der Raumluftfeuchte beachtet werden. Beim Vorliegen erhöhter Raumluftfeuchte sollte die Raumlufttemperatur nur abgesenkt werden, wenn dadurch nicht zu hohe relative Oberflächenfeuchten entstehen.

Wärmeabgabe der Heizkörper nicht behindern.

Sehr ungünstig ist es, wenn Heizkörper durch falsch angebrachte Verkleidungen oder übergroße Fensterbänke verbaut oder durch Vorhänge bzw. Gardinen zugehängt sind. Im ungünstigen Fall ist die gewünschte Raumlufttemperatur nicht mehr erreichbar und gleichzeitig steigt damit der Energieverbrauch.

5 Schimmelbefall erkennen, erfassen und bewerten

Bei Verdacht auf Vorliegen eines Schimmelbefalls werden die betroffenen Räume von Fachleuten mit bauphysikalischem und mikrobiologischem Sachverstand überprüft ("begangen"), um die Ursachen der Feuchtigkeit und das Ausmaß des Schadens festzustellen (siehe Kap. 5.1.1). Die Schadensaufnahme wird mit dem Ziel durchgeführt relevante Schäden durch Feuchtigkeit zu lokalisieren sowie einen möglichen mikrobiellen Befall in Abgrenzung zum normalen, unvermeidlichen Hintergrund zu erkennen. Bei der Ortsbegehung wird auch festgelegt, ob zur Abklärung der Ursache und des Ausmaßes des Befalls weitergehende Untersuchungen (siehe Kap. 5.1.2) notwendig sind.

Die Auswertung der Ergebnisse der Ortsbegehung und ggf. weiterer Untersuchungen im Gesamtzusammenhang ermöglichen eine Aussage zum Vorliegen einer Schimmelquelle im Innenraum (siehe Kap. 5.2). Beim Vorliegen eines Schimmelbefalls im Innenraum müssen die Ursachen für die erhöhte Feuchtigkeit beseitigt und der betroffene Bereich saniert werden (siehe Kap. 6).

Alle Ergebnisse und Bewertungen sollen in einem aussagekräftigen Gutachten zusammengefasst werden (siehe Kap. 5.3).

Bei Vorliegen einer Schimmelquelle im Innenraum kann ein individuelles gesundheitliches Risiko (siehe Kap. 2) valide nur von einem Arzt unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Anfälligkeit (Disposition) des Menschen gegenüber möglichen Schimmelwirkungen beurteilt werden. Eine quantitative messtechnische Objektivierung einer Schimmelexposition zur Beurteilung eines individuellen gesundheitlichen Risikos ist nicht möglich.

Detaillierte Hinweise zur ärztlichen Vorgehensweise bei gesundheitlichen Problemen, die möglicherweise mit Schimmel im Innenraum in Zusammenhang stehen, finden sich z. B. in der aktuellen AWMF-Leitlinie³ (2016) sowie bei⁴ RKI (2008).

³ AWMF-Leitlinie 161-001: Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelexposition in Innenräumen

⁴ Schimmelpilzbelastung in Innenräumen – Befunderhebung, gesundheitliche Bewertung und Maßnahmen.
Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ (2008) Umweltmed
Forsch Prax 13:47-64

An wen kann ich mich bei Verdacht auf Schimmelwachstum in der Wohnung wenden?

Möchten Sie wissen, wer in Ihrer Nähe Ortsbegehungen und bei Bedarf weitere Messungen durchführt, dann lassen Sie sich von Verbraucherzentralen, Mieterverein, Ihrem zuständigen Gesundheitsamt oder einem der Netzwerke zur Schimmelpilzberatung in Deutschland beraten.

<http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/schimmel/netzwerk-schimmelpilzberatung>

In einigen Großstädten gibt es eine spezielle behördliche Beratung („Wohnraumschutz“).

Achten Sie bei der Vergabe von Aufträgen für Schimmeluntersuchungen darauf, dass das Messinstitut dafür ausreichend qualifiziert ist (siehe Kap. 5.1.2.6).

An wen kann ich mich wenden, wenn ich befürchte, durch Schimmel in meiner Wohnung krank zu werden?

Wenn Sie krank sind oder unter gesundheitlichen Beschwerden leiden und einen möglichen Zusammenhang mit einem Schimmelwachstum in Ihrem Wohnraum vermuten, dann wenden Sie sich an Ihren Hausarzt, der Sie ggf. an einen Facharzt z.B. für Lungenheilkunde oder Allergologie überweist. Sie können auch bei Ihrem Gesundheitsamt, Ihrer Verbraucherzentrale oder Schimmelnetzwerken nach einem qualifizierten Arzt bzw. einer Ärztin mit einer umweltmedizinischen Zusatzausbildung fragen.

Falls das Ergebnis der ärztlichen Untersuchung Ihre Vermutung unterstützt, sollten Sie Ihre Wohnung auf eine mögliche Schimmelquelle untersuchen lassen (siehe oben). Klären Sie als Mieter mit Ihrem Vermieter das weitere Vorgehen ab.

5.1 Ortsbegehung und Schadenserfassung

Eine sorgfältige Ortsbegehung durch Fachleute ist die Basis zur Erfassung und Bewertung eines sichtbaren oder vermuteten Schimmelschadens. Ohne Ortsbegehung – beispielsweise nur nach vom Nutzer durchgeführten Do-it-Yourself-Messungen (Schimmel-Schnelltestkits, die man selber auslegt) – ist eine fachgerechte Beurteilung eines Schimmelbefalls grundsätzlich nicht möglich.

Das Motiv und das Ziel der Schadensaufnahme sollten vor der Begehung festgelegt werden. Begehungen aufgrund eines vermuteten Schimmelbefalls werden z.B. durchgeführt, wenn kein sichtbarer Schimmelbefall vorliegt, aber Feuchteschäden, bauliche Mängel oder Geruch auf mögliches Schimmelwachstum hindeuten oder gesundheitliche Probleme vorliegen, bei denen vermutet wird, dass sie auf Schimmelwachstum zurückzuführen sein könnten.

Bei der Ortsbegehung (siehe Kap. 5.1.1) werden die möglichen Ursachen für einen erhöhten Feuchteanfall oder ein Schimmelwachstum abgeklärt und in einem Begehungsprotokoll festgehalten.

Je nach Ergebnis der Ortsbegehung und der Art der Fragestellung können anschließend weitere bauphysikalische und mikrobiologische Untersuchungen notwendig sein (siehe Kap. 5.1.2).

Durch die bei der Begehung erhaltenen Informationen und ggf. die Ergebnisse aus den weitergehenden Untersuchungen (siehe Kap. 5.1.2) ist es in der Regel möglich festzustellen, ob eine Schimmelquelle im Innenraum vorliegt. Diese Beurteilung setzt einen hohen Sachverstand voraus, da keine allgemein anwendbaren Beurteilungskriterien vorhanden sind und damit immer eine Einzelfallprüfung notwendig ist (siehe Kap. 5.2).

Die Durchführung der Ortsbegehung, der weitergehenden Untersuchungen und die Bewertung sollten nur durch Personen, Laboratorien oder Institutionen erfolgen, die bestimmte Qualitätskriterien erfüllen (siehe Kap. 5.1.3).

5.1.1 Ortsbegehung

Durch eine Ortsbegehung wird abgeklärt, ob und in welchem Ausmaß ein Schimmelbefall vorliegen könnte und was die möglichen Ursachen sind (siehe Kap. 3). Erhoben werden dabei zum einen wichtige bauphysikalische Parameter wie Raumtemperatur, Raumlufffeuchtigkeit Materialfeuchte und Oberflächentemperatur, zum anderen Angaben über den betroffenen Raum und dessen Nutzung sowie mögliche bauwerksunabhängige Quellen für Schimmel (z.B. Biomüll). Die DIN EN ISO 16000-32 (2014) „Untersuchung von Gebäuden auf Schadstoffe“ gibt dazu wertvolle Hinweise.

Ein wichtiger Hinweis auf Schimmelbefall sind schimmeltypische und auf Feuchte hinweisende **Gerüche**. Im Rahmen der Ortsbegehung ergibt sich die Möglichkeit zur Lokalisation von Geruchsquellen. Einschlägige Richtlinien zu Gerüchen (AGÖF-Leitfaden für Gerüche, DIN ISO 16000-30, VDI 4302 Blatt 1 und 2) sind der Beurteilung zugrunde zu legen.

Bei der **Begehung** werden bauphysikalische Daten (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) und allgemeine Angaben über die betroffenen Räume erhoben und in einem **Begehungsprotokoll** festgehalten. Zielführend ist auch eine Befragung der Raumnutzer zur Wahrnehmung der Innenraumsituation.

Bei der Begehung ergibt sich die Möglichkeit zur Durchführung einfacher Messungen und einer optischen sowie sensorischen Beurteilung der Räume sowie der Materialien und Gegenstände in den Räumen.

Aus diesen Informationen ergibt sich, ob und ggf. welche weitergehenden Untersuchungen erforderlich sind.

Durch Bestimmung **bauphysikalischer Parameter** wie Temperatur und Feuchte soll bei der Begehung abgeklärt werden, ob es in bestimmten Bereichen des Gebäudes zu erhöhter Feuchtigkeit mit anschließendem Schimmelwachstum kommen kann (siehe auch Kap. 3).

Temperaturmessungen (Raumluft und Oberflächentemperatur) sind in der Regel in der kalten Jahreszeit sinnvoll und sollten an den kritischen Bereichen, dies sind die kältesten Oberflächen des Raumes, erfolgen. Da die Ergebnisse von Einzelmessungen starken Schwankungen unterliegen, sind für aussagekräftige Ergebnisse Langzeit-Temperatur/Feuchtemessungen von mehreren Wochen mittels Datenlogger sinnvoll, wodurch erhöhte Feuchtigkeit und auch das Lüftungsverhalten erfasst werden können. Dadurch kann beobachtet werden, zu welchen Zeiten oder bei welchen Aktivitäten kritische Konstellationen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auftreten.

Durch komplexere Messungen wie beispielsweise die Bestimmung des Mindestwärmeschutzes (Ermittlung des R_{si} , siehe 3.1.1) kann abgeschätzt werden, ob die Feuchtigkeit auf mangelnder Lüftung oder Heizung beruht oder baulich bedingt ist (z.B. aufsteigende Feuchte oder Wärmebrücken, siehe Kap. 3).

Bei unklaren Ergebnissen können auch weitergehende bauphysikalische Untersuchungen (z.B. raumseitige Gebäudethermographie oder Untersuchungen der Luftdichtheit) eingesetzt werden. Bei der raumseitigen Thermografie wird die Oberflächentemperatur berührungslos gemessen und Temperaturdifferenzen, die auf Wärmebrücken oder Feuchte in der Bausubstanz hindeuten können, werden erkennbar. An solchen Risikostellen für mikrobiellen Befall können während der Begehung Klebefilmpräparate genommen und kurzfristig auf aktiven Befall (Wachstum von Myzel und Sporenträgern) untersucht werden. Da die Messung durch eine Vielzahl von Faktoren (z.B. Materialeigenschaften, Bauweise, Wetterlage, Sonneneinstrahlung, Einrichtungsgegenstände) beeinflusst werden kann, gehört die Anfertigung und Bewertung der Aufnahmen in die Hand des erfahrenen Sachverständigen.

Eine **raumseitige Thermografie ermöglicht die Verdeutlichung von Wärmebrücken und feuchten Stellen** und kann dadurch auch zur Ortung von Risikobereichen für Schimmelwachstum eingesetzt werden. Durch eine Thermographie werden Differenzen in der Temperatur von Bauteiloberflächen als Farbmuster erkennbar. Kühle Stellen sind Risikobereiche für Schimmelwachstum.

Schimmel findet oft gute Wachstumsbedingungen hinter Möbelstücken an Außenwänden, da hier die Zirkulation warmer Luft unterbunden wird und durch die damit bedingten kalten Wände eine deutlich erhöhte Oberflächenfeuchte möglich ist. Daher sollte bei einer Innenraumbegehung bei Verdacht auch hinter Regalen, Schränken und Polstermöbeln auf Schimmelwachstum kontrolliert werden, vor allem, wenn die Möbel dicht an Außenwänden stehen (vgl. Ausführungen in Kap. 3.1.3 und 3.1.4). Außerdem sollten, wenn möglich -insbesondere in bewohnten

Dachgeschossen - abgetrennte Hohlräume, Abseiten und Verschläge etc. inspiziert werden.

Bei der Begehung sollte vom Sachverständigen neben den bauphysikalischen Parametern auch relevante **Angaben über den Innenraum** zielorientiert erhoben werden. Die Erfassung allgemeiner Angaben zum Innenraum und dessen Nutzung sowie möglicher bekannter Quellen für Schimmelpilze ist für eine sinnvolle Interpretation der Messergebnisse zum Vorkommen von Schimmelpilzen im Innenraum (siehe Kap. 5.2) und für eine möglicherweise notwendige Sanierung des Schimmelbefalls (siehe Kap. 6) unerlässlich.

Wichtige Angaben sind u.a.:

- Innenraum
 - Allgemeine Angaben
(Lage und Größe, Alter des Gebäudes, bauliche Besonderheiten, Nassräume, Baumaterialien, Unterkellerung, Dachgeschoss, Dämmung, Art der Fenster)
 - Ausstattung des Innenraums
(Fußböden, Wände, Möblierung, Gardinen, Topfpflanzen, Raumlufttechnische Anlagen, Luftbefeuchter)
 - Art der Raumnutzung
 - Anzahl der Bewohner
 - Heizungs- und Lüftungsverhalten
 - Wärmedämmmaßnahmen
 - Geruch: Art und Intensität

- Mögliche Schimmelquellen im Umfeld
 - emittierende Betriebe in der Umgebung wie Kompostwerke, Gärtnereien
Wertstoffsortieranlagen, landwirtschaftliche Betriebe
 - Mülltonnen, Komposthaufen

- Hinweise auf Schimmelbefall und/oder Feuchteschäden im Innenraum
 - Sichtbarer Schimmelbefall, Feuchteflecken und sonstige Feuchteschäden
 - Früheres oder aktuelles Auftreten von Feuchte- bzw. Schimmelproblemen (inklusive bisher erfolgter Maßnahmen)
 - Wasserschäden, Heizungsleckage
 - Materialien mit Feuchteschäden (z. B, Mauerwerk, Möbel, Dämmmaterialien, Bücher)
 - Baumaßnahmen mit Feuchteintrag

- Mögliche weitere Schimmel- oder Feuchtequellen im Innenraum
 - Sammeln von Biomüll oder „Grüner-Punkt -Müll“ im Innenraum
 - Topferde von Zimmerpflanzen
 - Käfigtierhaltung
 - Gewächshaus in Verbindung mit dem Innenraum
 - Luftbefeuchter, Zimmerspringbrunnen
 - Aquarium in der Wohnung
 - feuchtes Feuerholz

Um diese Angaben zu standardisieren, ist es sinnvoll, ein Begehungsprotokoll zu fertigen, in das alle Informationen eingetragen werden. Ein solches

Begehungsprotokoll dient als Checkliste für die Untersuchung vor Ort und soll eine vergleichbare und nachvollziehbare Dokumentation ermöglichen. Für die Untersuchung im Labor müssen alle Daten enthalten sein, die eine eindeutige Zuordnung und Charakterisierung der Probe erlauben (Probenahmeprotokoll). Bei der Erstellung des Begehungsprotokolls sollte berücksichtigt werden, dass dieses als Unterlage für weitere Sachverständige (Architekten, Umweltmediziner) dienen kann. Es muss daher auf Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit geachtet werden.

Aus den Ergebnissen der Ortsbegehung leitet sich das weitere Vorgehen ab. In vielen Fällen ergeben sich aus der Ortsbegehung bereits konkrete Vorschläge für Sanierungsmaßnahmen des festgestellten Schimmelbefalls, ohne dass weitere Untersuchungen notwendig sind. Insbesondere bei optisch eindeutig wahrnehmbarem Schimmelbefall und erkennbarer Schadensursache sind weitergehende Messungen entbehrlich. Es sollten vielmehr direkt Schritte zur Sanierung (siehe Kapitel 6) unternommen werden. Zum Nachweis, dass es sich um Schimmelbefall handelt, können Klebefilmpräparate sinnvoll sein.

Falls sich nicht eindeutig abklären lässt, ob ein Schimmelproblem vorliegt, oder wo der Schimmelbefall sich genau befindet, sollten weitergehende Untersuchungen erfolgen (siehe Kap. 5.1.2).

5.1.2 Weitergehende Untersuchungen

Vor der Beauftragung weitergehender Untersuchungen muss das Ziel der Untersuchung genau definiert werden. Der Sachverständige hat vor der Übernahme eines Auftrages eine dem Untersuchungsziel angepasste Untersuchungsstrategie vorzulegen, wobei auch deutlich werden sollte, welche Aussagen durch die vorgeschlagenen Methoden möglich sind.

Es gibt kein Verfahren zur Probenahme und zum Nachweis von Schimmelpilzen und Bakterien, das für alle Fragestellungen anwendbar ist. Eine Zusammenfassung der Messstrategie bei Schimmelbefall gibt die DIN EN ISO 16000-19, die auf der Basis der VDI 4300 Blatt 10 erarbeitet wurde.

Folgende Probenahme- und Nachweisverfahren für Schimmelpilze im Innenraum wurden als DIN-Normen standardisiert:

- DIN ISO 16000-16 (2008)
Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Probenahme durch Filtration
- DIN ISO 16000-17 (2008)
Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Kultivierungsverfahren
- DIN ISO 16000-18 (2012)
Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Probenahme durch Impaktion
- ISO DIS 16000-19 (2012)
Probenahmestrategie für Schimmelpilze
- DIN ISO 16000-20 (2014)
Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Bestimmung der Gesamtsporenzahl
- DIN ISO 16000-21 (2014)
Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Probenahme von Materialien

Befallene Materialien können direkt untersucht werden, um das Ausmaß des Befalls festzustellen (siehe Kap. 5.1.2.1).

Wurde bei der Ortsbegehung kein sichtbares Schimmelwachstum entdeckt und es liegen geruchliche Auffälligkeiten, Feuchteschäden oder gesundheitliche Probleme bei den Raumnutzern, die auf Schimmel hindeuten vor, kann der Einsatz eines Spürhundes zum Auffinden und zur Lokalisation verdeckter Schimmelquellen von Nutzen sein (siehe Kap. 5.1.2.2).

Messungen von Schimmelpilzen und ggf. Bakterien (Aktinomyzeten) in der Innenraumluft können Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit von Schimmelbefall ergeben und erlauben die Art- oder Gattungsbestimmung der vorkommenden Schimmelpilze (siehe Kap. 5.1.2.3). Dadurch erhält man zusätzliche Hinweise auf Feuchteschäden (Indikatorarten, siehe Kap. 1), auf die Ursachen einer möglichen Belastung und in Einzelfällen auf die gesundheitliche Gefährdung durch spezielle Schimmelpilze (z.B. *Aspergillus fumigatus*, siehe Kap. 2).

Da in der Regel nur ein Teil der tatsächlich vorhandenen Schimmelpilzsporen und Bakterien kultivierbar ist, andererseits allergische oder toxische Wirkungen auch von den nicht kultivierbaren Mikroorganismen ausgehen können (siehe Kap. 2), wurden Methoden entwickelt, um die Gesamtsporenzahl der Schimmelpilze (siehe Kap. 5.1.2.4) ohne Kultivierung nachzuweisen.

Bei Geruchsproblemen kann die Bestimmung von MVOC unter bestimmten Voraussetzungen Hinweise auf die Ursache des Geruches geben. (siehe Kap. 5.1.2.5).

Die Untersuchung von Staubproben kann Auskunft über eine mögliche andauernde Schimmelpilzbelastung im Innenraum geben, da sich im Staub Schimmelpilze über einen längeren Zeitraum anreichern können („Passivsammler“). Bis heute ist es aber aufgrund von Schwierigkeiten, ausreichende Mengen eines definierten Sedimentationsstaubes zu sammeln, der unterschiedlichen Zusammensetzung des Hausstaubs und der geringen Überlebensfähigkeit mancher Pilzsporen nicht gelungen, ein standardisiertes Verfahren zur Analytik und Beurteilung von Staubproben zu erarbeiten. Daher können Ergebnisse von Staubuntersuchungen nicht eindeutig interpretiert werden (siehe Kap. 5.1.4). Staubuntersuchungen können aber dazu genutzt werden, um bei einem Schimmelwachstum eine länger anhaltende Verunreinigung von benachbarten Räumen zu prüfen.

Messungen von Schimmelpilzen und ggf. Bakterien (insbesondere Aktinomyzeten) dienen dazu, zu erkennen, ob ein Schimmelbefall im Raum vorhanden ist und ggf. welche Ausdehnung der Befall hat.

Diese **Messungen eignen sich jedoch nicht für eine quantitative Expositions- und Risikoabschätzung** und können daher nicht für eine individuelle gesundheitliche Bewertung herangezogen werden.

