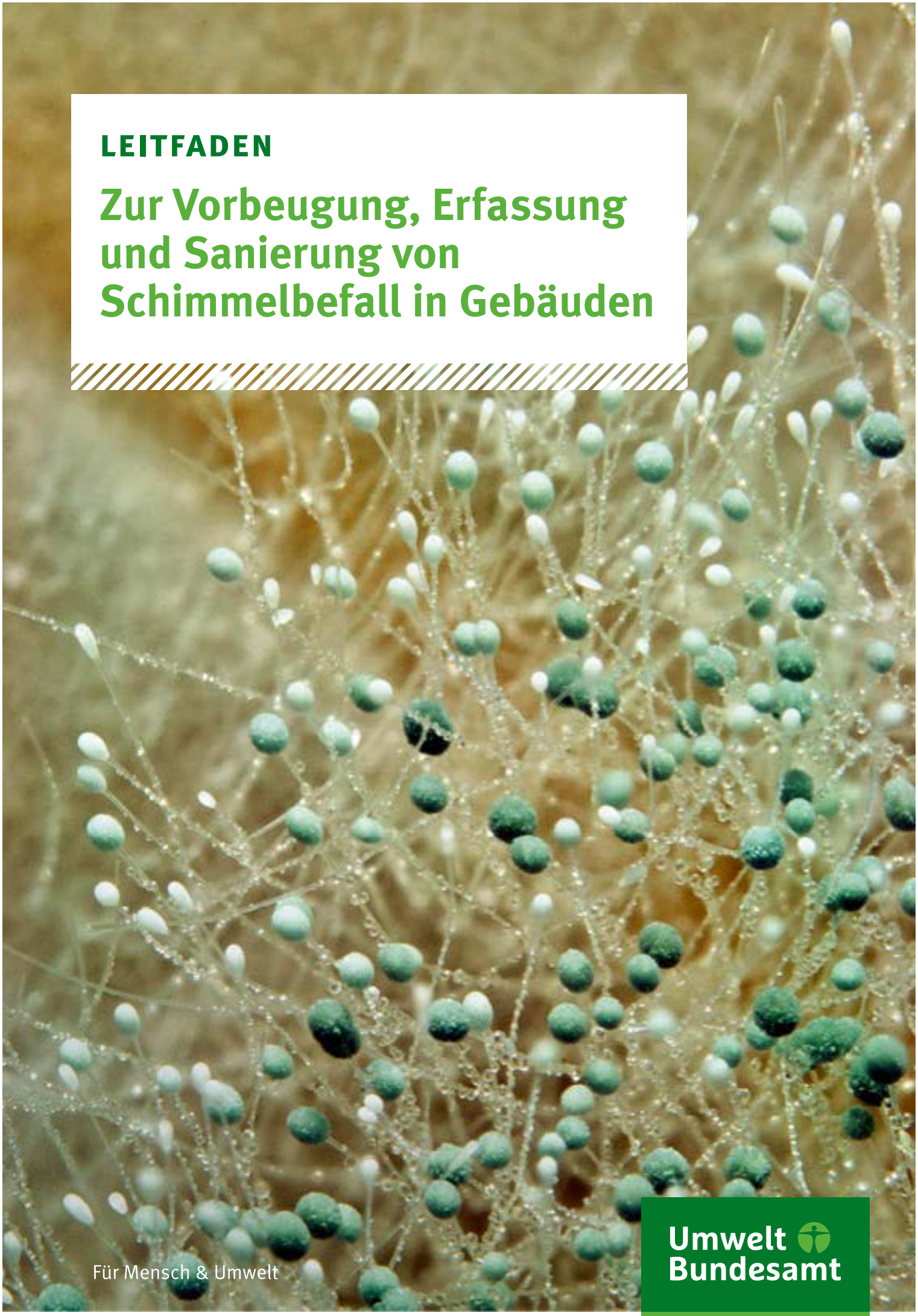


LEITFADEN

Zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

Impressum

Herausgeber und Redaktion:
Umweltbundesamt
Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

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

Satz und Layout:
Atelier Hauer + Dörfler GmbH, Berlin

Druck:
gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Broschüren bestellen:
Umweltbundesamt
c/o GVP
Postfach 30 03 61 | 53183 Bonn
Service-Telefon: +49 340 2103-6688
Service-Fax: +49 340 2104-6688
E-Mail: uba@broschuerenversand.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Publikationen als pdf:
www.umweltbundesamt.de/publikationen

Diese Publikation ist kostenfrei zu beziehen beim Umweltbundesamt. Der Weiterverkauf ist untersagt. Bei Zuwiderhandlung wird eine Schutzgebühr von 15 Euro/Stück erhoben.