Auf biochemischer oder molekularbiologischer Grundlage wurden Verfahren entwickelt zum schnellen Nachweis von Schimmelwachstum wie z.B. Mycometer-, ATP-, oder QuickTox-Test (siehe Kap. 5.1.2.7). Diese Verfahren sind aber nicht standardisiert und für den Einsatz in der Praxis noch nicht ausreichend validiert.

Weitergehende Untersuchungen sollten nur von erfahrenen Fachleuten und Institutionen durchgeführt werden, die ein internes Qualitätsmanagement durchführen und sich regelmäßig an externen Qualitätssicherungsmaßnahmen beteiligen (siehe Kap. 5.1.3).

5.1.2.1 Messung der kultivierbaren Schimmelpilze und Bakterien auf Materialoberflächen und im Material

Materialproben (wie z. B. Putz, Tapete, Holzteile, Estrich, aber auch Blumenerde und Dämmungsmaterialien) werden untersucht, um Hinweise auf die Art und Ausdehnung der Schimmelquelle zu erhalten.

Die Untersuchung von Schimmelpilzen und ggf. Bakterien auf oder in Materialien gibt Hinweise auf die Art und Ausdehnung des Schimmelbefalls.

Materialproben werden durch Mikroskopie und Kultivierung untersucht.

Untersuchungen von Material werden mit folgenden Zielen durchgeführt:

- Bestätigung, dass es sich bei Materialverfärbungen um Schimmel handelt
- Bestimmung von Art und Ausmaß der Besiedlung in der Fläche
- Bestimmung von Art und Stärke des Befalls im Material

Zur einfachen und schnellen Bestätigung, ob dunkle Flecken an der Wand oder auf anderen Materialien tatsächlich Schimmel ist, können Folienkontaktproben (Klebefilmpräparate) genommen werden. Dabei werden die auffälligen Bereiche mit Klebefolie beprobt. Der Nachweis der Mikroorganismen erfolgt anschließend mikroskopisch. Außerdem kann durch Nachweis von Myzel das Wachstum von Schimmelpilzen oder Aktinomyzeten auf dem Material bestätigt werden.

Die Untersuchung von Schimmelpilzen auf der Materialoberfläche erlaubt keine quantitative Aussage. Die Angabe eines Messwertes z. B. in „Koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Fläche“ ist nicht zu empfehlen, da die Besiedlung meist nicht einheitlich über die Fläche verteilt ist. Eine verbale Beschreibung der Ausdehnung der befallenen Fläche erscheint sinnvoller. Auch eine fotografische Dokumentation kann sehr hilfreich sein.

Abklatschproben, wie sie zur Überprüfung der Sauberkeit von Materialien z.B. in raumluftechnischen Anlagen eingesetzt werden (siehe VDI 6022), sind zur Beurteilung von Schimmelpilzwachstum auf Baustoff- und Materialoberflächen in Innenräumen nicht geeignet, da auch Verunreinigungen durch sedimentierte Schimmelpilzsporen auf dem Nährmedium starkes Wachstum hervorrufen können und daher zu falsch positiven Aussagen führen.

Zur Untersuchung der Schimmelpilze im befallenen Material wird eine Materialprobe entnommen, zerkleinert und sowohl mikroskopisch als auch mit dem Verdünnungsverfahren mittels Kultivierung untersucht. Beim Verdünnungsverfahren wird das zerkleinerte Material in einem wässrigen Medium suspendiert und ein definierter Anteil dieser Suspension wird auf Nährböden (für Schimmelpilze DG18- und Malzextraktagar) ausgebracht.

Die Kultivierung erlaubt eine Aussage zur Konzentration der Schimmelpilze pro Gramm Material. In den letzten Jahren wurde ein Verfahren zu Materialuntersuchungen erarbeitet, validiert und standardisiert (DIN ISO 16000-21). Neben der Konzentrationsbestimmung ist die Identifizierung der vorhandenen Arten oder Gattungen von Schimmelpilzen wichtig. Das Vorkommen von typischen Feuchteindikatoren (siehe Kap. 1) ist ein deutlicher Hinweis auf erhöhte Feuchtigkeit im Material.

Durch direkte Mikroskopie kann unterschieden werden, ob es sich um Wachstum von Schimmelpilzen im Material oder um eine Verunreinigung mit Sporen aus einer anderen Schimmelpilzquelle handelt. Die Beurteilung eines Materials durch direkte Mikroskopie erfordert viel Erfahrung. Da nur sehr kleine Materialflächen untersucht werden können, ist die Gefahr falsch negativer Ergebnisse gegeben. Daher ist es sinnvoll, das Material parallel mit der sensitiveren Kultivierungsmethode zu untersuchen. Wenn bei der direkten Mikroskopie bereits ein massives Wachstum von Schimmelpilzen nachgewiesen wird, kann auf eine Kultivierung verzichtet werden.

Bei der **Untersuchung von Materialien** ist zu beachten, dass stets eine gewisse Zahl von Pilzsporen in allen Materialproben vorhanden 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 eine verunreinigungsfreie Probenahme und durch Vermeidung staubiger Proben ausgeschlossen werden.

Bei der direkten mikroskopischen Untersuchung liefert der Nachweis von relevanten Mengen an Myzel im Material einen guten Hinweis, dass es sich um Schimmelpilzwachstum im Material handelt.

In den letzten Jahren wurden durch Untersuchungen von Materialien ohne bekannte Feuchteschäden Vergleichswerte über das übliche Vorkommen von Schimmelpilzen in bestimmten Baumaterialien (Hintergrundbelastung) abgeleitet. Durch Vergleich der bei einem vermuteten Schimmelschaden erhaltenen Messwerte mit solchen Vergleichswerten kann beurteilt werden, ob ein relevantes Schimmelpilzwachstum im Material stattgefunden hat (siehe Kap. 5.2.2).

Bakterien in Materialien werden nicht routinemäßig bei Schimmelschäden untersucht, da die meisten Schäden durch mikrobiellen Befall bereits durch die Messung der Schimmelpilze nachgewiesen werden können. Bei sehr nassen Materialien haben Bakterien aber oft einen Wachstumsvorteil und es treten kaum Schimmelpilze auf.

Bei vermuteten Problemen mit Schimmelbefall und keinen auffälligen Schimmelpilzkonzentrationen sollten daher auch Untersuchungen auf Bakterien (insbesondere bei sehr nassem Material) und/oder Aktinomyzeten (insbesondere bei älteren Schäden) erfolgen (zum Nachweisverfahren siehe Kap. 5.1.2.3).

5.1.2.2 Schimmelspürhunde

Schimmelspürhunde können bei Verdacht auf verdeckten Schimmelbefall in Gebäuden eingesetzt werden, um Hinweise auf das Vorhandensein und die Lokalisation von Schimmelbefall zu erhalten. In den letzten Jahren wurden Untersuchungen zur Validierung durchgeführt und Qualitätssicherungsmaßnahmen aufgebaut (siehe Kap. 5.1.3).

Schimmelspürhunde können helfen, verdeckten Schimmelbefall zu lokalisieren, da sie in der Lage sind, u.a. MVOC (mikrobiell verursachte flüchtige organische Verbindungen) bereits in geringen Konzentrationen zu riechen.

Eine Entscheidung für eine Sanierung der betroffenen Innenräume darf alleine aus der Markierung des Schimmelspürhundes nicht abgeleitet werden, sondern es müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden, wie Öffnen der vermuteten Befallsflächen an einzelnen Stellen und mikrobiologische Untersuchungen. Erst danach ist eine Entscheidung über die Sanierung zu treffen.

Zu beachten ist, dass der vom Hund im Innenraum markierte Standort nicht unbedingt der Befallsort sein muss. Dies ist z.B. der Fall, wenn die vom Hund wahrgenommenen MVOC auf Grund von Luftströmungen nicht unmittelbar an der Befallsstelle austreten. In solchen Fällen kann die Interpretation der Markierung des Schimmelpilzhundes schwierig sein. Daher ist es wichtig, dass der Spürhundführer bauphysikalische Zusammenhänge, die das Verdriften von Gerüchen beeinflussen können, kennt. Es ist nicht sinnvoll, allein auf der Basis eines von einem Schimmelspürhund erkannten und markierten Schimmelbefalls eine Sanierungsentscheidung abzuleiten.

5.1.2.3 Messung von Schimmelpilzen und Bakterien in der Innenraumluft

Die quantitative Methode zur Bestimmung der kultivierbaren luftgetragenen Schimmelpilzsporen in der Innenraumluft ist die am weitesten verbreitete Methode zur Erfassung von Schimmelbefall in Gebäuden. Sie stellt eine Momentaufnahme der Schimmelpilzkonzentration in der Raumluft dar und ermöglicht eine Aussage darüber, ob eine Schimmelquelle wahrscheinlich ist oder nicht.

Die Methode beruht darauf, dass die kultivierbaren Schimmelpilzsporen nach geeigneter Sammlung auf zwei unterschiedlichen Nährböden (DG18- und Malzagar) angezüchtet werden (DIN ISO 16000-17). Durch die Kultivierung wachsen die gesammelten Sporen auf den Nährböden zu einzelnen Kolonien und können gezählt und als Gesamtzahl der Koloniebildenden Einheiten pro Luftvolumen (Gesamt-KBE/m³) angegeben werden (siehe Kap. 1). Der Vorteil dieser Methode ist, dass damit nicht nur eine Bestimmung der Gesamtkoloniezahl, sondern auch eine Differenzierung (Unterscheidung) der einzelnen vorhandenen Schimmelpilzarten oder Schimmelpilzgattungen möglich ist. Der Nachteil der Methode ist, dass nicht alle Schimmelpilze kultivierbar sind, da Sporen durch die Probenahme unter Stress gesetzt werden und dadurch die Keimfähigkeit abnimmt und überdies einige Pilzarten, darunter auch typische Feuchteindikatoren, generell nicht gut kultivierbar sind.

Geeignete Verfahren zum Sammeln von Schimmelpilzen aus der Luft sind die Filtration (DIN ISO 16000-16) und die Impaktion (DIN ISO 16000-18). Dabei werden definierte Luftmengen mit einer Pumpe angesaugt und die in der Luft enthaltenen Schimmelpilzsporen auf einem Filter (Filtration) oder direkt auf dem Nährmedium (Impaktion) abgeschieden.

Im Versand kann man auch Schimmelschnelltestkits bekommen, die die Betroffenen selber in der Wohnung auslegen und anschließend zur Auswertung an ein Labor zurücksenden sollen. Diese Do-It-Yourself-Messungen kultivierbarer Schimmelpilze durch Sedimentation (über einen bestimmten Zeitraum offen stehende Petrischalen) liefern keine reproduzierbaren Ergebnisse und werden daher nicht empfohlen (siehe Kap. 5.1.2.6).

Um unterscheiden zu können, ob die nachgewiesenen Schimmelpilze auf eine innerhalb oder außerhalb des Innenraums liegende Quelle zurückzuführen sind, wird in der Regel zeitgleich zur Messung der Innenraumluft auch die Außenluft untersucht. Aus dem Vergleich der in der Innenraumluft und in der Außenluft erhaltenen Messwerte kann abgeleitet werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit für einen Schimmelbefall im Innenraum ist. Eine Schimmelquelle 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 in der Innenraumluft deutlich von der Zusammensetzung der Arten in der Außenluft abweicht (siehe 5.2.3 Tab. 1). Alternativ zur Außenluftprobe können auch Räume im selben Gebäude beprobt werden, die keinen Schimmelbefall aufweisen (sog. Referenzräume). Referenzräume werden vor allem bei Gebäuden gemessen, in denen die Außenluft nicht als Referenz herangezogen werden kann (z.B. Gebäude mit Lüftungstechnischen Anlagen).

Die Konzentration der Schimmelpilze in der Außenluft ist saisonalen und regionalen Schwankungen unterworfen (siehe Kap. 1.2). Außerdem können lokale Schimmelpilzquellen wie u.a. Biotonnen oder Komposthaufen zu einer erhöhten Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft beitragen. Der gleichzeitig mit der Innenraumluftmessung erhobene Außenluftmesswert erfasst nur die aktuelle Situation in der Außenluft. Darüber hinaus ist es hilfreich, eventuell vorhandene, für die Jahreszeit und die Wohngegend typische Außenlufterfahrungswerte bei der Beurteilung heranzuziehen.

Außer der Messung der Konzentration der Schimmelpilze in der Innen- und Außenluft ist die Bestimmung der bewertungsrelevanten Gattungen oder Arten der Schimmelpilze von großer Bedeutung als Hinweis für die mögliche Ursache erhöhter Schimmelpilzkonzentrationen.

Die **Messung kultivierbarer Schimmelpilze in der Innenraumluft** (Gesamt-KBE) stellt eine Momentaufnahme der Schimmelpilzkonzentration in der Innenraumluft dar.

Eine Identifizierung der Schimmelpilzarten oder -gattungen (Unterschiede zur Außenluft, Indikatorarten) kann wichtige Hinweise geben, ob ein Schimmelpilzbefall im Innenraum vorhanden ist.

Parallelmessungen sind notwendig, um die zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft zu berücksichtigen.

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der Innenraumluft- und Außenluftuntersuchungen kann meist abgeleitet werden, ob im Innenraum eine Schimmelquelle wahrscheinlich ist oder nicht (siehe Kap. 5.2).

Auch benachbarte unbelastete Räume können als Referenz herangezogen werden (insbesondere sinnvoll bei Gebäuden mit Lüftungstechnischen Anlagen).

Eine **Untersuchung auf Bakterien in der Innenraumluft** wird nicht routinemäßig durchgeführt. Im Einzelfall kann aber, z.B. bei Altschäden, die Bestimmung von Aktinomyzeten sinnvoll sein. Die Gesamtkonzentration an Bakterien in der Luft ist hinsichtlich Schimmelbefall nicht aussagekräftig.

Do-It-Yourself-Messungen durch Sedimentation (über einen bestimmten Zeitraum offen stehende Petrischalen) liefern keine reproduzierbaren Ergebnisse und werden für Innenräume nicht empfohlen.

Die Beantwortung der Frage, ob eine Schimmelquelle im Innenraum wahrscheinlich ist, ist in der Praxis 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, Staublast, relative Feuchtigkeit) ab. Daher sind einzelne Schimmelpilzmessungen mit einem großen Unsicherheitsfaktor behaftet. Es wird empfohlen, mehrere Messungen (z.B. zwei unterschiedliche Volumina in Doppelbestimmung) durchzuführen.

- biogene Schadstoffe im Gegensatz zu vielen chemischen Schadstoffen nicht stabil sind, sondern sich in Bezug auf ihre Eigenschaft, Größe und Zusammensetzung ständig verändern können. Ein zu einem bestimmten Zeitpunkt festgestellter Befall kann sich innerhalb einer Woche in Bezug auf seine dominierende Artenzusammensetzung und Ausdehnung verändern.
- 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 vorhanden sind. Die Ermittlung der Gesamtsporenkonzentration, die unabhängig vom Wachstum auf Nährmedien ist, kann diesem Problem Rechnung tragen (siehe 5.1.2.4).
- die allgemein genutzte Bezugsgröße für eine Innenraumbelastung die Außenluftbelastung ist, die ihrerseits sehr starken örtlichen, witterungsbedingten und jahreszeitlichen Einflüssen unterliegt. Bei hohen Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft (vor allem im Sommerhalbjahr, siehe Abb. 9 in Kapitel 1.2) ist es oft schwierig, ein Schimmelwachstum im Innenraum nachzuweisen. Im Winterhalbjahr, insbesondere bei Schneelage, sind die Außenkonzentrationen dagegen zeitweise extrem niedrig, ein rein zahlenmäßiger Vergleich mit diesen Außenluftwerten als Referenz kann zu Fehlinterpretationen führen.

Eine **geringe Sporenkonzentration in der Innenraumluf**t bedeutet weder, dass kein Schimmelschaden vorliegt, noch die Abwesenheit von biogenen Schadstoffen wie PAMP's, Toxinen (siehe Kap. 2) oder MVOC (siehe Kap. 5.1.2.5).

Besonders bei verdeckten Schäden sind trotz umfangreichen Befalls häufig nur unauffällige Schimmelsporenkonzentrationen in der Raumluft nachweisbar.

Bakterien werden nicht routinemäßig bei Schimmelbefall untersucht, da die Konzentration der Bakterien sehr stark schwanken und schon alleine durch den Probenehmer durch Abschilferung der auf der Haut in großer Anzahl vorhandenen Bakterien beeinflusst werden kann. Zudem kann ein mikrobieller Befall meist bereits durch den Augenschein, den Geruch oder die Messung der Schimmelpilzsporenkonzentration entdeckt werden. Bei manchen Altschäden und bei Durchfeuchtungsschäden kann es jedoch vorkommen, dass Aktinobakterien

dominieren und nur wenige Schimmelpilze nachweisbar sind. Bei vermuteten Problemen mit Schimmelbefall und keinen auffälligen Schimmelpilzkonzentrationen sollten daher auch spezielle Untersuchungen auf Aktinomyzeten (insbesondere bei Altschäden) erfolgen.

Es gibt bislang kein standardisiertes Nachweisverfahren für Bakterien oder Aktinobakterien in Materialien oder in der Innenraumlufte. Es ist auch nicht möglich, eine allgemein anwendbare Routinemethode zum Nachweis von Aktinobakterien anzugeben. Deshalb wird für orientierende Untersuchungen empfohlen, die myzelbildenden Bakterien der Ordnung *Actinomycetales* auf Mineralagar nach Gauze (siehe Anlage 5, wird ergänzt) zu isolieren, das erhaltene Ergebnis als KBE Aktinomyzeten anzugeben und bei der Interpretation darauf hinzuweisen, dass mit dieser Untersuchung nur ein Teil der Aktinomyzeten erfasst werden kann.

5.1.2.4 Messung der Gesamtsporenzahl und der Gesamtzellzahl in der Luft

Reizende, toxische und sensibilisierende Wirkungen luftgetragener Pilzsporen können sowohl von kultivierbaren als auch von nicht kultivierbaren Sporen ausgehen (siehe Kap. 1). Daher ist die Bestimmung der Gesamtsporenzahl der Schimmelpilze durch Verfahren, die nicht auf einer Kultivierung beruhen, in vielen Fällen sinnvoll. So kann z.B. *Stachybotrys chartarum*, eine Schimmelpilzart, die zur Bildung von Mykotoxinen fähig ist, oft nicht durch Kultivierung nachgewiesen werden, sondern nur über die direkte Bestimmung der Gesamtsporenzahl.

Die Bestimmung der Gesamtsporenzahl erfolgt nach DIN ISO 16000-20 durch Schlitzdüsenimpaktion auf beschichtete Objektträger. Mit einem Partikelsammler werden luftgetragene Sporen auf einem beschichteten Objektträger fixiert und nach Anfärbung mikroskopisch ausgewertet. Bakterien werden mit dieser Methode nicht erfasst.

Ein großer Vorteil dieser kultivierungsunabhängigen Methode ist die schnelle Auswertung, da die zeitaufwändige Kultivierung entfällt. Der Nachteil ist, dass nicht zwischen lebenden und abgestorbenen Mikroorganismen unterschieden werden kann und dass eine Bestimmung der Schimmelpilzgattungen und -arten nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Die Bestimmung der Gesamtsporenzahl ist besonders wichtig zur Überprüfung des Sanierungserfolges, wenn während der Sanierung Biozide eingesetzt wurden. In diesem Fall lässt sich anhand der Bestimmung der Gesamtsporenzahl überprüfen, ob die Schimmelpilze nicht nur abgetötet, sondern nach dem Biozideinsatz auch wirkungsvoll entfernt wurden.

Die Bestimmung der **Gesamtsporenzahl** erfasst sowohl die kultivierbaren als auch die nicht kultivierbaren Schimmelpilze.

Eine Differenzierung der Gattungen und Arten ist nur eingeschränkt möglich.

5.1.2.5 MVOC-Messungen

Schimmel kann 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 für die von 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, Karbonsäuren, Ketone, schwefelhaltige Verbindungen, Terpene, Terpenalkohole und Sesquiterpene. Bisher wurden etwa 30 solcher Verbindungen identifiziert, die von Schimmelpilzen gebildet werden können. Einige MVOC sind bereits in sehr niedrigen Konzentrationen (im Nanogramm pro Kubikmeter-Bereich) geruchlich wahrnehmbar. Die Anwesenheit von MVOC kann ein guter Indikator für Schimmelbefall sein. Abgesehen von ihrer Geruchswirkung wird den MVOC angesichts ihrer sehr niedrigen Konzentrationen in der Innenraumluft bei einem Schimmelbefall keine direkte gesundheitliche Wirkung zugeschrieben (siehe Kap. 2).

Bestimmte Chemikalien (z.B. Chloranisole) weisen einen schimmelähnlichen Geruch auf. Bei Geruchsproblemen können daher im Einzelfall durch die Bestimmung der (M)VOC Hinweise zur Art der Geruchsquelle (rein chemisch oder mikrobiell bedingt) erhalten werden.

Als deutliche Indikatoren für einen mikrobiellen Schaden werden 3-Methylfuran, Dimethyldisulfid, 1-Octen-3-ol, 3-Octanon und 3-Methyl-1-butanol angesehen. Weniger spezifische Indikatoren sind Hexanon, Heptanon, 1-Butanol und Isobutanol. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist immer zu beachten, dass diese Substanzen teilweise auch durch Bauprodukte oder Farben sowie bei bestimmten Aktivitäten (z.B. Rauchen, Backen) im Raum freigesetzt werden können.

Schimmel kann beim Wachstum eine ganze Reihe von flüchtigen organischen Verbindungen (**MVOC**) bilden.

Bei Geruchsproblemen kann der Nachweis charakteristischer (M)VOC in der Innenraumluft Hinweise auf die Art der Geruchsquelle geben.

Eine Abschätzung der Exposition gegenüber Schimmel oder eine Beurteilung einer gesundheitlichen Gefährdung kann aus dem Nachweis von MVOC nicht abgeleitet werden.

Die Messung von MVOC kann mit zwei Methoden erfolgen: durch Probenahme an Aktivkohle und anschließender Elution sowie durch Probenahme an Tenax und anschließender Thermodesorption. Die Ergebnisse aus beiden Methoden sind quantitativ nicht in allen Fällen miteinander vergleichbar. Die Erarbeitung eines einheitlichen Standardverfahrens ist bisher nicht gelungen. Daher sind die Ergebnisse von Labor zu Labor nicht vergleichbar und eine einheitliche Bewertung ist nicht möglich.

5.1.2.6 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. Zahlreiche Anbieter vertreiben derartige Schnelltest- oder Do-It-Yourself-Kits und geben auf Grund der Ergebnisse sogar Empfehlungen ab.

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 Schimmelpilzsporengröße 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 Durchmesser), die sehr lange in der Luft schweben und sich nur wenig absetzen, so dass sie mit dem Sedimentationsverfahren nicht gut erfasst werden. Auf Grund der oft hohen Luftturbulenzen in der Außenluft ist ein Vergleich von Innen- mit Außenluftproben nicht möglich. Bei Do-It-Yourself-Tests, bei denen meist nur eine Platte pro Raum ausgelegt werden soll, kommen extrem hohe Messunsicherheiten und die möglichen Fehler im Handling und Probenversand dazu.

Mit dem Sedimentationsverfahren können daher keine reproduzierbaren quantitativen Ergebnisse erhalten werden.

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

5.1.2.7 Schnellverfahren zum Nachweis von Schimmelwachstum

Biochemische (z. B. Mycometer-System, ATP-Test, Quick-Tox) und molekularbiologische (Q-PCR) Schnelltests zum Nachweis von Schimmelwachstum generell oder von bestimmten Schimmelpilzen sind noch nicht ausreichend validiert und nicht standardisiert.

Einige dieser Tests funktionieren z. B. bei älterem Schimmelbefall, nach einer Desinfektion oder thermischen Behandlung sowie bei niedrigen pH-Werten gar nicht oder nur eingeschränkt. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

5.1.3 Qualitätssicherung

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

Auftraggeber sollten sich vergewissern, dass die gewählten Untersuchungsstellen entsprechende interne und externe Qualitätssicherungsmaßnahmen durchführen und eine ausführliche sachliche Befundmitteilung abgeben.

Die sachgerechte Ermittlung einer Schimmelpilzbelastung und ihrer Ursachen ist eine komplexe Aufgabe. Es ist daher sinnvoll, dass die entsprechenden Untersuchungen sowie die Beurteilung der Ergebnisse unter Beteiligung von Personen mehrerer Fachdisziplinen arbeitsteilig durchgeführt werden. Hierzu gehören u.a. Bausachverständige (für Probenahme, Messung der bauphysikalischen Gegebenheiten, Probenahmeprotokoll, Ermittlung der baulich bedingten Ursachen), Mykologen (für Probenahme, Nachweis der Schimmelpilze), sowie Hygieniker, Umweltmediziner, Infektiologen, Allergologen, Pulmologen (für gesundheitliche Fragen). Die Vertreter der unterschiedlichen Fachdisziplinen sollten kooperativ entsprechend der konkreten Fragestellung nach einer abgestimmten Strategie unter Beachtung der allgemein üblichen Anforderungen bezüglich der Qualitätssicherung zusammenarbeiten.

Schimmelpilzuntersuchungen in Gebäuden sind daher 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.

Vor der Auftragsvergabe an ein Messinstitut zur Durchführung weitergehender Untersuchungen (siehe Kap. 5.1.2) sollte sich der Kunde bestätigen lassen, dass bei der Institution oder in dem Laboratorium die notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen etabliert und die nötige Erfahrung vorhanden ist.

5.1.3.1 Qualitätsanforderungen an Sachverständige, die Ortsbegehungen und Probenahmen durchführen

Sachverständige für die Probenahme und die Bewertung von Schadstoffen in Innenräumen besitzen i.d.R. ein abgeschlossenes Hoch- bzw. Fachhochschulstudium (Mikrobiologie, Chemie oder Ingenieurwissenschaft) bzw. eine Meister- oder Technikerausbildung für ein entsprechendes Arbeitsgebiet. Zusätzlich ist eine spezielle Ausbildung im Bereich "Schimmel" erforderlich.

INFOBOX

Welche Anforderungen müssen qualifizierte Sachverständige bei Schimmelbefall erfüllen?

Sachverständige bei Schimmelbefall

- besitzen eine Zusatzqualifikation in den Bereichen Analytik, Baubiologie, Bauphysik, Bauwesen, Innenraumhygiene und/oder Probenahme und deren Bewertung
- haben mehrjährige praktische Erfahrungen und theoretische Kenntnisse in ihrem entsprechenden Arbeitsgebiet
- nehmen regelmäßig an Weiterbildungsveranstaltungen auf ihrem Arbeitsgebiet teil
- teilen ihren Kunden das Arbeitsgebiet mit, auf dem sie aufgrund ihrer Aus- und Weiterbildung sowie ihrer praktischen Erfahrungen tätig sind und übernehmen nur Aufträge, wo sie selbst über die erforderliche Kompetenz verfügen
- orientieren sich bei ihrer Arbeit an der VDI-Richtlinienreihe 4300 bzw. der DIN ISO Reihe 16000. Wenden sie Methoden an, die hier nicht beschrieben sind, legen sie diese offen und machen Angaben zur Validierung, Messunsicherheit und Bewertung der Ergebnisse
- wenden keine Methoden an, die nicht ausreichend sichere Aussagen ermöglichen oder von denen aus fachlichen Gründen abgeraten wird
- verfügen über ein Qualitätssicherungssystem, das ein akkreditierungskonformes Arbeiten sicherstellt
- nehmen an entsprechenden Ringversuchen teil
- orientieren sich bezüglich der Bewertung ihrer Ergebnisse an den aktuellen Beurteilungskriterien der Innenraumlufthygiene Kommission des Umweltbundesamtes, wie z. B. der Bewertungshilfe für Luftproben - kultivierbare Schimmelpilze und Bewertungshilfe für Luftproben - Gesamtsporenzahl
- beraten Kunden über die anzuwendende Probenahmestrategie in dem konkret vorliegenden Fall und machen Angaben zu den zu erwartenden Kosten
- geben, sollten sie die Auswertung nicht selbst durchführen, ihre Proben zur Untersuchung nur an ein qualifiziertes Schimmelpilzlabor und fügen ihrem Gutachten den Originalprüfbericht des Labors bei
- nehmen keine medizinischen Bewertungen der Ergebnisse vor.

5.1.3.2 Qualitätsanforderungen an Schimmelspürhunde

Für eine erfolgreiche Arbeit ist es unerlässlich, dass ein gut ausgebildeter Hundeführer den Hund führt und damit in der Lage ist, das Verhalten des Tieres richtig zu interpretieren.

Hund und Hundeführer sollten, insbesondere wenn der Hundeführer nicht über ausreichende Vorkenntnisse zur Ausbildung von Schimmelspürhunden verfügt, in speziellen Schulen zum Aufspüren von Schimmel(pilzen) ausgebildet sein.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn der Hundeführer die Ausbildung gemeinsam mit dem Hund (Hundeteam) absolviert. Die Ausbildung des Hundeteams ist ein andauernder Prozess, deren Qualität regelmäßig überprüft werden muss. Der Hund wird darauf

trainiert, geruchsauffällige Bereiche zu „markieren“ (z.B. durch Kratzen mit der Pfote) und so dem anwesenden Hundeführer zu signalisieren, dass ein Schimmelbefall vorhanden ist.

Die Beurteilung, ob es sich um ein gut ausgebildetes Hund/Hundeführer-Team handelt, ist für einen Auftraggeber einer Untersuchung sehr schwierig. Ein wichtiger Hinweis sind Zeugnisse von erfolgreich absolvierten Weiterbildungen und Prüfungen des jeweiligen Hund/Hundeführer-Teams. Die Prüfungen müssen von unabhängigen Einrichtungen anhand einer standardisierten Prüfungsordnung durchgeführt werden.

In Richtlinien einschlägiger Verbände werden Vorgaben zur Wesensprüfung und zur Prüfung zum Auffinden von Schimmelproben gemacht.

5.1.3.3 Qualitätsanforderungen an Untersuchungslaboratorien

Für die meisten Untersuchungen auf Schimmelpilze in Innenräumen gibt es standardisierte Verfahren (siehe Kap. 5.1.2). Bevorzugt sollten Untersuchungsinstitute beauftragt werden, die für diese Verfahren gemäß DIN EN ISO 17025 akkreditiert sind (siehe DAkkS Datenbank für akkreditierte Untersuchungsstellen). Bei Verfahren, die z.B. wegen fehlender Ringversuche nicht akkreditiert werden können, sollte akkreditierungskonform gearbeitet werden.

Für die externe Qualitätssicherung muss das mykologische Labor nachweisen können, dass es regelmäßig und erfolgreich an Ringversuchen zum Nachweis von Schimmelpilzen teilnimmt. Beispielsweise werden vom Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg regelmäßig Ringversuche zur Identifizierung von Schimmelpilzen angeboten. Außerdem werden durch einzelne Verbände regelmäßig Ringversuche zur Luftprobenahme und einzelne Ringversuche zur Gesamtsporenzahlbestimmung angeboten. Ringversuche zur Untersuchung von Materialproben, MVOC oder Bakterien werden bisher nicht angeboten.

Für die Ermittlung einer Bakterienbelastung in Gebäuden gibt es wie zuvor beschrieben keine verbindlich vorgeschriebene Vorgehensweise, auch existieren bisher keine standardisierten Nachweisverfahren. Dadurch sind die Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungseinrichtungen oft nicht miteinander vergleichbar. Daher kommt den Angaben in den entsprechenden Gutachten bezüglich der angewandten Nachweisverfahren, der verwendeten Beurteilungskriterien und der Interpretation und Bewertung der Ergebnisse eine besondere Bedeutung zu.

5.2 Bewertung der Ergebnisse

Die gesundheitliche Bewertung von Verunreinigungen der Innenraumluft erfolgt in der Toxikologie und Umweltmedizin üblicherweise mithilfe von gesundheitlich begründeten Grenz-, Richt- oder Leitwerten. Diese Vorgehensweise ist für Schimmel im Innenraum so nicht anwendbar, da es für Schimmelpilzkonzentrationen in der Innenraumluft, im Hausstaub oder in Materialien keine gesundheitlich begründeten Grenz- oder Richtwerte gibt (siehe Infobox).

Dies liegt im Wesentlichen daran, dass bislang keine belastbare Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen dem Vorkommen von Schimmelpilzen in der Innenraumluft bzw. im Innenraum und gesundheitlichen Wirkungen ermittelt werden

konnte. Eine quantitative Abschätzung einer längerfristigen Exposition gegenüber Schimmel mithilfe von Messungen der Konzentration von Schimmelpilzen in der Innenraumluft ist dadurch erschwert, dass

- Schimmelpilzmessungen zumeist nur einmalig und zudem nur für relativ kurze Zeiträume (Minuten bis Stunden) durchgeführt werden,
- die Konzentrationen an Schimmelpilzen in der Innenraumluft zeitlich und räumlich erheblich schwanken,
- die Sporenbildung der Schimmelpilzarten extrem unterschiedlich ausgeprägt ist – es ist möglich, dass bei großflächigem Schimmelbefall unauffällige Sporenkonzentrationen in der Raumluft auftreten,
- verdeckter Befall mit erhöhten Sporenkonzentrationen in der Raumluft nicht korreliert,
- einige Arten vorwiegend in der Außenluft vorkommen,
- häufig nur die kultivierbaren Schimmelpilze in der Innenraumluft bestimmt werden,
- Bestandteile und Stoffwechselprodukte (Mykotoxine, MVOC, Zellbestandteile wie β -Glucane, Ergosterol) in der Regel nicht bestimmt werden und
- die gesundheitliche Bedeutung anderer Einflussgrößen (Bakterien, Endotoxine, Allergene, Hausstaubmilben usw.) in der Innenraumluft bei einem Schimmelbefall und deren synergistische Wirkungen derzeit nicht bekannt ist.

Die in Kapitel 5.1 beschriebenen Vorgehensweisen und Untersuchungen und die in Kapitel 5.2 beschriebenen Bewertungen haben vielmehr zum Ziel, herauszufinden, ob es eine Schimmelpilzquelle im Innenraum gibt und wo diese zu lokalisieren ist. Zur Beurteilung, ob im Innenraum eine Schimmelquelle vorliegt, sind die Angaben des Begehungsprotokolls ggf. zusammen mit den Ergebnissen weitergehenden Untersuchungen im Gesamtzusammenhang auszuwerten.

Die Feststellung einer Schimmelquelle im Innenraum darf nicht mit einer akuten Gesundheitsgefährdung der Raumnutzer gleichgesetzt werden. Das Ausmaß eines Gesundheitsrisikos durch Schimmel in Innenräumen ist abhängig von der Empfindlichkeit und Exposition der Raumnutzer und der Art des Schadens und kann im Einzelfall aufgrund fehlender wissenschaftlicher Daten u.a. zu Expositions-Wirkungsbeziehungen meist nicht genau quantifiziert werden

Da aus epidemiologischen Studien jedoch hervorgeht, dass mit Feuchteschäden und Schimmelwachstum im Innenraum gesundheitliche Beeinträchtigungen einhergehen können (siehe Kap. 2), sollte Schimmelwachstum im Innenraum als hygienisches Problem angesehen und nicht hingenommen, sondern fachgerecht beseitigt werden.

Es gilt das Vorsorgeprinzip, nach dem potenziell gesundheitsschädliche Expositionen zu minimieren sind bevor es zu Erkrankungen kommt.

Ergibt die Beurteilung, dass eine Schimmelquelle im Innenraum vorliegt, sollten daher die Lokalisation des Befalls und eine Sanierung erfolgen (siehe Kap. 6). Schimmelquellen im Innenraum sind aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes zu beseitigen.

Die nachfolgend aufgestellten Beurteilungsschemata stellen eine Hilfe dar, um das Vorhandensein einer Schimmelquelle zu erkennen und die Schwere der Belastung aus hygienischer Sicht zu beurteilen. Sie dienen nicht dazu, eine quantitative Einschätzung eines Erkrankungsrisikos abzuleiten.

Für eine gesundheitliche Bewertung eines vermuteten Zusammenhangs zwischen einer Erkrankung und einem dokumentierten Schimmelbefall in einem Innenraum muss ein Arzt hinzugezogen werden. Abhängig von der Art der gesundheitlichen Probleme sollte eine infektiologische, allergologische, pulmologische und/oder umweltmedizinische Betreuung erfolgen. Die Kenntnisse über die gesundheitliche Gesamtwirkung bei einem Schimmelbefall in Innenräumen sind allerdings zurzeit noch so lückenhaft, so dass wissenschaftlich abgesicherte Aussagen hierzu nur sehr eingeschränkt möglich sind (siehe Kap. 2). Zur Abklärung auftretender gesundheitlicher Beschwerden, für die ein Zusammenhang mit einer Schimmelbelastung vermutet wird, ist vom behandelnden Arzt eine gezielte Anamnese durchzuführen. Die Beschreibung der für eine medizinische Bewertung notwendigen Vorgehensweise ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Hinweise finden sich an anderer Stelle (siehe Kap. 5).

5.2.1 Bewertung bei sichtbarem Schimmelwachstum

In der Regel sind Schimmelbelastungen im Innenraum auf befallene oder verunreinigte Materialien zurückzuführen.

Die Bewertung, ob ein Schimmelbefall in Innenräumen als gering und damit hinnehmbar oder als eine vermeidbare negative Beeinträchtigung eingestuft wird, erfolgt über den Schadensumfang. Es wird davon ausgegangen, dass ein kleinerer Befall weniger biogene Schadstoffe produziert als ein in der Fläche und Tiefe größerer Schaden.

Als Bewertungshilfe bei einem sichtbaren Schimmelbefall, ob es sich bei einem festgestellten Schimmelbefall um einen unvermeidbaren Normalzustand oder um ein vermeidbares Problem handelt, erfolgt eine Einstufung der Schadensgröße in folgende drei Kategorien (siehe Tab. 13):

Kategorie 1: Normalzustand bzw. geringfügiger Schimmelbefall.

Sofortmaßnahmen sind in der Regel nicht erforderlich. Die Ursache sollte erkannt und Abhilfemaßnahmen eingeleitet werden. Typische Beispiele sind mit Schimmel bewachsene Dichtungen in Bädern und an Fensterfugen oder Schimmelwachstum auf Blumenerde.

Kategorie 2: Geringer bis mittlerer Schimmelbefall.

Die Freisetzung von Schimmelbestandteilen sollte zeitnah unterbunden, die Ursache des Befalls mittelfristig ermittelt und abgestellt und der Schimmelbefall beseitigt werden.

Kategorie 3: Großer Schimmelbefall.

Die Freisetzung von Schimmelbestandteilen sollte unmittelbar unterbunden und die Ursache des Befalls kurzfristig ermittelt und beseitigt werden.

Die Betroffenen sind auf geeignete Art und Weise über den Sachstand zu informieren. Auf die Möglichkeit einer arbeitsmedizinischen Betreuung ist gegebenenfalls hinzuweisen. Die Sanierung soll durch eine Fachfirma erfolgen (siehe Kap. 6).

Tabelle 13: Bewertung von Materialien mit sichtbarem Schimmelbefall

Schadensausmaß	Kategorie 1* Normalzustand bzw. geringfügiger Schimmelbefall	Kategorie 2* Geringer bis mittlerer Schimmelbefall	Kategorie 3* Großer Schimmelbefall
Biomasse	keine bzw. sehr geringe Biomasse	mittlere Biomasse	große Biomasse
Ausdehnung in der Fläche und in der Tiefe	geringe Oberflächenschäden < 20 cm ²	oberflächliche Ausdehnung < 0,5 m ² , tiefere Schichten sind nur lokal begrenzt betroffen	große flächige Ausdehnung > 0,5 m ² , auch tiefere Schichten können betroffen sein

Die Flächenangaben in der Tabelle sollen nicht als Absolutwerte herangezogen werden, sondern dienen der Orientierung. 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 ist zu berücksichtigen. Die Kategorien gelten für rasenartiges Wachstum. Bei punktförmigem Wachstum wird nur die tatsächlich bewachsene Fläche berücksichtigt.
- Die angegebenen flächenbezogenen Kategorien müssen nicht zwingend als eine zusammenhängende Fläche vorliegen, sondern sind im Allgemeinen pro Raumbereich zu verstehen. Ein Bereich kann ein Büroraum, ein Wohnraum oder ein zusammenhängender Wohnraum wie Wohn- und Esszimmer sein. Beispielsweise können alle Teilflächen eines Kondensationsschadens innerhalb eines Raumbereiches zusammengezählt werden. In der Praxis können dies z. B mehrere Raumecken sein.

- Die Abschätzung der mit Schimmel bewachsenen Fläche erfolgt in der Praxis mittels visueller Begutachtung inkl. einem Sicherheitszuschlag für Schimmelbefall, welcher mit bloßem Auge nicht noch nicht erkennbar ist. Im Zweifel erfolgt die Abgrenzung zum nicht befallenen Bereich über mikrobiologische Untersuchungsmethoden. Der gewählte Sicherheitszuschlag für nicht sichtbaren Schimmelbefall muss vom Sachverständigen fallbezogen gewählt werden, da das Schimmelwachstum je nach Umgebungsbedingungen unterschiedlich schnell erfolgt. So ist beispielsweise das nicht sichtbare Wachstum auf einer OSB-Platte wegen der vielen Hohlräume wesentlich größer anzusetzen als bei Vollholz. Die Tiefe des Schadens und damit die vorhandene Biomasse muss berücksichtigt werden.
- Es sollte zwischen einem aktiven Befall und einem getrockneten Altschaden unterschieden werden. Bei einem aktiven Befall muss berücksichtigt werden, dass aus einem solchen Schaden kontinuierlich, über längere Zeit hohe Mengen lebensfähiger Sporen und Stoffwechselprodukte abgegeben werden können. Bei einem getrockneten Altschaden nehmen dagegen in der Regel die Sporenkonzentration und Stoffwechselproduktion mit der Zeit ab. Ein aktiver Schimmelbefall stellt außerdem häufig die Nährstoffgrundlage für andere gesundheitlich relevante Organismen wie z. B. Milben dar.