Bildquellen:
Titelbild + S. 7: Moriske, Umweltbundesamt; S. 12, 22, 25: Szewzyk, Umweltbundesamt; S. 34 + 60: Trautmann, Umweltmykologie GmbH, Berlin; S. 36, 46, 68, 75, 76, 87, 88: shutterstock; S. 40, 122, 131, 140, 142, 145: Betz, Sachverständigenbüro für Gebäude- und Innenraumanalytik, Hellertshausen; S. 61: Valtanen, Umweltbundesamt; S. 100: Schmidt, Umweltbundesamt; S. 103 + 105: Larisch, RAUM analytik; S. 112 + 117: Szewzyk, Umweltbundesamt

Stand: November 2017

ISSN 2363-8311

LEITFADEN

Zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden

ERSTELLT DURCH DIE INNENRAUMLUFTHYGIENE-KOMMISSION DES UMWELTBUNDESAMTES

Andrea Bonner, BG Bau – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Prävention DGUV, Karlsruhe

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. Kerstin Etzenbach-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

Dr. Lothar Grün, c/o Luftqualität und Raumklima, Köln

Prof. Dr. Barbara Hoffmann, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Prof. Dr. Caroline Herr, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, München

Dr. Oliver Jann, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

PD Dr. Rudolf Jörres, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ludwig-Maximilian-Universität 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, Berlin

Dr. Frederike Neisel, Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR), Berlin

Prof. Dr. Tunga Salthammer, Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig (IRK-Vorsitz)

Dr. Helmut Sagunski, a.D. ehemals 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)

Dr. Jörg Thumulla, anbus analytik, Gesellschaft für Gebäudediagnostik, Umweltanalytik und Umweltkommunikation, Fürth

ALS WEITERE SACHVERSTÄNDIGE HABEN MITGEWIRKT

Stefan Betz, Sachverständigenbüro für Gebäude- und Innenraumanalytik, Hellertshausen

Dr. Thomas Gabrio, a.D. ehemals Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. Andrea Groß, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg/Breisgau

Dr. Bernd Hoffmann, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Dr. Heinz-Jörn Moriske, Umweltbundesamt, Berlin (IRK-Geschäftsführung)

Uwe Münzenberg, Berufsverband Deutscher Baubiologen, Jesteburg

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 GmbH, 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

Inhalt

Einleitung ... 7

1 Schimmel, Schimmelbefall und Schimmelpilze ... 12
1.1 Schimmelbefall ... 15
1.2 Schimmelpilze ... 18
1.2.1 Eigenschaften von Schimmelpilzen ... *19*
1.2.2 Schimmelpilze in Innenräumen ... *21*
1.2.3 Faktoren, die das Wachstum von Schimmelpilzen beeinflussen ... *23*
1.3 Hefen ... 31
1.4 Bakterien und Aktinobakterien ... 32
1.4.1. Eigenschaften von Aktinobakterien ... *32*
1.4.2 Nachweis und Identifizierung von Aktinomyzeten ... *35*
1.4.2 Nachweis und Identifizierung von Aktinomyzeten ... *35*

2 Wirkungen von Schimmel in Innenräumen auf die Gesundheit des Menschen ... 36
2.1 Allergische Reaktionen ... 41
2.2 Reizende, toxische und geruchliche Wirkungen ... 43
2.3 Infektionen ... 45

3 Ursachen für Schimmelbefall in Gebäuden ... 46
3.1 Bauliche, nutzungsbedingte und sonstige Einflussgrößen ... 47
3.1.1 Unzureichende Wärmedämmung ... *49*
3.1.2 Wärmebrücken ... *50*
3.1.3 Erhöhte Wärmeübergangswiderstände ... *51*
3.1.4 Unzureichende oder unsachgemäße Beheizung ... *53*
3.1.5 Erhöhte Feuchteproduktion im Innenraum ... *54*
3.1.6 Unzureichendes oder unsachgemäßes Lüften ... *56*
3.1.7 Feuchtepufferung der Baumaterialien ... *58*
3.1.8 Feuchte in der Baukonstruktion durch Leckagen und aufsteigende Feuchte ... *60*
3.1.9 Baufeuchte ... *61*
3.1.10 Hochwasserschäden ... *61*
3.2 Feuchteschäden durch unsachgemäße energetische Modernisierung ... 62
3.2.1 Einbau dichter Fenster in unzureichend gedämmten Altbauten ... *64*
3.2.2 Falsch ausgeführte Innendämmungen ... *64*
3.2.3 Unsachgemäß ausgeführte Abdichtungen bei energieeffizient ausgeführten Gebäuden ... *67*
3.3 Ermittlung der Befallsursachen ... 67