Bei der Beurteilung von sichtbarem Schimmelwachstum sollen neben der Fläche des Schadens auch die Tiefe und Art des Befalls berücksichtigt werden.

Für die Gesamtbewertung des Schadensumfanges ist neben dem sichtbaren auch der Befall in tieferen Schichten und verdeckter Befall zu berücksichtigen. Für verdeckten Befall muss je nach Biomasse und Expositionswahrscheinlichkeit eine Einzelfallbewertung vorgenommen werden.

5.2.2 Bewertung von Materialproben

Durch Vergleich der bei einem vermuteten Schimmelschaden erhaltenen Konzentrationen an Schimmelpilzen und/oder Bakterien in Materialproben mit Konzentrationen in unbelasteten Materialien kann festgestellt werden, ob ein relevantes Wachstum im Material stattgefunden hat und das Material daher entfernt werden muss. Bei Fußbodenaufbauten ist eine Bewertung der Befallstärke besonders wichtig, da die Entscheidung, aufgrund eines massiven Schimmelbefalls den Fußbodenaufbau auszutauschen, mit hohem Aufwand verbunden ist.

Da das Nachweisverfahren für Schimmelpilze erst im Jahr 2014 standardisiert wurde, liegen allerdings erst wenige standardisiert erhobene Vergleichskonzentrationen vor. In einem durch das Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhaben wurden Hintergrundkonzentrationen für unterschiedliche Materialien erhoben (siehe Infobox). Danach muss bei den meisten Materialien aus dem Neubau und Altbau ab einer Konzentration von 10^5 KBE/g Material von einem Wachstum im Material ausgegangen werden. Bei fabrikneuen und auf der Baustelle trocken (!) gelagerten

Materialien deuten bereits Konzentrationen von 10^3 KBE/g bis 10^4 KBE/g auf ein aktives Wachstum hin. Da insgesamt nur 391 Materialproben und damit nur ca. 20 bis 30 Proben pro Kategorie (Material eines best. Alters) untersucht wurden, sind die Ergebnisse als erste Orientierungswerte zu verstehen, die durch weitere Untersuchungen untermauert werden müssen.

Die erhaltenen Größenordnungen decken sich aber im Prinzip mit bereits veröffentlichten Beurteilungswerten aus der Erfahrung einzelner Laboratorien (Trautmann, 2005; Richardson und Grün, 2005)

Von der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes (UBA) wurde eine **Handlungsempfehlung** erarbeitet, wie **Fußböden mit Feuchteschäden** beurteilt werden können. Dabei wurden Erfahrungen aus der Praxis berücksichtigt, die es ermöglichen, in vielen Fällen eine schnelle Beurteilung ohne aufwändige Untersuchungen herbeizuführen. Diese Empfehlung richtet sich an Sachverständige für Schimmelpilze, Bausachverständige, Versicherungssachverständige und andere Fachleute, die in ihrer täglichen Praxis vor der Entscheidung stehen, ob ein Fußboden aufgrund eines Feuchteschadens aus hygienischer Sicht ausgebaut werden muss oder ob einfache Maßnahmen wie bspw. Randfugenabdichtungen sinnvoll sind.

Die Handlungsempfehlung zur Beurteilung von Feuchteschäden in Fußböden sollte ergänzend zu diesem Leitfaden immer herangezogen werden, wenn es sich um Schimmelbefall in Fußböden und Hohlräumen handelt. Die Empfehlung ist abrufbar unter (Link-Hinweis geben).

Für die Bestimmung der Konzentration an Bakterien (Gesamt-KBE) in Materialien gibt es keine einheitlichen Vergleichswerte. Erfahrungsgemäß liegen die Konzentrationen an Bakterien jedoch um ca. eine Zehnerpotenz über den Konzentrationen an Schimmelpilzen. Dies zeigte sich auch in dem durch das Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhaben, bei dem Hintergrundkonzentrationen für unterschiedliche Materialien erhoben wurden (siehe Infobox).

Aktinomyzeten wurden nur in wenigen Materialproben in höheren Konzentrationen nachgewiesen (siehe Infobox).

INFOBOX

Hintergrundkonzentrationen in Baumaterialien

In diesem Projekt im Umweltforschungsplan des Bundes (Förderkennzeichen 3710 62 223, abgeschlossen 2015) wurde zum ersten Mal systematisch untersucht, welche Konzentrationen von Mikroorganismen (Schimmelpilze, Gesamtbakterien, Aktinomyzeten) in Baumaterialien verschiedenen Alters „natürlicherweise“ zu erwarten sind (Hintergrundkonzentrationen). Dazu wurden vier Arten von Materialien - Polystyrol (Styropor, Styrodur), Künstliche Mineralfaser (KMF), Kalk- und Gipsputze, OSB- und Spanplatten - in vier verschiedenen „Altersstadien“ untersucht: fabrikneues Material, auf der Baustelle gelagertes Material, Material aus dem Neubau, Material aus dem Altbau. Da in jeder Material- und Alterskategorie eine begrenzte Anzahl von jeweils ca. 20-30 Proben untersucht wurde, können die nachgewiesenen Konzentrationen nur als erste Orientierung für die Ableitung von Hintergrundkonzentrationen dienen.

Es zeigte sich, dass die Konzentration der Schimmelpilze mit zunehmenden „Alter“ der Materialien zunahm. In fabrikneuen Materialien lag die Konzentration der Schimmelpilze im Bereich bzw. unterhalb der Nachweisgrenze (max. 3×10^2 KBE/g). In Proben aus dem Neubau (mit Ausnahme von Putzproben) und Altbau waren Konzentrationen von 10^3 KBE/g bis 10^4 KBE/g nachweisbar; im Altbau in einzelnen Fällen auch von 10^5 KBE/g. Eine systematische mikroskopische Untersuchung der Proben fand in dem Projekt nicht statt, so dass bei hohen Konzentrationen im Material nicht zwischen Verunreinigung und Wachstum aufgrund eines unbekanntes Feuchteschadens unterschieden werden kann.

Für die Schimmelpilzkonzentrationen ergaben sich je nach Material und Alterskategorie 95. Perzentile, die von unterhalb der Nachweisgrenze bis zu $3,2 \times 10^5$ KBE/g reichten (siehe Tabelle). Wenn die Konzentrationen in einem Material über den 95. Perzentilen liegen, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es sich um ein Wachstum von Schimmelpilzen handelt. Bei den meisten Materialien deuten daher Konzentrationen im Bereich von 10^5 KBE/g Material im Neu- und Altbau auf aktive Vermehrung von Schimmelpilzen hin. Ausnahme ist Putz im Neubau, bei dem die Schimmelpilzkonzentrationen unter der Nachweisgrenze lagen sowie Polystyrol im Altbau, wo das 95. Perzentil der Hintergrundbelastung 10^5 KBE/g erreicht. Für Polystyrol im Fußboden lagen die 95. Perzentile im Neubau bei ca. 4×10^4 KBE/g Material (Daten nicht gezeigt). Da keine Proben aus Fußböden in Altbauten untersucht wurden, kann zu Polystyrol aus Fußböden im Altbau allerdings keine Aussage gemacht werden.

Tabelle: Hintergrundkonzentrationen (95. Perzentile) der Schimmelpilzkonzentrationen aus dem UFOPLAN-Projekt in Materialien unterschiedlichen Alters

Alterstadium	Polystyrol	KMF	Putze	OSB-/Spanplatten
Fabrikneu	$2,3 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	$3,4 \times 10^2$	$2,2 \times 10^3$
Baustelle	$6,0 \times 10^2$	$4,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^2$
Neubau	$4,1 \times 10^4$	$5,0 \times 10^3$	< NG	$2,3 \times 10^4$
Altbau	$3,2 \times 10^5$	$4,1 \times 10^4$	$8,3 \times 10^4$	$6,2 \times 10^4$

NG = Nachweisgrenze (entspricht 50 KBE/g)

Für die Konzentration der Gesamtbakterien konnte keine Zunahme mit dem „Alter“ des Materials festgestellt werden. Vielmehr wiesen fast alle Proben eine Bakterienkonzentration zwischen 10^2 KBE/g und 10^5 KBE/g; in einzelnen Proben bis 10^6 KBE/g auf.

Aktinomyzeten wurden in allen Altersstufen nur in wenigen Proben und meist in geringen Konzentrationen nachgewiesen (Median meist < NG, max. 10^2 KBE/g). Erhöhte Konzentrationen in einzelnen Proben traten insbesondere im Polystyrol aus dem Neubau und bei OSB- und Spanplatten im Altbau auf.

5.2.3 Bewertung von Luftproben

Die Entscheidung über die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins einer Schimmelquelle im Innenraum anhand von Luftproben setzt einen hohen Sachverstand voraus. Eine isolierte Betrachtung nur der Ergebnisse von Innenraumluftmessungen kann zu einer fehlerhaften Beurteilung des Falls führen. Es ist jeweils der konkrete Einzelfall unter Hinzuziehung aller bei der Begehung, beim Einsatz eines Schimmelspürhundes und/oder bei weiteren Untersuchungen erhaltenen Informationen zu beurteilen. Es muss damit gerechnet werden, dass die Ergebnisse von Luftkeimsammlungen keine Hinweise auf Innenraumquellen enthalten, obwohl ausgedehnte Schimmelschäden vorliegen. In besonderem Ausmaß gilt dies für verdeckten Befall.

Insbesondere muss bei der Beurteilung von Luftproben der jahreszeitliche und ggf. örtliche Einfluss der Außenluft auf die Artenzusammensetzung, auf die Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze oder die Gesamtsporenzahl beachtet werden. Tabellen mit Referenzwerten für Konzentrationen von kultivierbaren Schimmelpilzen sowie für die Gesamtsporenzahl in der Innenraumluft im Sommer und im Winter in Deutschland finden sich in Anlage 4.

Bei der Bewertung der Ergebnisse muss außerdem immer berücksichtigt werden, dass es sich um Kurzzeitmessungen handelt. Schimmelpilzkonzentrationen können in der Innenraumluft zeitlich und räumlich hohe Schwankungen aufweisen, da Pilzsporen nicht gleichmäßig im Raum verteilt vorliegen und sich ihre Konzentration von Tag zu Tag verändern kann.

Die Erfassung der Gattungs- oder Artenzusammensetzung einer Luftprobe ist notwendig, um Unterschiede im Spektrum zur Außenluft sowie das Auftreten von Pilzgattungen oder Pilzarten, die auf Feuchteschäden oder Bauschäden hindeuten (Feuchteindikatoren, siehe Kap. 1) zu erkennen. Bei bestimmten Fragestellungen kann es in Einzelfällen auch sinnvoll sein, Schimmelpilze, denen eine besondere gesundheitliche Bedeutung zugeordnet wird (z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Stachybotrys chartarum*), nachzuweisen (siehe Kap. 5.2).

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

Die Erfahrung zeigt, dass Schimmelpilzarten 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 Schimmelpilzen 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 *Stachybotrys* spp.

Die **Beurteilung der Konzentration und Zusammensetzung von Schimmelpilzsporen in der Innenraumluft** dient vor allem dem **Auffinden von nicht sichtbaren (verdeckten) Schimmelquellen**.

Eine quantitative Expositions- und Risikoabschätzung ist nicht möglich und die Ableitung von gesundheitlich begründeten Richt- oder Grenzwerten ist auch in naher Zukunft nicht zu erwarten.

Bei gesundheitlichen Fragestellungen kann es in Einzelfällen sinnvoll sein, spezielle Methoden zum Nachweis bestimmter Schimmelpilzarten anzuwenden (bspw. durch Anzucht bei 36° C für fakultativ infektiöse Arten).

Die nachfolgend dargestellten Bewertungshilfen werden mit dem Ziel angewendet, die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens eines versteckten oder nicht sichtbaren Schimmelbefalls zu ermitteln.

Als Bewertungs- und Orientierungshilfe bei Schimmelpilzbestimmungen in der Innenraumluft können die unten angegebenen drei Bereiche dienen (siehe Tab. 14 und 15).

- der Bereich der Hintergrundbelastung für wichtige Schimmelpilzgattungen oder Schimmelpilzarten,
- ein Übergangsbereich, innerhalb dessen erhöhte Konzentrationen bestimmter Schimmelpilzgattungen oder Schimmelpilzarten vorliegen, die möglicherweise auf Innenraumquellen hinweisen,
- ein Bereich mit Konzentrationen, die diesen Übergangsbereich überschreiten und mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Innenraumquelle hinweisen.

Wichtig ist, dass nicht alle Situationen mit dem vorgeschlagenen Schema bewertet werden können. Eine schematische Herangehensweise ausschließlich nach den Tabellen 14 und 15 ist problematisch. So kann z.B. die Bewertung einer Luftprobe im Spätherbst schwierig sein, wenn sich der Sporengehalt der Außenluft in kurzer Zeit stark verringert (Oktober-November mit kalter und feuchter Witterung). In diesem Zeitraum können aus der Außenluft stammende, sedimentierte Sporen das Ergebnis einer im Innenraum gezogenen Luftprobe stark beeinflussen (falls diese vor oder während einer Probenahme aufgewirbelt werden) und im Verhältnis zur Außenluft eine Belastung der Innenluft vortäuschen. Umgekehrt können auch ungewöhnlich belastete Außenluftproben eine Interpretation der Ergebnisse erschweren. Die Anwendung der Tabellen setzt daher einen hohen Sachverstand voraus.

Zur Beurteilung von Bakterien generell oder Aktinomyzeten in der Innenraumluft gibt es bisher keine einheitliche Vorgehensweise.

Tabelle 14: Bewertungshilfe für Luftproben - kultivierbare Schimmelpilze (KBE/m²)

Parameter	Hintergrundbelastung Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle möglich	Innenraumquelle wahrscheinlich
<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 in der Innenraumluft nicht mehr Sporen einer Gattung als in der Außenluft vorliegen $I_{typ A} \leq A_{typ A}$	Wenn die Konzentration einer Gattung in der Innenluft über dem 1-fachen und bis zum 2-fachen der Außenluft liegt $A_{typ A} < I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 2$	Wenn die Konzentration einer Gattung in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegt $I_{typ A} > A_{typ A} \times 2$
Summe der KBE aller untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 150 KBE/m ³ liegt $I_{\Sigma untyp A} \leq A_{\Sigma untyp A} + 150$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 150 KBE/m ³ und bis zu 500 KBE/m ³ liegt. $A_{\Sigma untyp A} + 150 < I_{\Sigma untyp A} \leq A_{\Sigma untyp A} + 500$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 500 KBE/m ³ liegt. $I_{\Sigma untyp A} > A_{\Sigma untyp A} + 500$
eine Gattung (Summe der KBE aller zugehörigen Arten) der untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 KBE/m ³ liegt $I_{Euntyp G} \leq A_{Euntyp G} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m ³ und bis zu 300 KBE/m ³ liegt. $A_{Euntyp G} + 100 < I_{Euntyp G} \leq A_{Euntyp G} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 KBE/m ³ liegt. $I_{Euntyp G} > A_{Euntyp G} + 300$
eine Art der untypischen Außenluftarten mit vielen, gut flugfähigen Sporen	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m ³ liegt* $I_{Euntyp A} \leq A_{Euntyp A} + 50$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m ³ und bis zu 100 KBE/m ³ liegt* $A_{Euntyp A} + 50 < I_{Euntyp A} \leq A_{Euntyp A} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m ³ liegt $I_{Euntyp A} > A_{Euntyp A} + 100$
eine Art der untypischen Außenluftarten mit geringer Sporenfreisetzungsrates , z.B. <i>Phialophora</i> sp., <i>Stachybotrys chartarum</i>	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 30 KBE/m ³ liegt* $I_{Euntyp AGS} \leq A_{Euntyp AGS} + 30$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 30 KBE/m ³ und bis zu 50 KBE/m ³ liegt* $A_{Euntyp AGS} + 30 < I_{Euntyp AGS} \leq A_{Euntyp AGS} + 50$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m ³ liegt* $I_{Euntyp AGS} > A_{Euntyp AGS} + 50$

Legende zu Tabelle 14:

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

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

- * = Konzentrationen von unter 100 KBE/m³ bzw. unter 50 KBE/m³ lassen sich bei einem Probevolumen von 100 l bzw. 200 l nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit nachweisen, da erst ab einer Anzahl von 10 Kolonien pro Platte quantitativ ausgewertet werden kann. Trotzdem kann der Nachweis einzelner Kolonien dieser Schimmelpilze ein erster Hinweis auf eine mögliche Innenraumquelle sein.
- KBE** = Kolonie bildende Einheiten
- I** = Konzentration in der Innenraumlufte 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 und gut flugfähige Sporen besitzt
- Euntyp AGS** = **eine** Art, die untypisch ist in der Außenluft mit geringer Sporenfreisetzung
- Euntyp G** = **eine** Gattung, die untypisch ist in der Außenluft

Tabelle 15: Bewertungshilfe von Luftproben – Gesamtsporensammlung

Sporentyp	Hintergrundbelastung Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle möglich	Innenraumquelle wahrscheinlich
Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen z. B. Typ Ascosporen Typ <i>Alternaria</i> / <i>Ulocladium</i> , Typ Basidiosporen Typ <i>Cladosporium</i> *	Die Zählung dieser Sporen ist für das Aufdecken von Schimmelpilzquellen nicht relevant. Allerdings kann man i.d.R. anhand der Konzentration dieser Sporen den Außenlufteinfluss erkennen und dadurch eine Plausibilitätsprüfung der angegebenen Probenherkunft (Außenluft, Innenraum, Lager, Keller) durchführen. Diese Kategorien können bei der Überprüfung von Feinreinigungen (z.B. nach einer Sanierung) sinnvoll sein.		
Typ <i>Penicillium</i> / <i>Aspergillus</i>	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 300 Sporen/m ² liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Sporen/m ² und bis zu 800 Sporen/m ² liegt $A_{\Sigma P+A} + 300 < I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 800$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 800 Sporen/m ² liegt $I_{\Sigma P+A} > A_{\Sigma P+A} + 800$
Andere typische Sporen aus Feuchtigkeitsschäden Typ <i>Scopulariopsis</i> Typ <i>Acremonium murorum</i> Typ <i>Paecilomyces</i> Typ <i>Microascus</i> Typ <i>Ascotricha</i> (Typ <i>Alternaria</i> , Typ <i>Ulocladium</i>)	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 Sporen/m ² liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 Sporen/m ² und bis zu 300 Sporen/m ² liegt $A_{\Sigma P+A} + 100 < I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Sporen/m ² liegt $I_{\Sigma P+A} > A_{\Sigma P+A} + 300$
Typ <i>Chaetomium</i> * Typ <i>Stachybotrys</i> Typ <i>Chromelosporium</i> Typ <i>Pyronema</i>	Wenn in der Innenraumluft nicht mehr Sporen als in der Außenluft vorliegen $I_{Chaetom} \leq A_{Chaetom}$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 1 Spore/m ² und bis zu 20 Sporen/m ² liegt* $A_{Chaetom} < I_{Chaetom} \leq A_{Chaetom} + 20$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 20 Sporen/m ² liegt* $I_{Chaetom} > A_{Chaetom} + 20$

Fortsetzung Tabelle 15:

Myzelstücke	<p>Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumlufte und Außenluft nicht über 150 Sporen/m² liegt</p> $I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 150$	<p>Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumlufte und Außenluft über 150 Sporen/m² und bis zu 300 Sporen/m² liegt</p> $A_{Myzel} + 150 < I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 300$	<p>Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumlufte und Außenluft über 300 Sporen/m² liegt</p> $I_{Myzel} > A_{Myzel} + 300$
-------------	--	--	---

Legende zu Tabelle 15:

Die sechs Zeilen der Tabelle sind nicht als eigenständige Kriterien gedacht, sondern sind in einer umfassenden Auswertung gemeinsam zu betrachten. Die Angaben beziehen sich auf Luftproben, die unter normalen Bedingungen gezogen wurden (keine gezielte Staubaufwirbelung).

*= Konzentrationen von unter 10 KBE/m³ bzw. unter 5 KBE/m³ lassen sich bei einem Probevolumen von 100 l bzw. 200 l auch bei Auswertung der Gesamtspur nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit nachweisen, da erst ab einer Anzahl von 10 Kolonien pro Objektträger quantitativ ausgewertet werden kann. Trotzdem kann der Nachweis einzelner Sporen dieser Schimmelpilze ein erster Hinweis auf eine mögliche Innenraumquelle sein.

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

I = Konzentration in der Innenraumlufte in Anzahl Sporen/m³

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

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

Chaetom = Summe der Sporen vom Typ *Chaetomium* sp.

Stachy = Summe der Sporen vom Typ *Stachybotrys chartarum*

divers = Summe diverser uncharakteristischer Sporen, die nicht dem Typ Ascosporen, Typ *Alternaria/Ulocladium*, Typ Basidiosporen oder *Cladosporium* sp. angehören

5.1.4 Bewertung von Staubproben

Staubproben können Auskunft über eine mögliche andauernde Schimmelpilzbelastung im Innenraum geben, da sich im Staub Schimmelpilze über einen längeren Zeitraum anreichern können („Passivsammler“). Staubuntersuchungen können daher dazu genutzt werden, um bei einem Schimmelwachstum eine länger anhaltende Verunreinigung von benachbarten Räumen zu prüfen. Eine Aussage zum gesundheitlichen Risiko lässt sich über Hausstaubuntersuchungen nicht ableiten,

Bei der Beurteilung von Ergebnissen von Schimmelpilzmessungen im Hausstaub muss die verwendete Methode berücksichtigt werden. So findet man mit Methoden, bei denen der Hausstaub vor der weiteren Analyse gesiebt wird, höhere Konzentrationen an Schimmelpilzen pro Gramm Staub als bei Anwendung von Methoden ohne Siebung.

Es gibt keine standardisierte Methode zum Nachweis von Schimmelpilzen oder Bakterien im Hausstaub. Daher können in diesem Leitfaden auch keine Aussagen zu allgemein gültigen Hintergrundkonzentrationen bzw. Konzentrationen in belasteten Innenräumen gemacht werden. Die Konzentration von Schimmelpilzen in Staubproben wird vor allem in den Sommermonaten stark durch die Sporenkonzentration der Außenluft beeinflusst.

Im Rahmen eines durch das Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhabens wurden für ein Verfahren (definierte Probenahme mit einem speziellen Filterhalter bei 15 l/min, Siebung, Untersuchung der 63 µm-Fraktion) Referenzwerte in unbelasteten Räumen im Winter und Sommer erhoben (siehe Anlage 4, wird später ergänzt). Höhere Konzentrationen deuten auf eine Schimmelpilzquelle hin.

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 ist daher weit gespannt.

Die Konzentrationen von *Aspergillus* spp. und *Penicillium* spp. sind relativ stabil im Jahresverlauf. Daher ist der Bereich der normalerweise auftretenden Hintergrundkonzentrationen für diese Gattungen relativ eng.

Für die Erfassung von Schimmelpilzen im Hausstaub gibt es noch keine standardisierte Methode.

Es können daher keine allgemein gültigen Bewertungshilfen für Staub angegeben werden.

5.3 Gutachten

Für die Form von Gutachten gibt es keine zwingenden Regelungen, die den Aufbau eines Gutachtens vorschreiben. Ein Gutachten muss jedoch für den Leser nachvollziehbar sein. Verwertbare Gutachten besitzen daher eine feste Struktur der inhaltlichen Gliederung:

- Deckblatt / Einleitung
- Anlass der Untersuchungen
- Aufgabenstellung/ Auftrag und Zweck des Gutachtens / Ziel der Messungen
- Ortstermin und örtliche Feststellungen
- Vorgehensweise / Messplanung / Messstrategie/Messverfahren
- Probenahmeprotokolle
- Untersuchungsergebnisse
- Bewertung/ Bewertungsgrundlagen
- Zusammenfassung / Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise
- Anlagen und Dokumentation (z. B. Messprotokolle / Laborbefunde / Fotodokumentation/Bewertungsgrundlagen)

Gesundheitliche Diagnosen für den einzelnen Betroffenen obliegen einem Arzt und sollten durch einen naturwissenschaftlich-technischen Sachverständigen nicht erfolgen.

Allgemeine Aussagen zur Dringlichkeit oder Umfang einer Sanierung auf Grund der potenziell gesundheitsschädigenden Wirkungen von Schimmelbefall, wie im Leitfaden beschrieben, sind jedoch möglich.

Aussagen über die pauschale gesundheitliche Wirkung der nachgewiesenen Schimmelpilze, wie z.B. potentiell toxische oder infektiöse Wirkungen, sind nicht zielführend und sollten in Gutachten nicht erfolgen, sie führen nur zu einer Verunsicherung der Betroffenen und haben im Prinzip keinen Informationsgehalt für den konkreten Fall.

Bei der Formulierung sachverständiger Schlüsse im Zusammenhang mit rechtlichen Fragen soll der Sachverständige beachten, in welchem Rechtsraum seine Aussage genutzt werden wird.

Damit ggf. vom einem Gericht entschieden werden kann, welche Ursache für den vorliegenden Schaden primär verantwortlich ist, sollte der Sachverständige alle baulichen und sonstigen Gegebenheiten, die den vorliegenden Mangel verursacht haben könnten, in seinem Gutachten möglichst verständlich und genau benennen und bewerten.

6 Maßnahmen im Schadensfall

Vor einer Schimmelsanierung sind immer die Ursachen zu klären und zu beseitigen, die zu dem Schimmelbefall geführt haben (siehe Kap. 3 und Kap. 4).

Bei der Beurteilung der Dringlichkeit der einzuleitenden Maßnahmen im Schadensfall ist zu berücksichtigen, wie groß die Befallsschäden sind (siehe Kap. 6.1. und 6.2), ob der Schimmelbefall in der Wohnung/Büro oder außerhalb davon auftritt (vgl. Anmerkungen zu Nutzungsklassen in Anlage 1), ob der Schimmelbefall selbst beseitigt werden kann (siehe Kap. 6.1) oder eine Fachfirma (siehe Kap. 6.2) zu Rate gezogen werden muss.

Auf den Einsatz von Bioziden und was es dazu zu beachten gilt, wird separat eingegangen (siehe 6.3). Auch bauliche Rekonstruktionsmaßnahmen nach Sanierung (siehe Kap. 6.4) und Maßnahmen nach Abschluss aller Arbeiten (siehe Kap. 6.5) werden kurz beschrieben.

Abb. 21 fasst die Vorgehensweisen bei kleineren und größeren Befallsflächen zusammen.

6.1 Sanierung kleinerer Schäden

6.1.1 Maßnahmen durch den Raumnutzer

Schimmelbefall kleineren Umfangs (etwa $< 0,5 \text{ m}^2$, nur oberflächlicher Befall, siehe auch Tab. 14 in Kap. 5) kann von Betroffenen oft selbst beseitigt werden, sofern sie nicht allergisch auf Schimmelpilze reagieren oder an Erkrankungen des Immunsystems leiden (siehe Kap. 2). Bei größeren Schäden sollte in jedem Fall eine Fachfirma hinzugezogen werden. Prinzipiell ist es wichtig dabei so staubarm wie möglich vorzugehen.

Wichtig bei allen Sanierungsmaßnahmen ist möglichst staubarmes Arbeiten, um die Verteilung von Schimmelsporen mit dem Staub und über die Luft so gering wie möglich zu halten. Feuchtes Reinigen (Wischen) ist daher immer dem trockenen Saugen vorzuziehen. Beim Staubsaugen nur solche Geräte mit Zusatzfilter (Feinfilter) benutzen. Fegen sollte ganz unterbleiben.

Folgendes sollte beachtet werden:

Glatte Flächen: Bei glatten Flächen, z.B. Fliesen, Keramik, Glas, Metall, reicht es, wenn diese mit Wasser und einem haushaltsüblichen Reiniger abgewaschen werden, um Staub bzw. Verschmutzungen und damit den Schimmel zu entfernen. Das Wischwasser ist dabei mehrfach auszutauschen und eine unkontrollierte Verteilung bzw. ein Verschmieren zu verhindern. Im Bad sollen stark mit Schimmel befallene Silikonfugen erneuert werden, weil sie in der Regel nicht zu reinigen sind. Mieter sollten hierzu in jedem Fall Rücksprache mit dem Vermieter halten. Hier empfiehlt es sich, bei neuem Verfugen spezielles Sanitärsilikon (möglichst emissionsarm, siehe Hinweise auf dem Produkt) zu verwenden und den Untergrund

gründlich zu reinigen. Bei leichtem Befall können die Fugen mit einem haushaltsüblichen Reiniger gereinigt werden (dies gilt auch für Fugen von Fliesen).

Poröse, offenporige Flächen: Offenporige Flächen, z.B. verputzte Wände, sollen mit einem haushaltsüblichen Reiniger oder 70-80 %-Alkohol abgewischt oder mit einem speziellen Staubsauger mit HEPA-Filter und dichtem Gehäuse abgesaugt werden. Beim Reinigen mit Alkohol unbedingt für gute Durchlüftung sorgen! Aufgrund der Brand- und Explosionsgefahr sollte der Alkohol nur in kleinen Mengen angewendet werden. Auf keinen Fall darf dabei geraucht werden oder offenes Feuer vorhanden sein.

Möbelstücke, z.B. Schrankrückwände, sollten feucht gereinigt werden. Ist der Schimmelbefall bereits in das Material eingedrungen (verschimmelte Holzwerkstoffe), dann sind die befallenen Teile des Möbelstücks (bspw. die Hartfaser-Rückenwand) zu entsorgen. Massivholzmöbel sind in der Regel davon nicht betroffen. Hier ist eine Reinigung fast immer möglich, da Schimmelpilzbefall an Massivholz meist nur oberflächlich vorliegt.

Bei Polstern und Polstermöbeln muss ebenfalls unterschieden werden zwischen befallenen Material, auf dem Schimmelpilze wachsen (oder gewachsen sind) und Möbelstücken, die lediglich mit Schimmelpilzsporen aus der Luft sekundär verunreinigt wurden. Befallene Polstermöbel sind häufig schwer zu reinigen, da der Schimmelbefall insbesondere, wenn dieser länger andauerte, tief in die Polster eingedrungen sein kann. Eine Reinigung ist dann oft mit vertretbarem Aufwand nicht möglich und die Möbel sollten im Zweifelsfall besser entsorgt werden.

Polstermöbel, die nicht befallen sind, sondern nur in einem Bereich stehen, in dem befallene Materialien vorkommen und daher mit Sporen und sonstigen mikrobiellen Bestandteilen verunreinigt sind, können durch intensives Absaugen (spezielle Staubsauger mit HEPA-Filter und dichtem Gehäuse) gereinigt werden. Die Staubsaugerbeutel können mit dem Hausmüll entsorgt werden.

Befallene Tapeten sollten angefeuchtet und immer entfernt werden. Befallene Textilien, z.B. Vorhänge oder Decken, auch Kleidungsstücke, sollen vorsichtig abgenommen und in der Waschmaschine (ggf. mehrfach) gewaschen oder chemisch gereinigt werden. Durch direkten Schimmelbefall verursachte Flecken und Gerüche lassen sich aber unter Umständen nicht entfernen, in diesem Fall müssen sie entsorgt werden.

Nicht mehr verwendbare befallene Gegenstände und Materialien in reißfesten Foliensäcken (z.B. Müllsäcke) luft- und staubdicht verpacken und mit dem Hausmüll entsorgen. Um nicht unnötig die Sporen in der Raumluft zu verteilen, sollte die Luft vor dem Verschließen der Säcke nicht „heraus gedrückt“ werden.

Persönliche Schutzmaßnahmen bei der Beseitigung kleinerer Schäden

Schimmel nicht mit bloßen Händen berühren – Schutzhandschuhe aus Kunststoff tragen (in Drogerien oder Baumärkten erhältlich).

Schimmelbestandteile möglichst nicht einatmen – einfachen Atemschutz tragen (in Baumärkten erhältlich) und nach Gebrauch entsorgen

Bei Arbeiten über Kopf oder Spritzgefahr Schutzbrille tragen

Kleidung nach Durchführung der Maßnahmen gründlich waschen.

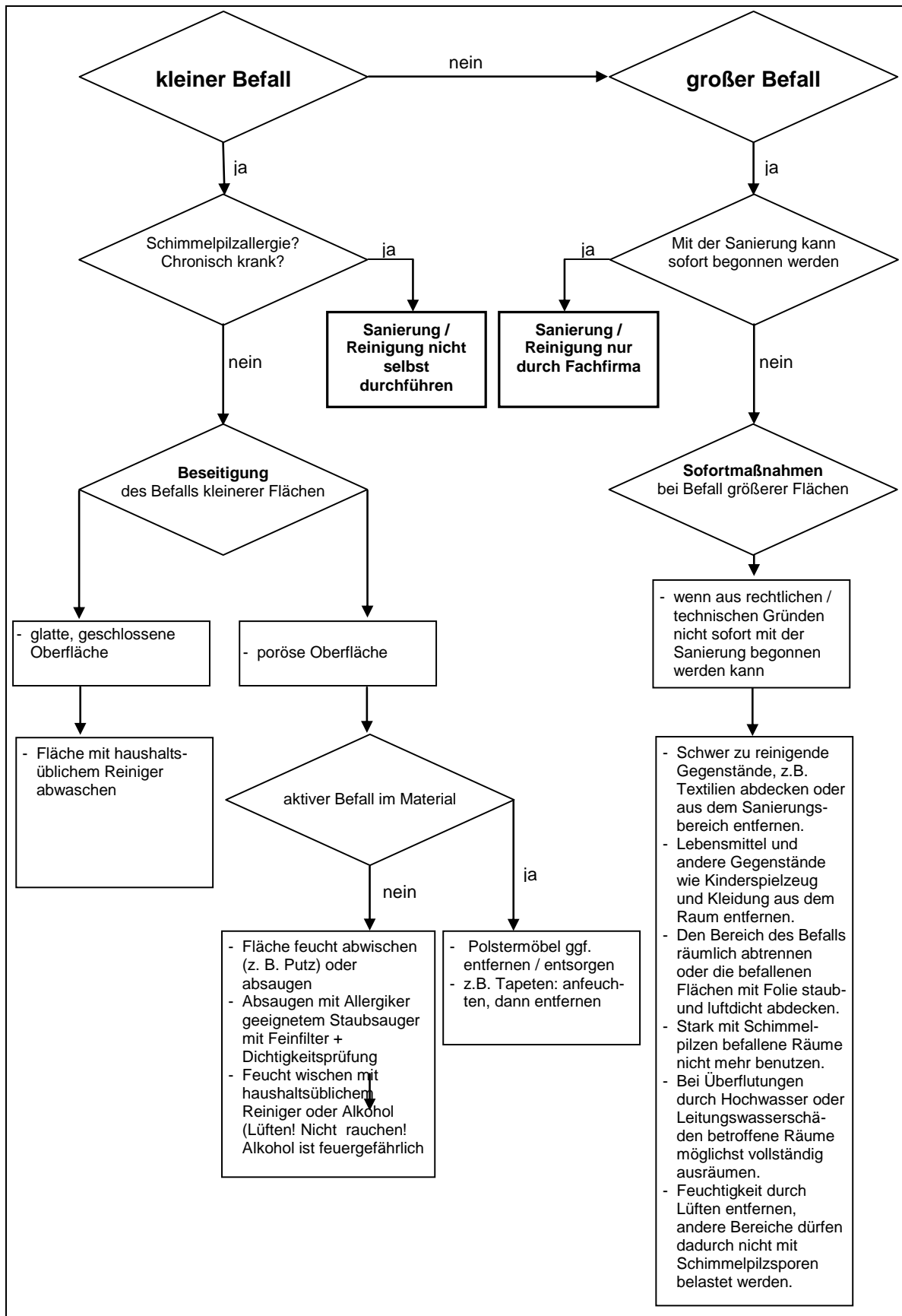


Abbildung 21: Vorgehensweise (Ablaufschema) bei der Beseitigung von Schimmelbefall bei kleineren und größeren Schäden, Erklärungen im Text

6.1.2 Maßnahmen durch Fachfirmen

Auch bei einem Schimmelbefall kleineren oberflächlichen Umfangs sollten Fachfirmen zu Rate gezogen werden, wenn dieser tiefer in die Baumaterialien eingedrungen ist und z.B. der Putz entfernt werden muss oder die Ursache des Befalls unklar ist.

6.2 Sanierung größerer Schäden

Die sachgerechte Sanierung größerer Schimmelschäden gehört in die Hand von Fachfirmen, welche über die notwendige Fachkunde und die technischen Möglichkeiten verfügen. Dennoch kann es auch hier erforderlich sein, dass der Nutzer vorab Sofortmaßnahmen ergreift, um zeitliche Verzögerungen bis zum Beginn der Sanierung zu überbrücken. Das kann das Abschotten befallener Bereiche oder Räume, verstärktes Lüften der Wohnung bis zur Sanierung oder die Separierung befallener Möbel und Gegenstände sein (siehe Kap. 6.2.2).

Bei der Sanierung sind unbedingt die Arbeitsschutzbestimmungen zu beachten (siehe Kap. 6.2.1)

INFOBOX

Welche Fachfirmen sind zur Sanierung geeignet?

Bis heute gibt es keine staatliche „Zulassungs- oder Zertifizierungsstelle“ für Schimmel-Sanierungsfirmen. Schimmelsanierungen sind nicht gezielte Tätigkeiten im Sinne der Biostoffverordnung, bei denen die beschäftigten Handwerker maximal gegenüber Mikroorganismen mit geringer Infektionsgefährdung (Mikroorganismen der Risikogruppe 1) exponiert sind. Die Anforderungen an die Fachkunde nach der Biostoffverordnung sind in der TRBA 200 konkretisiert. Die Biostoffverordnung erfordert u.a. eine Fachkunde für die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung. Darüber hinaus wird bei hohen Schutzstufen auch die Fachkunde bei Beschäftigten sowie die Benennung einer fachkundigen Person gefordert (siehe 6.2.2).

Diverse Verbände und Institutionen bieten regelmäßige Fortbildungskurse, Lehrgänge und Seminare an, bei denen die notwendige Fachkunde (z.B. mikrobiologische, bauphysikalische und hygienische Grundlagen, Planung, Koordination und Kontrolle des Sanierungserfolges etc.) geschult werden.

Da es bisher keine allgemein staatlich anerkannte Qualifikation zur Schimmelsanierung gibt, sollte sich der Auftragsgeber vor Auftragsvergabe über die Qualifikation der Firma erkundigen, z.B. über Referenzen sowie Fragen nach geplanten Arbeitsschutz- und Umgebungsschutzmaßnahmen sowie Qualifikation der ausführenden Personen (Nachweis der Teilnahme an Schulungen und Fortbildungen etc.).

Der Ablauf einer Sanierung größerer Schäden umfasst folgende Schritte:

- Gegebenenfalls Sofortmaßnahmen (siehe Kap. 6.2.2)
- Ermittlung des Schadensausmaßes des Schimmelbefalls, möglichst durch unabhängige Fachleute (siehe Kap. 6.2.3)
- Ermittlung der Ursache für die Feuchtigkeit und den Schimmelbefall (siehe Kap. 6.2.4)
- Beseitigung der Ursache des Befalls (siehe Kap. 6.2.4)
- Durchführung der Schimmelsanierung
 - Entfernung der mit Schimmel befallenen Materialien (siehe Kap. 6.2.5)
 - gegebenenfalls Trocknung feuchter Bausubstanz (siehe Kap. 6.2.6)
 - Feinreinigung des Objektes (siehe Kap. 6.2.7)
- Abnahme / Erfolgskontrolle durch unabhängige Fachleute (siehe Kap. 6.2.8)
- Wiederaufbau
- Kontrolle der in den Raum eingebrachten Gegenstände, ggf. weitere Reinigungsmaßnahmen, Endkontrolle durch unabhängige Fachleute

Die Reihenfolge ist nicht zwingend einzuhalten, die einzelnen Schritte können variieren. Bei den einzelnen Schritten der Schimmelsanierung ist vorab zu prüfen, ob ein Umgang mit verunreinigtem Material oder eine Tätigkeit mit erhöhter Schimmelexposition stattfindet. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind dann die erforderlichen Schutzmaßnahmen festzulegen.

6.2.1 Arbeitsschutz

Beim Entfernen schimmelbelasteter Materialien mit staubenden Arbeitsverfahren wie z.B. Abstemmen von Putz mit einem Stemmeißel werden hohe Konzentrationen an Staub und Mikroorganismen freigesetzt. Dies kann insbesondere bei länger andauernder oder häufiger Exposition der Beschäftigten zu gesundheitlichen Beschwerden führen. Ziel ist es, durch die Auswahl geeigneter Arbeitsverfahren, die Staub- und Sporenfreisetzung bei der Sanierung möglichst gering zu halten.

Gefährdungen durch biogene Schadstoffe ermitteln und beurteilen:

Für Tätigkeiten bei der Schimmelsanierung gilt die Biostoffverordnung (BioStoffV). Sie regelt Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und beschreibt auch Maßnahmen zum Schutz anderer Personen, die durch die Sanierungstätigkeiten gefährdet werden können.