4 Vorbeugende Maßnahmen gegen Schimmelbefall ... **68**
4.1 Vorbeugende bauliche Maßnahmen ... 69
4.1.1 Vermeidung von Schimmelbefall durch Baufeuchte ... *70*
4.1.2 Vermeidung von feuchten Baumaterialien ... *71*
4.1.3 Vermeidung von Feuchte und Schimmel bei Umbaumaßnahmen ... *72*
4.1.4 Überprüfung von Gebäuden im Alltagsbetrieb ... *73*
4.2 Richtiges Lüften ... *74*
4.3 Möglichkeiten der Lüftung ... *77*
4.3.1 Freie Lüftung ... *77*
4.3.2 Einfache mechanische Lüftungseinrichtungen ... *79*
4.3.3 Raumlufttechnische Anlagen mit Zu- und Abluftführung ... *82*
4.3.4 Erdwärmetauscher ... *85*
4.3.5 Wartung technischer Lüftungseinrichtungen ... *86*
4.4 Richtiges Heizen ... 87

5 Schimmelbefall erkennen, erfassen und bewerten ... **88**
5.1 Ortsbegehung und Schadenserfassung ... 90
5.1.1 Durchführung der Ortsbegehung ... *91*
5.1.2 Weiterführende Untersuchungen ... *94*
5.1.3 Qualitätssicherung ... *107*
5.2 Bewertung der Ergebnisse ... 110
5.2.1 Bewertung bei sichtbarem Schimmelbefall ... *112*
5.2.2 Bewertung von Materialproben ... *114*
5.2.3 Bewertung von Luftproben ... *115*
5.3 Gutachten ... 120

6 Maßnahmen im Schadensfall ... **122**
6.1 Nutzungsklassen ... 123
6.1.1 Nutzungsklasse I ... *124*
6.1.2 Nutzungsklasse II ... *124*
6.1.3 Nutzungsklasse III ... *124*
6.1.4 Nutzungsklasse IV ... *124*
6.2 Sanierung eines kleinen Schimmelbefalls ... 126
6.2.1 Maßnahmen durch den Raumnutzer ... *126*
6.2.2 Maßnahmen durch Fachfirmen ... *127*
6.3 Sanierung eines großen Schimmelbefalls ... 130
6.3.1 Arbeitsschutz ... *131*
6.3.2 Sofortmaßnahmen ... *134*
6.3.3 Erfassung des Schadensausmaßes ... *135*
6.3.4 Beseitigung der Schadensursachen ... *135*
6.3.5 Entfernung befallener Materialien ... *138*
6.3.6 Trocknungsmaßnahmen ... *141*
6.3.7 Reinigung nach Rückbau ... *144*
6.3.8 Kontrolle des Sanierungs- und Reinigungserfolgs ... *145*

6.4 Biozideinsatz ... 147
6.4.1 Wirksamkeit von Bioziden bei Schimmelbefall ... 147
6.4.2 Einsatz von Bioziden bei Schimmelbefall ... 148
6.5 Bauliche Rekonstruktion nach dem Rückbau ... 150
6.6 Maßnahmen nach Abschluss aller Arbeiten ... 151

A Anlagen ... 152
ANLAGE 1
Beispiele aktueller Änderungen in der Nomenklatur für innenraumrelevante Schimmelpilze ... 153
ANLAGE 2
Molekularbiologische Techniken zur Identifizierung von Schimmelpilzen ... 154
ANLAGE 3
Übersicht über die Ermittlung der Schadensursachen bei Schimmelbelfall ... 155
ANLAGE 4
Normen, technische Merkblätter und Richtlinien zu Feuchte und Schimmel (Auszug) ... 156
ANLAGE 5
Mineralagar nach Gauze für die Anzucht von Aktinomyzeten ... 158
ANLAGE 6
Handlungsempfehlung zur Beurteilung von Feuchte- und Schimmelschäden in Fußböden ... 159
ANLAGE 7
Orientierungskonzentrationen kultivierbarer Schimmelpilze ... 180
ANLAGE 8
Orientierungskonzentrationen für die Gesamtsporenzahl ... 184
Glossar ... 185