Sanierungs- und Reinigungsarbeiten zur Beseitigung von Schimmelbefall sind nicht gezielte Tätigkeiten im Sinne der Biostoffverordnung. Nach Biostoffverordnung werden bestimmte Tätigkeiten hinsichtlich ihrer Infektionsgefährdung einer Schutzstufe zugeordnet. Für die Gefährdungsabschätzung bei Sanierungsarbeiten ist eine Berücksichtigung dieser Schutzstufenzuordnung nicht erforderlich, da sie sich ausschließlich auf Infektionsgefährdung bezieht. Sensibilisierende und toxische Wirkungen, die bei der Zuordnung zu Schutzstufen nicht berücksichtigt werden, müssen dagegen bei der Gefährdungsbeurteilung betrachtet werden. Zu den sensibilisierenden Biostoffen zählen u.a. Schimmelpilze und bestimmte Bakterien (u.a. thermophile Aktinomyzeten). Toxische Wirkungen können z.B. von Stoffwechselprodukten oder Zellwandbestandteilen ausgehen (siehe Kapitel 2.2).

Der Arbeitgeber muss vor Beginn der Sanierung eine Gefährdungsbeurteilung durchführen und die erforderlichen Schutzmaßnahmen festlegen. Dabei ist eine besondere Rangfolge einzuhalten. Die Exposition der Beschäftigten ist zunächst durch technische und organisatorische Maßnahmen wie z.B. den Einsatz von Maschinen mit wirksamer Absaugung oder technische Lüftungsmaßnahmen zu reduzieren. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, um eine Gefährdung auszuschließen, ist der Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung erforderlich. Ein Abweichen von dieser Rangfolge der Schutzmaßnahmen muss im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung begründet werden.

Ein zuverlässiger Schutz der Beschäftigten ist nur dann möglich, wenn alle Einflussfaktoren, die zu einer Gefährdung führen können, ermittelt und bewertet werden. Wesentliche Grundlagen für die Gefährdungsbeurteilung sind Informationen über die zu erwartenden Biostoffe und die Tätigkeiten, die ausgeführt werden sollen. Für die Gefährdungsbeurteilung muss der Arbeitgeber insbesondere Folgendes ermitteln:

- Biostoffe (Schimmelpilze, Bakterien und ggf. Krankheitserreger aus Abwasser), deren Infektionspotential sowie mögliche sensibilisierende und toxischen Wirkungen, Aufnahmepfade (Einatmen, über die Haut oder die Schleimhäute, über den Mund)
- Ursache, Größe und Tiefe des Schimmelbefalls
- durchzuführende Tätigkeiten unter Berücksichtigung des Arbeitsverfahrens und der eingesetzten Arbeitsmittel
- voraussichtliche Sporen- und Staubfreisetzung bei den Sanierungsarbeiten
- voraussichtliche Dauer der Tätigkeiten
- Möglichkeit des Einsatzes von Arbeitsverfahren, die zu einer geringeren Gefährdung der Beschäftigten führen (Substitutionsprüfung).

Eine Handlungsanleitung zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und praktische Hilfestellungen bei der Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen bietet die DGUV-Information „Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung“ (DGUV-Information 201-028, vormals BGI 858), die im Internet abrufbar ist.

Die Handlungsanleitung liefert für typische Tätigkeiten bei der Schimmelsanierung Informationen über die zu erwartende Exposition der Beschäftigten. Die Einteilung der Exposition bezieht sich auf einen Vergleich mit der Hintergrundkonzentration. Unterschieden werden Konzentrationsbereiche, die gegenüber der Hintergrundkonzentration als erhöht, hoch oder sehr hoch bezeichnet werden. Als weiteres Zuordnungskriterium wird die Staubexposition (A- oder E-Staub) berücksichtigt.

Abhängig von der zu erwartenden Exposition und der Dauer der Tätigkeiten werden die Tätigkeiten einer Gefährdungsklasse zugeordnet (siehe Abb. 22). Weitere Messungen der Konzentration der Schimmelpilze und Bakterien oder eine Artbestimmung sind für eine Gefährdungsabschätzung auf Grundlage der Handlungsempfehlung nicht notwendig.

Die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen richten sich nach der ermittelten Gefährdungsklasse.

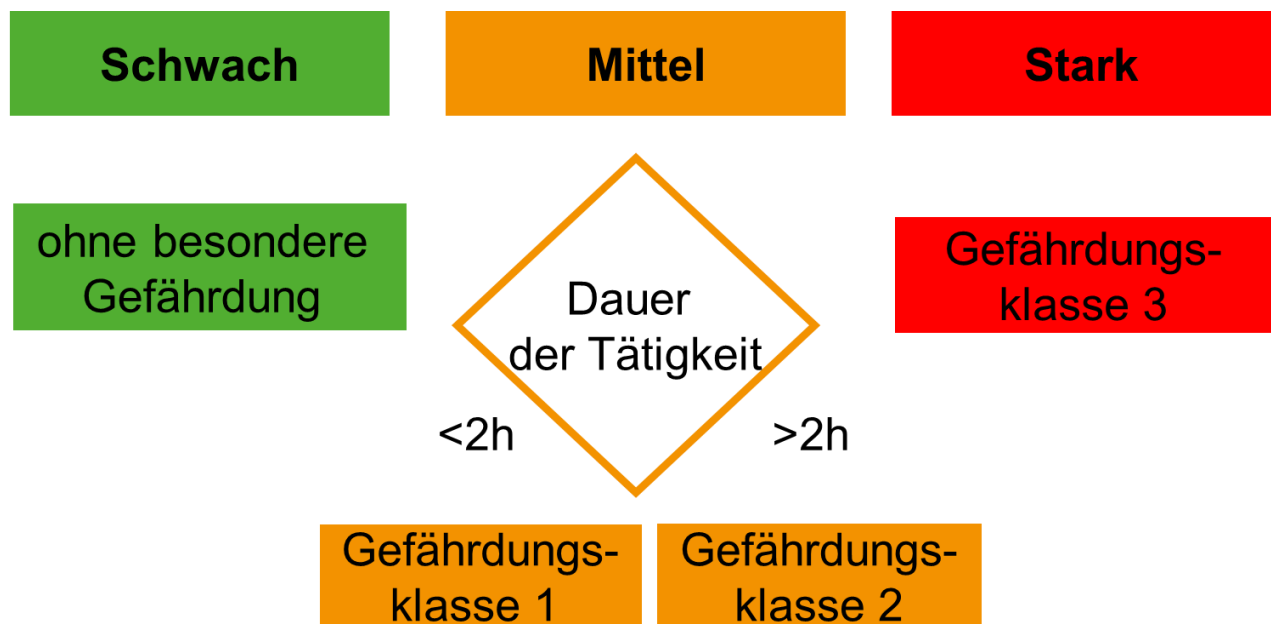


Abbildung 22: Zuordnung der Tätigkeiten zu einer Gefährdungsklasse in Abhängigkeit von der zu erwartenden Sporenkonzentration und der Dauer der Exposition (DGUV-Information 201-028)

Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen

Bei den Tätigkeiten der Beschäftigten sind stets die grundlegenden Maßnahmen der Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 500 umzusetzen. Diese umfassen neben Maßnahmen der persönlichen Körperhygiene auch technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen zur Verringerung der Exposition. Zu den grundlegenden technischen Maßnahmen zählen:

- Anwendung staubarmer Arbeitsverfahren
- Befeuchten der befallenen Oberflächen vor dem Abtrag
- Verwendung von Maschinen und Geräten mit integrierter Absaugung
- Raumluftechnische Maßnahmen
- Reinigung der Sanierungsbereiche mit Staubsaugern der Staubklasse H
- Waschgelegenheit bereitstellen

Abhängig von der ermittelten Gefährdungsklasse werden folgende Schutzmaßnahmen erforderlich (siehe Abb. 23).

Maßnahmen	Gefährdungs- klasse 1	Gefährdungs- klasse 2	Gefährdungs- klasse 3
Abtrennung des Arbeitsbereiches	-	Staubdichte Abtrennung, ggf. Übergangsbereich/ Personenschleuse	Schwarz-Weiß-Trennung mit Personenschleuse
Lüftung	-	ggf. technische Lüftung	technische Lüftung
Atemschutz	-	Halbmaske mit P2-Filter	gebläseunterstützte Hauben oder Masken mit P3-Filter
Augenschutz	bei Spritzwasserbildung oder Arbeiten über Kopf		immer erforderlich
Schutzanzug	-	staubdichter Schutzanzug	staubdichter Schutzanzug
Handschutz	flüssigkeitsdichte Handschuhe, z.B. aus Nitril		

Abbildung 23: Schutzmaßnahmen abhängig von der Gefährdungsklasse

Weitere Gefährdungen:

Bei der Gefährdungsbeurteilung sind nicht nur die biologischen Belastungen, sondern auch bei einer Desinfektion eingesetzte Gefahrstoffe und das Vorhandensein von Gebäudeschadstoffen wie z.B. alte Mineralwolle-Dämmstoffe zu berücksichtigen.

6.2.2 Sofortmaßnahmen

Bei einem größeren Schimmelbefall kann es erforderlich sein, Sofortmaßnahmen einzuleiten, wenn die Sanierung nicht zeitnah begonnen werden kann. Durch diese Maßnahmen soll die Exposition der Raumnutzer minimiert bzw. unterbunden werden. Die Sofortmaßnahmen richten sich nach der Art der Raumnutzung und nach der Dauer des Aufenthalts in den Räumen. Ob und welche Sofortmaßnahmen sinnvoll und notwendig sind, muss im Einzelfall entschieden werden. Auch die persönliche Empfänglichkeit (Prädisposition) gegenüber mikrobiellen Umwelteinwirkungen ist zu berücksichtigen, wenn die Raumnutzer selbst Hand anlegen.

Sofortmaßnahmen können sein:

- Information der Betroffenen
- Aufenthaltsdauer beschränken
- Nutzung aussetzen und verunreinigte Räume abschotten, Fugen an Türen mit Klebeband abkleben (Kennzeichnen der Räume als "Zutritt verboten")
- Verschleppen mikrobieller Partikel und Stäube vermeiden und daher besiedelte Gegenstände vor Ort belassen oder verpackt entsorgen
- Befall abschotten durch (vorübergehende) dichte Abdeckung mit Folie
- Befall binden (Überstreichen mit Farben/Lacken als Übergangsmaßnahme)
- verunreinigte, nicht mikrobiell besiedelte Gegenstände, die aus den Räumen geholt werden, reinigen.
- Luftreiniger oder Lüftungsmaßnahmen, dabei ist eine Verschleppung / Gefährdung Dritter zu vermeiden

6.2.3 Erfassung des Schadensausmaßes

Grundlagen einer fachgerechten Sanierung sind die Untersuchung des Objektes (fachgerechte Ortsbegehung, siehe Kap.5.1.1) und die zweifelsfreie Kenntnis zur Ursache des Befalls und des gesamten Schadensausmaßes (sowohl in räumlicher Ausdehnung als auch in Bezug auf die Intensität) ein. Wird ein Feuchtigkeits- oder Wasserschaden innerhalb von Gebäuden nicht vollumfänglich erfasst sowie, zeitnah und fachgerecht beseitigt, ist der nachhaltige Erfolg der Sanierung gefährdet. Es besteht dann weiterhin das Risiko von Folgeschäden mit negativen Auswirkungen für die Bausubstanz sowie für die Raumnutzer.

Aufgrund der Vielschichtigkeit von Konstruktionsaufbauten und Materialien muss überprüft werden, in welche Gebäudebereiche die Feuchte eingedrungen ist und ob bereits ein Schimmelwachstum eingesetzt hat. Insbesondere feuchteempfindliche Bauteile (z.B. Holzverkleidungen, Gipskartonplatten etc.) und nicht direkt einsehbare Hohlräume und Schichten (z.B. Estrich-Dämmschichten, Schächte, etc.) sind zu inspizieren. Bei der Feststellung der räumlichen Ausdehnung und Intensität der Feuchte müssen die „Wege des Wassers“, nicht nur in flüssigem Zustand sondern auch in Form von Wasserdampf in der Baukonstruktion berücksichtigt werden. So kann eine massive Durchfeuchtung in verdeckten oder vorgebauten Bauteilen vorliegen, ohne dass diese augenscheinlich erkannt bzw. oberflächlich messtechnisch zu erfassen ist. Bereits eine dauerhaft vorherrschende relative Luft-Feuchtigkeit oberhalb von ca. 70% reicht xerophilen Schimmelpilzarten bei sonst optimalen Bedingungen aus, um zu wachsen (siehe Kap. 1 und 3).

6.2.4. Beseitigung der Schadensursachen

Eine Schimmelsanierung sollte stets mit der Beseitigung der Ursachen für die Entstehung des Schimmelwachstums beginnen.

Die Ursachen für die Feuchtigkeit müssen erkannt und behoben werden.

Baumängel bzw. Bauschäden sind zu beheben. Feuchteschäden aus Havarien (Überschwemmung, Leckagen) sind schnellstmöglich zu trocknen. Leitungswasserschäden sind zu lokalisieren und von Fachfirmen instand zu setzen.

Bei feuchten Bauteilen muss bei der Ursachensuche prinzipiell zwischen Oberflächenfeuchte und Wasser im Bauteil unterschieden werden.

Oberflächenfeuchte:

Wurde bei der Ursachensuche eine zu hohe Oberflächenfeuchte festgestellt, die ihre Ursache in einem unzureichenden Wärmeschutz bzw. dem Vorliegen von Wärmebrücken hat, sollte geprüft werden, ob der Wärmeschutz verbessert werden kann, um die Oberflächentemperatur zu erhöhen und Schimmelwachstum vorbeugen.

Einen Sonderfall erhöhter Oberflächenfeuchte stellt die "Sommerkondensation" dar, die vor allem in Souterrain- und Kellerräumen bzw. nicht dauernd genutzten Gebäuden auftritt. Hier sind zur Vermeidung spezielle Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich, meist unter Einsatz einer Regelung über die absolute Luftfeuchte.

Bauteilfeuchte:

Je nach Ursache der Wanddurchfeuchtung ergeben sich nachfolgende idealisierte Feuchtigkeitsprofile im Außenwandbereich (siehe Abb. 23).

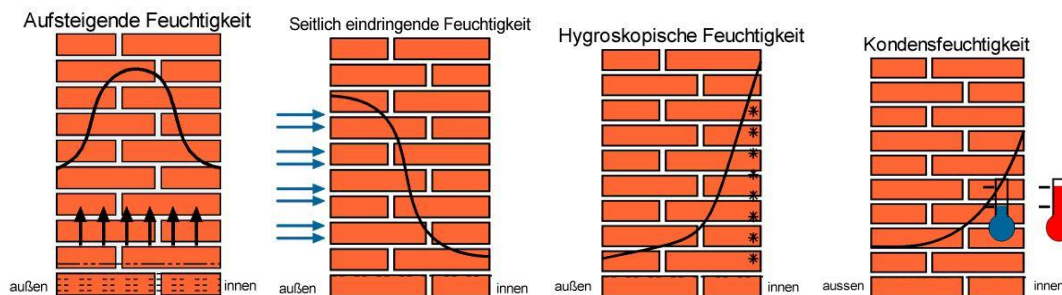


Abbildung 24: Feuchtigkeitsprofile in der Wand

Durch geeignete Bauwerksdiagnostik ist anhand der Feuchtigkeitsprofile und durch Untersuchung des Konstruktionsaufbaus zu ermitteln, welche Feuchtigkeitszufuhr an dem zu untersuchenden Bauteil vorliegt. In der Praxis ist ein Untersuchungsergebnis nicht unbedingt so eindeutig wie in Abb. 24 dargestellt. Es können „Mischfälle“ vorliegen, bei denen sich mehrere Feuchtigkeitsprofile überlagern. Die Ursache der Feuchtigkeitszufuhr muss durch Fachleute ermittelt werden, so dass ursachengerecht saniert werden kann. In Altbauten, die nicht über eine Abdichtung erdberührter Bauteile von außen verfügen, müssen – wenn kein Schimmelbefall vorliegt – nicht in jedem Fall zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen erfolgen; entscheidend ist die Analyse des Bausachverständigen vor Ort.

Folgende Maßnahmen können zur Vermeidung der Bauteilfeuchte notwendig sein:

- Einbau einer nachträglichen Horizontalsperre bei aufsteigender Feuchtigkeit: Es gibt Bohrlochinjektions-Verfahren, mechanische Verfahren und den Austausch von Mauerwerk, um nachträglich eine Horizontalsperre einzubringen. Die Verfahren zum Einbringen einer nachträglichen Horizontalsperre sind z. B. in den WTA-Merkblättern 4-4-04/D (Jahreszahlen ergänzen) „Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit“ und 4-7-02/D „Nachträgliche Mechanische Horizontalsperren“ (zu beziehen über www.wta.de) beschrieben. Nachträgliche Außenabdichtung bei seitlich eindringender Feuchtigkeit (flächig und im Bereich Wand-Sohlenanschluss): Gemäß dem WTA-Merkblatt E-4-6-03/D „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“ ist das Gebäude von außen freizulegen und das sach- und fachgerecht vorbereitete Mauerwerk z. B. mit einer elastischen Bitumendickbeschichtung abzudichten. Bei der Freilegung können auch häufig vorkommende Schäden an alten Abwasserleitungen erkannt und behoben werden.
- Innenabdichtung: Anbringen eines mehrlagigen Innenabdichtungssystems mittels starrer und flexibler Dichtungsschlämme auf der Wandinnenseite gemäß WTA-Merkblatt E-4-6-03/D „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“. Bei diesen Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass in der Wand vorhandene Feuchtigkeit weiter aufsteigen kann, wenn dies nicht durch eine horizontale Abdichtung verhindert wird.
- Verpressen von Arbeitsfugen und Rissen in Betonbauteilen: Die Rissinjektion wird mit Harzen (z. B. dauerelastischen Kunstharzen auf Polyurethanbasis) ausgeführt, um die Risse oder die undichten Fugen mit einem hohen Druck formschlüssig zu verpressen.

Zu den technischen Vorgaben bezüglich Bauwerkstrockenlegung und -prüfung vgl. auch WTA-Merkblatt „Ziele und Kontrolle von Schimmelsanierungen in Innenräumen“ (WTA, 2016).

6.2.5 Entfernung befallener Materialien

Bei der Frage **Entfernung befallener Materialien** und Bauteile oder Abhilfe durch andere Maßnahmen wie Abschotten oder Abdichten ist immer auch zu berücksichtigen, ob das Schimmelwachstum in ständig genutzten Büros, Wohnräumen und Schlafzimmern auftritt oder „nur“ in wenig genutzten Lager- und Nebenräumen außerhalb der Wohnung sowie nicht zugänglichen Bereichen innerhalb der Baukonstruktion, die aber in keiner Verbindung zu den genutzten Räumen stehen (vgl. Nutzungsklassen, Anlage 1). Sowohl die Dringlichkeit der Sanierung als auch die zu ergreifenden Maßnahmen bei der Sanierung selbst hängen entscheidend von der Art der Raumnutzung ab.

Sanierungsentscheidungen bleiben deswegen auch immer eine Einzelfallentscheidung des Sachverständigen vor Ort. Der Schimmelleitfaden kann hierbei lediglich Hilfestellung geben.

Bevor der Abbruch bzw. Ausbau der geschädigten Bausubstanzen erfolgen kann, müssen die zuvor beschriebenen Arbeits- und Umgebungsschutzmaßnahmen angewendet werden (siehe Kap. 6.2.2). Der Sanierungsbereich ist unbedingt von nicht betroffenen Gebäudeteilen abzuschotten und durch technische Be- und Entlüftung ggf. in Unterdruck zu halten.

Wichtige Aspekte bei der Entfernung und Bearbeitung von Materialien sind:

- Bei Entfernung schimmelbefallener Materialien werden üblicherweise größere Mengen an Staub und Schimmelpilzsporen sowie Fragmente des mikrobiellen Befalls freigesetzt. Um die Staubeentwicklung so gering wie möglich zu halten, sollten diese Materialien vor und während der Abbrucharbeiten befeuchtet oder mit einem Sporenbindemittel behandelt werden. Eine Behandlung mit Bioziden ist in der Regel nicht erforderlich, da die Materialien ohnehin entfernt werden.
- Sind Vorbauwandkonstruktionen, insbesondere aus Leichtbau- und Installationswänden (Gipskarton) von Schimmel befallen, sind diese auszubauen. Zur vollständigen und erfolgreichen mikrobiell belasteter Materialien ist in der Regel auch der Ausbau der dort verbauten Dämmmaterialien (KMF-Dämmung, Polystyrol, etc.) erforderlich, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls verunreinigt oder bewachsen sind und ein Eintrag der Sporen in die Raumluft nicht auszuschließen ist. Die Entfernung dieser Wände sollte ca. 30-40 cm über die befallene Zone bzw. den Feuchtigkeitshorizont hinaus erfolgen.
- Bei Entfernung von Estrichen mit darunter befindlichen Trittschall- und Wärmedämmschichten, sowie bei Ausbau von Leichtbauwänden (Gipskartonplatten, KMF-Dämmungen, etc.) sind staubarme und sporenbindende Maßnahmen zu ergreifen (z.B. Befeuchtung). Eine an den Arbeitsbereich geführte Absaugung (z.B. Abluftschlauch einer gefilterten Unterdruckanlage) nimmt hierbei freigesetzten Staub und mikrobielle Partikel auf.
- Dort wo aufgrund lang anhaltender und eingeschlossener Feuchtigkeitseinwirkung bereits eine Zerstörung des Putzgefüges und/oder ein mikrobieller Befall sichtbar an den Wänden eingetreten ist (Aussalzen, Zermürbung, Verseifung, Aufweichung), bleibt nur eine partielle Putzentfernung bzw. mechanische Abtragung unter gleichzeitiger HEPA-gefilterter Absaugung.
- Freigelegte Mauerwerke und ggf. vorhandene Betonflächen sollten zunächst sorgfältig abgesaugt werden und soweit es aus Brandschutzgründen möglich ist zur Beseitigung anhaftender organischer und mikrobieller Partikel fachgerecht abgeflammt werden.
- Zur Beseitigung eines oberflächlichen Schimmelwachstums an massiven Bauteilen eignen sich bspw. lokal absaugende Fräsen mit nachgeschalteter Filtration.
- Sämtliches entferntes verunreinigtes Material muss, wenn es den geschützten Arbeitsbereich verlässt, in Behältern oder luftdicht verpackten Säcken und auf dem kürzesten Wege aus dem Gebäude in möglichst geschlossene Container gebracht werden.

Mikrobiell besiedelte Materialien, die problemlos und somit meist wirtschaftlich demontiert werden können, wie Gipskartonplatten, Holzwerkstoffplatten, Wand- oder Deckenputze, sollten nicht im Gebäude belassen werden. Alternativen zum Rückbau werden jedoch häufig in Betracht gezogen, wenn der Rückbau der mikrobiell befallenen Materialien mit einem größeren Aufwand verbunden ist, insbesondere beim mikrobiellen Befall von Dämmschichten in Fußbodenkonstruktionen (siehe auch UBA Leitfaden Fußboden).

Ein Fluten der Bodenkonstruktion mit Bioziden (in der Praxis oft fälschlicherweise Desinfektion genannt) ist keine nachhaltige Sanierungsmaßnahme. Es gibt keine Nachweise, dass damit eine anhaltende Abtötung von Schimmelpilzen und Bakterien erreicht werden kann (zum Einsatz von Desinfektionsmittel vgl. Kap. 6.3). Außerdem ist diese Maßnahme nicht immer die wirtschaftlichere Lösung.

Eine häufig gewählte Alternative zur Entfernung von Estrichen, wenn nur der Randbereich mikrobiell befallen war oder der Befall in der Bodenkonstruktion sich als nicht gravierend herausstellt, ist die sog. Randfugensanierung (siehe Kap. 6.4).

6.2.6 Trocknungsmaßnahmen

In allen Fällen, in denen Feuchteschäden in Gebäuden so groß sind, dass sie nicht mehr nur durch Lüften und Heizen allein behoben werden können, ist eine Trocknung mit technischen Hilfsmitteln vorzunehmen. Für eine technische Bautrocknung ist eine besondere Sachkunde erforderlich. Die Sachkunde ist plausibel zu belegen (vgl. Infobox „Welche Fachfirma ist zur Sanierung geeignet“ - siehe oben in Kap. 6.2).

Je nach Temperatur und Material muss bei Wasserschäden, die mehrere Tage oder Wochen andauern, immer mit dem Auftreten von Schimmelwachstum gerechnet werden. Möglicherweise wurden auch Krankheitserreger durch mikrobiologisch verunreinigtes Abwasser in die Räume eingespült. Vor der Trocknung ist die restlose Entfernung eines vorhandenen Schimmelbefalls erforderlich. Während der Trocknung ist daher die Innenraumhygiene zu berücksichtigen und es dürfen keine Stäube, Fasern und Schimmelpilzsporen verteilt werden.

Mit der Trocknung soll so schnell wie möglich nach Auftreten des Feuchteschadens begonnen werden, damit sich kein Schimmel ausbilden kann und somit der Schaden gemindert wird.

Ob eine Trocknung durchgeführt werden kann und ob eine weitere Nutzung während der Trocknung möglich ist, hängt u.a. von folgenden Punkten ab:

- Art, Größe und Alter des Schadens;
- Art des durchfeuchteten Materials und der Bauausführung;
- Ausmaß der mikrobiellen Verunreinigung;
- Art der Nutzung;
- Gesundheitszustand der Nutzer;
- Art der Trocknung.

Vor der Aufstellung der Trocknungsgeräte muss zunächst geprüft werden, in welche Bereiche die Feuchtigkeit eingedrungen ist und ob sich bereits ein mikrobieller Befall ausgebildet hat. Eine Trocknung ist nicht sinnvoll bei Papier und Pappen, oft auch nicht bei Holzwerkstoffplatten (OSB-, Hartfaser- oder Spanplatten). Bei befallenen Dämmmaterialien muss durch weitergehende Untersuchungen geklärt werden, ob ein Ausbau erforderlich ist.

Sind die Bauteile bereits von Schimmelpilzen befallen, muss darauf geachtet werden, dass bei der Trocknung die mikrobiellen Bestandteile nicht im gesamten Gebäude verteilt werden. Eine Schimmelsanierung ist grundsätzlich vor der Trocknungsmaßnahmen durchzuführen.

Es sind ausschließlich Verfahren einzusetzen, die eine Freisetzung von Schimmelpilzsporen, Dämmstoffen und sonstigen Partikeln verhindert. Wenn nötig sind die Räume während der Trocknung von nicht betroffenen Räumen abzuschotten.

Für die unterschiedlichsten Schadensfälle stehen verschiedene Geräte, Verfahren und Methoden zur Verfügung. Für eine erfolgreiche Trocknung sind außer der Auswahl der Technik auch die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten, die Vielschichtigkeit der betroffenen Materialien und die Nutzung der Räume zu beachten.

Eine technische Trocknung gilt als erfolgreich abgeschlossen, wenn das ehemals feuchte Bauteil soweit getrocknet ist, dass es nicht mehr zu einem mikrobiellen Befall oder einer Bauteilschädigung kommen kann und das gesamte Bauteil wieder eine normale Ausgleichsfeuchte besitzt (weitere Hinweise finden sich im WTA-E-2-14, 2015. Nach erfolgreicher Trocknung soll der Zustand überprüft werden. Bei einwandfreiem baulichem und hygienischem Zustand kann mit dem Wiederaufbau (bauliche Rekonstruktion, siehe Kap. 6.4) begonnen werden.

Wie der Trocknungserfolg messtechnisch kontrolliert werden kann und wie die Messwerte zu bewerten sind, kann dem WTA-Merkblatt E-2-14, 2015 entnommen werden. Überwacht wird der Trocknungsprozess in der Praxis durch Messung der Feuchtigkeit in der zu- und abströmenden Luft. Nimmt die Trocknungsluft keine Feuchtigkeit mehr auf, ist in der Regel eine weitere Trocknung nicht sinnvoll. Es können allerdings immer Bereiche verbleiben, die vom Luftstrom des Trocknungsgerätes nicht erfasst wurden. Ob tatsächlich das Trocknungsziel erreicht wurde, kann jedoch nur durch Messung der sog. Gleichgewichtsfeuchte mittels Sonde im zu trocknenden Bauteil kontrolliert werden.

INFOBOX

Trocknungsverfahren

Mit einem **Kondensationstrockner** ist eine Entfeuchtung der Raumluft mit Hilfe einer Kältemaschine möglich: Die Raumluft wird angesaugt und durch einen kalten Wärmetauscher geleitet. Die Luft kühlt unter den Taupunkt ab, die enthaltene Luftfeuchte kondensiert teilweise am Wärmetauscher und tropft in einen Auffangbehälter oder wird über einen Schlauch abgeführt. Anschließend wird die Raumluft wieder auf ihre ursprüngliche Temperatur erwärmt. Der Raum muss dabei geschlossen bleiben.

Der **Adsorptionstrockner** entzieht der Raumluft mit einem Sorptionsrotor die Feuchtigkeit. Die Raumluft wird durch eine Trommel mit einer wabenförmigen Struktur geleitet. Diese Struktur ist mit feuchteaufnehmenden Substanzen beschichtet, die der vorbeiströmenden Luft die Feuchtigkeit entziehen. Die Trommel dreht weiter in einem (elektrisch) beheizten Bereich. Die Wärmeenergie treibt die Feuchtigkeit aus, die dann durch einen zweiten Luftstrom (Sekundärluftstrom) nach außen abgeführt wird. Daher ist eine Raumöffnung erforderlich (unter Baustellenbedingungen häufig gekipptes Fenster), so dass Außenluft nachströmt. Dadurch kann - je nach Witterungsbedingungen - die Trocknung verzögert werden.

Mit **Infrarot-Strahlern** oder **Wärmeplatten** kann eine Beschleunigung des Trocknungsprozesses in feuchten Wänden bzw. Mauerwerken mit hoher Porosität erreicht werden. Durch die abgegebene Wärmestrahlung wird die Oberfläche erhitzt und somit ein Transport der Feuchte durch Diffusion erreicht.

Trocknung von Räumen und Wänden

Räume können durch die Aufstellung von Kondensationstrocknern entfeuchtet werden. Ein schnelleren Trocknungseffekt erzielt man bei stark durchfeuchteten Wänden und Mauerwerken, wenn Verkleidungen und Putzschichten entfernt worden sind. Oft ist dies ohnehin erforderlich, wenn dieser bereits mürbe oder mikrobiell befallen ist, sich Salze ausgebildet haben oder die Oberfläche mit diffusionshemmendem Anstrichen versehen wurde. Denn hierdurch liegt eine Blockade der Feuchteabgabe vor.

Sind Wände nur partiell, auf kleineren Flächen durchfeuchtet, können diese z.B. mit Folien eingekapselt und vom restlichen Raum abgetrennt werden oder durch eine Tiefenbestrahlung ausgetrocknet werden, um die Entfeuchtung auf den Schadensbereich zu konzentrieren. Eine weitere Möglichkeit ist die gezielte lokale Bauteilerwärmung mit Infrarotstrahlen, um die Entfeuchtung auf den Schadensbereich zu konzentrieren.

Trocknung von Bodenkonstruktionen und Hohlräumen

Sind Bodenkonstruktionen ohne Trittschall- und Wärmedämmschichten, sog. Verbundestriche, stark durchnässt, kann die Feuchtigkeit nur durch Entzug über Diffusionsvorgänge erfolgen. Eine Verzögerung oder gar Verhinderung dieser Wasserdampftransportprozesse wird durch dichte Oberbeläge verursacht. Diffusionsdichte Versiegelungen, Anstriche oder verklebte Beläge (z.B. aus PVC) sind daher zuvor auszubauen bzw. zu entfernen.

INFOBOX Trocknungsverfahren Fortsetzung

Spezielle Trocknungsverfahren sind bei **Fußbodenkonstruktionen** mit darunter liegenden Hohlräumen und Dämmschichten anzuwenden. Vor Durchführung von Trocknungsmaßnahmen ist durch Öffnung der Fußbodenkonstruktion und ggf. mikrobiellen Untersuchungen an einzelnen Stellen zu prüfen, ob mit Schimmelpilzen befallene Schüttungen und Bodenfüllungen (Trittschalldämmungen etc.) entfernt werden müssen oder ob sie im Baukörper verbleiben können. Die technische Trocknung von Fußböden mit Trittschall- und Wärmedämmschichten kann mit drei Verfahren durchgeführt werden.

Beim **Druckverfahren** wird die im Bautrockner getrocknete Luft mittels eines Seitenkanalverdichters über Einblasöffnungen (z.B. über Randfugen oder Bohrungen im Estrich) unter den Estrich in die Trittschalldämmung geblasen. Die trockene Luft reichert sich mit Feuchtigkeit aus den Baumaterialien an, gelangt über Austrittsöffnungen in den Raum und muss anschließend dort abgeführt werden. Dieses Verfahren sollte nur dann eingesetzt werden, wenn die Räume nicht benutzt werden (bspw. im Rohbau).

Beim **Saugverfahren** wird die Raumluft mittels eines Adsorptionstrockners getrocknet und über die Randfugen bzw. Einblasöffnungen unter den Estrich herausgesaugt. Diese trockene Luft nimmt die Feuchtigkeit aus der Trittschalldämmung beim Hindurchströmen mit. Die in der abgesaugten Luft vorhandenen mikrobiellen Bestandteile werden direkt nach außen geleitet oder über einen nachgeschalteten Filter gefiltert.

Beim **Saug-/Druckverfahren** wird wie beim saugenden Verfahren die Luft durch Öffnungen unter dem Estrich angesaugt. Parallel dazu wird getrocknete Luft unter Druck in die Trittschalldämmung eingeblasen. Der Saug-Volumenstrom muss bei diesem Verfahren größer sein als der Druck-Volumenstrom.

Die Beseitigung von Durchfeuchtungen unter schwimmenden Estrichen oder in Hohlräumen von Bodenkonstruktionen – und dort verbauter Dämmstoffe – hat in benutzten Räumen im Saugverfahren oder im kombinierten Saug- / Druckverfahren mit Wasserabscheidung und unter Einsatz von HEPA-Filtern zu erfolgen. Dies gilt nicht nur bei Verdacht auf mikrobiellen Befall (selbst wenn sich dieser nur im Bereich der Randfugen zeigt), sondern auch um Stäube, Fasern etc. nicht an die Umgebung zu verteilen. Schimmelpilzbefall ist vor der Installation und Inbetriebnahme der Trocknungsgeräte fachgerecht zu beseitigen.

Damit keine Sporen und andere Bestandteile eines mikrobiellen Befalls in die Dämmschichten und Hohlräume eingesaugt werden, sind mikrobielle Bestandteile zunächst im Randbereich sorgfältig zu entfernen.

Nach erfolgter Trocknung sind die Fußbodenöffnungen, Einblasöffnungen und Randfugen wieder zu verschließen.

6.2.7 Feinreinigung nach der Schimmelsanierung

Durch die Schimmeldanierung werden mikrobiell belastete Stäube in die Raumluft freigesetzt, die in der Regel auch zu einer Verunreinigung der Raumbooberflächen führen. Daher ist in jedem Fall eine abschließende sorgfältige Feinreinigung durchzuführen. Ziel der Feinreinigung ist die weitestgehende Entfernung sämtlicher Feinstäube, Schimmelbestandteile und sonstiger mikrobieller Partikel, unabhängig davon, ob sie noch keimfähig oder bereits abgestorben sind. Bei einer sorgfältigen Feinreinigung ist der Einsatz von Bioziden nicht erforderlich, da die Schimmelbestandteile mechanisch entfernt werden.

Eine Feinreinigung der Oberflächen ist nach den eigentlichen Schimmelsanierungsarbeiten vor dem Wiederaufbau erforderlich.

Abschottungen, Zugangsbereiche (z.B. Personenschleusen) und ggf. angrenzende Bereiche sind hierbei zu berücksichtigen. Ziel der Feinreinigung ist die weitestgehende Entfernung sämtlicher Feinstäube, Schimmelbestandteile und sonstiger mikrobieller Partikel, unabhängig davon, ob die Mikroorganismen noch lebensfähig oder bereits abgestorben sind.

Überzogene Maßnahmen sind dabei zu vermeiden. In der Praxis werden als "Feinreinigung" häufig sehr kostenintensive Maßnahmen angeboten, die in der Regel weit über das Ziel hinausgehen. Im Zweifelsfall sollten die Angebote durch erfahrene und qualifizierte Sachverständige geprüft werden.

Eine nochmalige Feinreinigung nach dem Wiederaufbau ist nur dann erforderlich, wenn mit mikrobiellen Partikeln verunreinigte Gegenstände wie Möbel oder Bücher oder bspw. verunreinigter Baustaub in die Räume eingebracht wurden (siehe Kap. 6.4).

Vom Einsatz von Bioziden zum Abtöten der Mikroorganismen vor dem Rückbau oder vor der Feinreinigung sowie von der Vernebelung Biozid-wirksamer Mittel zur Behandlung der Raumluft **ist abzuraten**. Nur in speziellen und begründeten Sonderfällen kann die Verwendung von Bioziden sinnvoll sein (siehe Kap. 6.3).

Wichtig ist die Ausrüstung des verwendeten Staubsaugers mit einem hochabscheidenden Filter, damit die aufgenommenen Feinstäube, Partikel und Schimmelpilzsporen nicht wieder aus dem Gerät entweichen können. Diese Sicherheitssauger entsprechen der DIN EN 60335-2-69.

Wichtige Aspekte für eine erfolgreiche Feinreinigung sind:

- Es ist darauf zu achten, dass die Feinreinigung vor Abbau der Abschottungen und Schleusen erfolgt und diese Schutzvorrichtungen ebenfalls, am besten durch feuchtes Abwischen (durch die statische Aufladung von Folien besteht die Möglichkeit einer Anhaftung mikrobiell belasteter Stäube), mit gereinigt werden. Erst nach erfolgreicher Feinreinigung sollen installierte Abschottungen gegen unbelastete Bereiche demontiert werden.
- Zur Reinigung aller glatten Oberflächen (z. B. Fenster, Türen, etc.) ist ein feuchtes Abwischen mit mehrfach frisch ausgetauschtem Wasser und unter Zusatz einer Seifenlauge bzw. eines Haushaltsreinigers durchzuführen.

- Alle übrigen Raumboflächen (Böden, Decken, Wände, Fugen, etc.) sind mit einem Industriestaubsauger der Staubklasse H mehrfach abzusaugen. Dies geschieht am effektivsten durch erstes Absaugen aller horizontalen Oberflächen (Böden), sowie im Anschluss aller Oberflächen von oben nach unten (Decken, Wände und nochmals der Böden) und in Richtung der Zugangsbereiche bzw. mit dem Luftstrom.
- Bei der Feinreinigung nach der Entfernung des befallenen Materials ist zwar sorgfältig zu arbeiten, aber überzogene Maßnahmen sind zu vermeiden. In der Praxis werden häufig sehr kostenintensive Maßnahmen angeboten, die in der Regel weit über das Ziel hinausgehen. Im Zweifelsfall sollten die Angebote durch erfahrene und qualifizierte Sachverständige geprüft werden. Die Entfernung staubförmiger lose anhaftender Ablagerungen von Oberflächen erfordert die empfohlenen Maßnahmen, wie feucht Abwischen und gründlich Absaugen in der richtigen Reihenfolge. Zu sehr guten Ergebnissen gelangt man bei großen Schäden wenn während der Feinreinigung Restaufwirbelungen mittels Lüften, Unterdruckanlage, in Sonderfällen auch mit Hochleistungs-Luftreinigern reduziert wird. Jedoch sind darüber hinaus gehende Maßnahmen wie zusätzliche Biozid-Vernebelung oder Flächendesinfektion, wie auch der Einsatz spezieller Techniken zur Oberflächenbehandlung nicht notwendig.

6.2.8 Kontrolle des Sanierungserfolges, Abnahme des Bauwerks

Nach Abschluss der Schimmelsanierungsarbeiten sollte vor Abbau von Staubschutzwänden, Schleusen und anderen Abschottungen der Erfolg der Maßnahmen kontrolliert und dokumentiert werden.

Die erfolgreiche Ursachenbeseitigung muss durch Inspektion festgestellt werden, ggf. begleitet mit speziellen Messungen. Je nach Ursache sind entsprechende Fachleute hinzuzuziehen, die in der Lage sind, das Werk fachmännisch zu überprüfen, wie erfolgte Abdichtungen im Gebäude, neu installierte Wärmedämmung, das Instandsetzen von Rohrleitungen, Dächern, Fassaden etc..

War die technische Trocknung eine im Rahmen der Sanierung zu erbringende Leistung, sind qualifizierte Messungen zur Feststellung des Trocknungsergebnisses durchzuführen, zu bewerten und zu dokumentieren, siehe hierzu Vorgaben im WTA-Merkblatt 2016).

Der Materialrückbau kann nur durch Inaugenscheinnahme kontrolliert werden. Es kann nach der Sanierung zur Überprüfung der beauftragten Leistung nicht das Schadensausmaß ermittelt werden; dieses muss vor Beginn, spätestens während der Schimmelsanierungsarbeiten geschehen. Kontrolliert werden muss, ob der ausführende Sanierungsfachbetrieb das Material laut Auftrag demontiert hat, z.B.: Wurde der Wandputz bis zu einer bestimmten Höhe abgetragen? Wurden alle Reste der befallenen Gipskartonplatten in einem Raum komplett begutachtet und entfernt? Wurde die Tapete von der Außenwand entfernt? Zeigt sich nach Rückbau, dass der Schaden über das im Auftrag vereinbarte Maß hinausgeht, ist der Auftrag entsprechend zu erweitern (sog. Nachtragsauftrag).

Fachlich anspruchsvoll ist insbesondere die Aufgabe, die erfolgreiche Feinreinigung zu kontrollieren und zu dokumentieren. Materialproben auf Mikroorganismen zu analysieren ist keine Option, da das befallene Material vor der Reinigung demontiert wurde und deshalb kein befallenes Material mehr vorhanden sein darf.

Oberflächenproben mittels Abklatschplatten oder Folienkontaktproben erfassen jeweils nur einen sehr geringen Teil der zu reinigenden Flächen. Für eine repräsentative Aussage wären viele Stellen zu beproben, was aus wirtschaftlicher Sicht jedoch meist nicht möglich ist.

Bewährt hat sich in der Praxis bei nicht geringfügigen Schäden daher folgende Vorgehensweise:

- Zunächst eine optische Kontrolle unterstützt mit Wischproben (Stoffhandschuh, Wischtuch), um zu prüfen, ob noch relevante Staubablagerungen vorhanden sind.
- Ergibt die optische Kontrolle, dass noch nennenswerte Staubablagerungen vorhanden sind, muss nochmals gereinigt werden. Sind keine auffälligen Staubablagerungen erkennbar, wird eine Gesamtsporenmessung nach DIN ISO 16000 Teil 20 durch unabhängige, dazu befugte Institutionen durchgeführt (frühestens 12 Stunden, maximal 48 Stunden nach Beendigung der Feinreinigung).
- Nach der Luftmessung im „Ruhezustand“ werden die Oberflächen mit einem Ventilator angeblasen und hierdurch sedimentierte Sporen mobilisiert, d.h. in die Raumluft transportiert. Nach einer Wartezeit von 10 Minuten wird erneut eine Gesamtsporenmessung der Raumluft durchgeführt.
- Vorteile der Gesamtsporenmessung vor und nach Mobilisierung ist, dass die Ergebnisse nach wenigen Tagen vorliegen, die vorhandenen Staubablagerungen flächig erfasst und Störungen durch andere Parameter erkannt werden können.
- Ziel der Bewertung der Gesamtsporenmessungen als Kontrolle der Feinreinigung ist es nicht, völlig „schimmelpilzfreie“ Räume oder Gebäudeteile herzustellen. Nach Rückbau des Schadens an sich soll nach Feinreinigung eine nicht maßgeblich über die gewöhnliche Hintergrundkonzentration hinausgehende Raumluftbelastung vorliegen und gleichzeitig eine im Bereich der Hintergrundbelastung liegende Verunreinigung von Oberflächen mit sedimentierten mikrobiellen Partikeln.

Detaillierte Angaben, wie die Messungen durchzuführen sind, wann Außenluftmessungen sinnvoll sind und wie die Messergebnisse zu bewerten sind, sind im WTA-Merkblatt „Ziele und Kontrolle von Schimmelsanierungen in Innenräumen“, WTA 2016 zu entnehmen. Messungen sind durch qualifizierte Untersuchungseinrichtungen durchzuführen (siehe Kap. 5.1.3.1).

Die skizzierte Vorgangsweise gibt Hinweise zur Konzentration mikrobieller Bestandteile auf den sichtbaren Oberflächen nach den Schimmelsanierungsmaßnahmen. Allfällig noch vorhandener verdeckter Schimmel bzw. neuerliche Einträge von mikrobiellen Partikeln beim Wiederaufbau können auch mit dieser Methode nicht erfasst werden.

Grundsätzlich empfiehlt es sich, bei der Beauftragung von Firmen die konkreten Sanierungsschritte und -ziele vorher schriftlich zu vereinbaren.

Dann kann nach Beendigung der Schimmelsanierungsarbeiten im Zuge des Rückbaus – und ggf. auch für Zwischenschritte vor dem Wiederaufbau – das Erreichen dieser Ziele überprüft werden. Missverständnisse und Meinungsverschiedenheiten bei der Abnahme der Sanierung werden bei schriftlicher Fixierung der zu erreichenden Ziele vermieden.

6.3 Biozideinsatz

Bei den nachstehenden Empfehlungen geht es nicht um Desinfektionsmaßnahmen zur Verhinderung einer Infektionsgefahr bei schwer immunsupprimierten Patienten wie z.B. in Krankenhäusern. In dortigen Fällen müssen von entsprechenden Experten Produkte, Handlungsanweisungen oder Technologien angewendet werden, die nachweislich die dort auftretenden Krankheitserreger (z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Nocardia* spp., *Nocardiosis*) ausreichend reduzieren. Bei Schimmelbefall stehen andere Aspekte im Vordergrund.

Wirksamkeit von Bioziden bei Schimmelsanierungen:

Es gibt nur wenige systematische Arbeiten zur Wirkung von Bioziden bei Schimmelbefall auf Baumaterialien und es gibt nur einige meist nicht firmenunabhängige Praxisberichte. Die wenigen unabhängigen Studien zeigen, dass unter praxisnahen Bedingungen in den meisten Fällen keine oder keine nachhaltige Wirkung durch Biozidbehandlung erreicht werden kann. Abhängig von der Schimmelpilz- bzw. Bakterienart, des Mediums bzw. Baustoffes sowie Faktoren wie Feuchtegehalt und Temperatur können bestimmte biozide Stoffe das Wachstum verlangsamen oder reduzieren. Es ist den vorliegenden Studien allerdings auch zu entnehmen, dass eine signifikante Reduktion der Biomasse in der Regel nicht zu erwarten ist. Eine Ausnahme stellt Wasserstoffperoxid (H₂O₂) in hohen Konzentrationen (> 10 %) dar. Dessen Einsatz bei Schimmelwachstum ist jedoch auf Grund der stark oxidierenden Wirkung beschränkt.

Biozidbehandlung bei der Sanierung nicht erwünscht:

Bei Sanierung von mikrobiellen Schäden ist eine Biozidbehandlung grundsätzlich nicht erwünscht und überdies ungeeignet im Sinne einer fachkundigen Beseitigung der Biomasse und der Sanierung der mikrobiellen Schäden

Eine biozide Behandlung ist keinesfalls sinnvoll:

- a) bei stärkerem Befall des Baumaterials, da durch biozide Behandlung bestenfalls die Konzentration an koloniebildenden Einheiten sinkt, jedoch nicht die Biomasse und möglicherweise auch nicht die Aktivität
- b) bei sichtbarem Befall an Oberflächen, der sofort entfernt werden kann
- c) als „Foggingmethode“ (Vernebeln von Wirkstoffen in die Raumluft) vor, nach oder statt einer Sanierung oder Reinigung.
- d) als Zusatz von Wandbeschichtungen nach einer Trocknung (schimmelhemmende Wandfarben)

Biozidbehandlung akzeptabel:

Geringfügige Schäden (kleine Schimmelflecken in der Wandecke) können durch die Anwendung im Handel erhältlicher alkoholischer Präparate oder handelsüblicher, sich sofort abbauender Reinigungsmittel (bspw. auf Basis von H_2O_2) entfernt werden (siehe Kap. 6.1.1). Treten diese Schäden immer wieder und an den gleichen Stellen auf, sollte eine Ursachensuche durch Fachleute erfolgen.

Bei vermutetem Befall zur Verzögerung oder Verlangsamung des Wachstums an schwer zugänglichen Oberflächen in Fußboden- oder Deckenkonstruktionen ist eine biozide Behandlung durch sofort abbauende Präparate im Einzelfall akzeptabel, wenn das Baumaterial voraussichtlich nicht entfernt werden kann oder soll und wenn eine schnelle Trocknung nicht möglich ist.

Als Grundlage für eine Entscheidung bietet sich eine Untersuchung der nicht zugänglichen Oberflächen an. In jedem Fall sind die Vor- und Nachteile einer Biozidbehandlung unter Berücksichtigung der Kosten für eine komplette Entfernung abzuwägen.

Für eine Biozidbehandlung im Einzelfall spricht:

- a) Der Bauteil darf aus Gründen des Denkmalschutzes oder aus sicherheitsrelevanten Gründen nicht ausgetauscht werden
- b) Die Feuchteursache kann nicht (sicher) sofort beseitigt werden

Gegen eine Biozidbehandlung spricht:

- a) Das Material kann leicht entfernt werden
- b) Eine zeitnahe Trocknung ist möglich
- c) Es werden nicht alle Bereich des Bauteiles von der Behandlung erreicht (fachkundige Inspektion ist im Vorfeld erforderlich)
- d) Die Materialbeständigkeit gegen die Biozide ist nicht (sicher) gegeben
- e) Es ist nicht möglich, den Erfolg der Maßnahme ausreichend sicher zu kontrollieren

Grundsätzlich ist die Effizienz von anzuwendenden Methoden durch unabhängige Untersuchungen zu belegen, die eingesetzten Präparate benötigen eine Zulassung nach der Biozidprodukte-Verordnung.

Eine Biozidbehandlung (oft fälschlicherweise "Desinfektion" genannt) befallener Flächen vor Umbau- oder Abbrucharbeiten durch Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Fruchtsäurepräparate oder ähnliches, wie sie häufig als "wirksame Sanierungsmethode" angeboten wird, ist nicht erforderlich und führt mitunter zu vermeidbaren Gerüchen.

Saure Mittel wie Essigessenz töten grundsätzlich zwar ebenfalls den Schimmel ab. Allerdings kann es auf mineralischen Flächen zu einer chemischen Neutralisation des Essigs mit dem Kalkputz kommen, wodurch sich der pH-Wert erhöht und die Resistenz gegenüber Schimmelpilzbefall deutlich reduziert wird. Im Einzelfall kann das Schimmelpilzwachstum dadurch sogar gefördert werden, weil die neutralisierte Essiglösung als Nährsubstrat wirkt. Von der Verwendung von Essiglösungen ist daher bei Mauerwerk abzuraten.

Anwendung von Bioziden bei Schimmelwachstum

Bei Sanierung von mikrobiellen Schäden ist eine Biozidbehandlung grundsätzlich nicht erwünscht und ungeeignet im Sinne einer fachkundigen Beseitigung der Biomasse und der Sanierung der Schadensursache.

Geringfügige Schäden (z.B. kleine Schimmelflecken in der Wandecke) können durch die Anwendung im Handel erhältlicher alkoholischer Präparate entfernt werden.

Im Einzelfall kann eine biozide Behandlung bei vermutetem Befall zur Verzögerung oder Verlangsamung des Wachstums an nicht zugänglichen Oberflächen in Fußboden- oder Deckenkonstruktionen **akzeptabel sein**, wenn das Baumaterial voraussichtlich nicht sofort entfernt oder getrocknet werden kann.

„Foggen“ (= Vernebeln von Wirkstoffen in die Raumluft) ist in keinem Fall akzeptabel und sollte vermieden werden.

6.4 Bauliche Rekonstruktion nach der Schimmelsanierung

Die durch den Befall oder durch die Schimmelsanierung beschädigten Oberflächen oder Bauteile sind anschließend wieder herzustellen. Dies kann nach Abschluss der Schimmelschadenssanierung und Freigabe unter „normalen“ Bedingungen ohne besondere Schutzmaßnahmen durch Handwerker entsprechender Gewerke erfolgen. Der Wiederaufbau des Objektes sollte unter Beachtung der spezifischen Gegebenheiten so erfolgen, dass ein erneutes Schimmelwachstum vermieden wird. Zur Vermeidung von erneutem Schimmelbefall sind die entsprechenden Baustoffe und Baukonstruktionen, sowie die fachgerechte Bauausführung von großer Bedeutung.

Die Auswahl der verwendeten Baumaterialien spielt eine wichtige Rolle, da dies die Gefahr einer erneuten Schimmelbildung flankierend unterbinden kann (z.B. durch Einsatz von feuchtepuffernden Materialien in Bereichen mit kurzzeitigen Feuchtespitzen (vgl. Kap. 4).

Spezielle Anstriche und Putze:

Da Schimmelpilze bevorzugt in einem bestimmten pH-Bereich wachsen (siehe Kap. 1), kann man durch Silikatfarben, Kalkanstriche und Kalkputze oder andere mineralische Anstriche mit hohem pH-Wert (> 11) erneutem Schimmelbefall vorbeugen, zumindest das Wachstum deutlich hemmen. Der pH-Wert wird dabei so weit in den alkalischen Bereich verschoben, dass ein erneutes Keimwachstum an der Oberfläche reduziert oder sogar unterbunden wird. Allerdings hält diese Wirkung nicht für immer an; Kalkanstriche z.B. müssen bei starkem Feuchteanfall (bspw. im Keller) regelmäßig erneuert werden, u.a. weil sich der pH-Wert durch Neutralisationsreaktionen allmählich verändern kann und Schimmelbefall auf der sich bildenden Staubschicht entsteht. Ein Nachteil von reinen Kalkanstrichen ist zudem, dass diese Farben oft nicht wisch- und abriebfest sind. Besser sind Silikatfarben, die ähnlich wie Kalkfarben durch einen hohen pH-Wert ein erneutes Keimwachstum unterbinden können. In jedem Fall ist abzuklären, ob der Untergrund für die jeweilige Anwendung geeignet ist.

Bei Innenwanddämmungen haben sich dampfdurchlässige Materialien (zum Teil mit hoher Schichtdicke) bewährt, die einen nicht zu vernachlässigenden Dämmeffekt erzielen und selbst auf Grund ihrer hohen Alkalität nicht von Schimmel befallen werden können (bspw. Calcium-Silikatplatten).

Für alle Neuentwicklungen ist es wichtig, dass die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der vorgegebenen Eignung der Materialien, Mittel und Verfahren wissenschaftlich und im praktischen Einsatz belegt ist. Das Einsatzgebiet muss eindeutig beschrieben werden. Konkrete Anwendungsvorschriften sowie Sicherheitsdatenblätter und Betriebsanweisungen müssen vorliegen.

Bevor möglicherweise neu verputzte Bauteile wieder tapeziert bzw. gestrichen werden, ist darauf zu achten, dass sie zuvor vollständig durchgetrocknet sind. Ebenso ist bei Einbringen neuer Estriche etc. darauf zu achten, dass keine Restbaufeuchte mehr im Estrich und Gebäude verbleibt.

Eine häufig gewählte Alternative zur Entfernung von Estrichen (siehe Kap. 6.2.6) ist die sog. Randfugensanierung mit Entfernen des Randstreifens, biozider Behandlung und Abdichten der Fuge. Sehr selten werden Schäden mit Diffusionsbremsen (Kunststofffolien) oder Diffusionssperren (Alu-Folie) abgeschottet. Eine Randfugensanierung ist dann sinnvoll, wenn tatsächlich nur der Randbereich mikrobiell befallen war oder der Befall in der Bodenkonstruktion sich als nicht gravierend herausstellt, was insbesondere bei Schäden aufgrund von Neubaurestfeuchte sehr häufig der Fall ist.

Erwägt man den Einbau einer dauerhaft dichten Abschottung, muss der Sachverständige folgende Aspekte prüfen und bei der Planung berücksichtigen:

- Es ist sicher zu stellen, dass die Abschottung inklusive Randabdichtung komplett und dauerhaft dicht ausgeführt wird.
- Es darf sich keine neuerliche Feuchtigkeit im abgeschotteten Bereich bilden.
- Bei einer wasserdampfdichten Abschottung kann es sich um einen Eingriff in die Bauphysik des Gebäudes handeln. Es ist zu prüfen, ob dies zu anderen Nachteilen bezüglich Raumklima, Material-Pufferverhalten oder Kondensations-effekten führt.
- Es ist sicherzustellen, dass bei späteren handwerklichen Arbeiten das mikrobiell belastete Bauteil nicht unbedacht geöffnet wird, sondern die ausführenden Handwerker informiert werden, damit diese die gebotene Gefährdungsbeurteilung vornehmen können.
- Der Eigentümer sollte aufgeklärt werden, welche Risiken auch bei mangelfreier Ausführung der Abschottung bestehen.

6.5 Maßnahmen nach Abschluss aller Arbeiten

Durch Einbringen mikrobiell verunreinigter Einrichtungsgegenstände und anderen Gegenständen (bspw. Bücher) oder aber durch unzureichende Abschottungen kann es in der Praxis nach dem Wiederaufbau zu einer zum Teil nicht unbeträchtlichen Verunreinigung der von Schäden betroffenen Räume bzw. auch von benachbarten Bereichen durch mikrobiell belastete Stäube kommen, die mittels einer Feinreinigung entfernt werden sollten. Eine Feinreinigung ist auch dann durchzuführen, wenn die

Baustelle – wie dies in der Praxis häufig vorkommt – nach der eigentlichen Schimmelschadenssanierung nicht speziell gereinigt wurde.

Es ist allerdings zu bedenken, dass grundsätzlich nur ein weitgehendes Entfernen von Stäuben möglich ist – überzogene Reinigungsmaßnahmen, eine Luftwäsche oder der Einsatz von Bioziden sind nicht erforderlich bzw. zu vermeiden. Ein "keimfreier" Innenraum ist weder erwünscht noch möglich, da schon allein durch ein kurzes Öffnen der Fenster Pilzsporen von außen in den Raum eintreten können.

Um gegebenenfalls vorhandene abgelagerte, mikrobiell belastete Stäube und Partikel nach Abschluss aller Arbeiten effizient zu entfernen, wird abhängig von der jeweiligen Oberfläche folgende Vorgangsweise für die Feinreinigung empfohlen:

- Zur Reinigung aller glatten Oberflächen (z. B. Fenster, Türen, etc.) ist ein feuchtes Abwischen mit mehrfach frisch ausgetauschtem Wasser und unter Zusatz einer Seifenlauge bzw. eines Haushaltsreinigers durchzuführen. Es ist darauf zu achten, dass auch nicht sichtbare Flächen (beispielsweise das schmale Band an der Oberseite der Türzarge, die Oberseite von Kästen, die Innenseite von Lampenschirmen etc.) gründlich gereinigt werden.
- Alle übrigen Raumbooberflächen (Böden, Decken, Wände, Fugen, etc.) sind mit einem Industriestaubsauger der Staubklasse H mehrfach abzusaugen. Dies geschieht am effektivsten durch erstes Absaugen aller horizontalen Oberflächen (Böden), sowie im Anschluss aller Oberflächen von oben nach unten (Decken, Wände und nochmals der Böden) und in Richtung der Zugangsbereiche.
- Alle im Raum gelagerten, vorhandenen oder eingebrachten Gegenstände, die eventuell verunreinigt sein könnten, sind ebenfalls mit einer geeigneten Methode zu reinigen und von Stäuben zu befreien. Dies umfasst auch Gegenstände in Kästen oder Regalen (z.B. Bücher, Broschüren, elektronische Geräte). Allfällig ausgenommen sind davon nur Gegenstände, die sich in luftdicht schließenden Behältnissen befinden.
- In den Raum eingebrachte, lediglich verunreinigte Textilien wie bspw. Vorhänge, Sofabezüge oder Wäsche können auf übliche Weise gewaschen oder chemisch gereinigt werden. Bei direktem Befall oder schimmeltypischen Gerüchen ist die Entsorgung anzuraten.
- Eine zusätzliche Reinigung der Raumluft mit elektrischen Raumluft-Reinigungsgeräten ist nicht erforderlich, da bei einer wirkungsvollen Feinreinigung die relevanten abgelagerten, mikrobiell oder mit Schadstoffen belasteten Stäube und Partikel erfasst werden.
- Nach Abschluss aller Arbeiten und gegebenenfalls Einbringen aller (Einrichtungs)Gegenstände kann, sollte dies nicht schon nach Abschluss der Schimmelsanierungsarbeiten erfolgt sein, nach der Feinreinigung und einer Wartezeit von einigen Tagen eine Luftmessung durch qualifizierte Untersuchungseinrichtungen erfolgen (siehe Kap. 5.1.3). In die Untersuchung können gegebenenfalls auch angrenzende Gebäudebereiche mit einbezogen werden. Dadurch kann festgestellt werden, ob durch ein (Wieder)Einbringen von Stäuben im Zuge der letzten Phasen der Sanierung eine erhöhte Schimmelsporenkonzentration entstanden ist. Ist dies der Fall, müssen die Räume nochmals feingereinigt werden.

- Ziel der Luftsporenmessungen als Kontrolle der Reinigungseffektivität ist es nicht, völlig „schimmelpilzfreie“ Räume oder Gebäudeteile herzustellen. Nach Beendigung der Sanierung soll nach Reinigung eine nicht maßgeblich über die gewöhnliche Hintergrundkonzentration hinausgehende Raumluftbelastung vorliegen.

Eine Feinreinigung nach Abschluss aller Arbeiten erscheint nicht in allen Fällen erforderlich, bspw. bei kleineren Schäden oder wenn ein Raum schon nach dem Rückbau gereinigt und dies durch unabhängige Messungen überprüft wurde.