E

Einleitung

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

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 dichter; mithin wuchs die Gefahr von Feuchteanreicherung und damit für Schimmelwachstum durch unsachgemäßes oder unzureichendes Lüften. Eine Aktualisierung der Aussagen und Empfehlungen im Hinblick auf den Gebäudebestand und auch zu den Vor- und Nachteilen lüftungstechnischer Einrichtungen im Zusammenhang mit dem Entstehen von Schimmelbefall insbesondere in energiebedarfsarmen Gebäuden wurde notwendig. Die Methoden zur Erfassung und Bewertung bei Schimmelbefall wurden den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen angepasst.

Im Leitfaden werden nicht nur die anerkannten Regeln der Technik beschrieben, sondern es werden in manchen Bereichen der aktuelle Stand der Technik und der Stand von Wissenschaft und Technik dargestellt. Dies wird im Text jeweils deutlich gemacht. Technische Regeln gelten als anerkannte Regeln der Technik, wenn sie in der Wissenschaft als theoretisch richtig anerkannt sind, der vorherrschenden Auffassung der Fachleute entsprechen und in der Praxis erprobt und bewährt sind. Dies trifft für die meisten im Leitfaden zitierten Normen und Richtlinien zu. Als allgemein anerkannt kann auch gelten, dass das Gebäude frei von Schimmel bleibt, wenn die in diesem Leitfaden erarbeiteten Vorgaben und Empfehlungen im Hinblick auf Feuchtevermeidung, Lüften und Heizen sowie bauliche Standards zur Vermeidung von Schimmel beachtet werden. Verfahren, die sich noch nicht allgemein bewährt haben, wie der Nachweis von Bakterien in Materialien oder MVOC in der Innenraumluft, entsprechen dem Stand der Technik. Bei Aussagen und Verfahren, die die aktuelle wissenschaftliche Diskussion aufgreifen oder noch in der Erprobungsphase sind, aber weder bislang als allgemein anerkannt gelten noch von der Mehrheit der Fachleute angewendet werden, gibt der Leitfaden den Stand von Wissenschaft und Technik wieder. Dazu zählen u. a. der Einsatz von Schimmelspürhunden und die molekularbiologischen Nachweisverfahren sowie die Aussagen zur gesundheitlichen Relevanz von Stoffwechselprodukten und Zellbestandteilen bei Schimmelbefall.

Die Leitfadenempfehlungen stellen kein gesetzliches Regelwerk dar und ersetzen ein solches auch nicht.

In den letzten Jahren wurde deutlich, dass bei Feuchteschäden nicht nur Schimmelpilze, sondern oft auch Bakterien, u. a. Aktinomyzeten, auftreten. Im neuen Leitfaden wird der Begriff „Schimmel“ daher generell für einen mikrobiellen Befall bei Feuchteschäden, der durch Schimmelpilze, Hefen und Bakterien verursacht wird, verwendet. Die Schimmelpilze gelten dabei weiterhin als Leitorganismen oder Indikatoren für Schimmelbefall, da sie mit wenigen Ausnahmen bei Schimmelbefall immer vorhanden 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. Daher werden künftig Nutzungsklassen mit unterschiedlichen Anforderungen bei der Bewertung und vor allem auch bei der Sanierung von Schimmelbefall eingeführt. Die einzelnen Nutzungsklassen und ihre Anforderungen werden im Leitfaden ausführlich erläutert. Da die abgestuften Herangehensweisen sich vor allem bei der Sanierung von Schimmelbefall auswirken, erfolgt die Nutzungsklassenbeschreibung zu Beginn des Kapitels Maßnahmen im Schadensfall (Kap. 6.1). Die einzelnen Sanierungsempfehlungen gelten generell für die Nutzungsklasse II und es wird im Text deutlich gemacht, wo abgestufte Maßnahmen bei anderen Nutzungsklassen (III oder IV) angewendet werden können.

Der Leitfaden gilt für Büroräume, Schulen, Kindergärten, Theatersäle und andere öffentliche Räume sowie für alle Wohnräume und sonstigen Räume – also innerhalb der Nutzungsebene – mit dauerhafter oder eingeschränkter Nutzung (Nutzungsklasse II). Der Leitfaden gilt nicht für Großküchen, Gastronomie, Lebensmittelbetriebe und produktionstechnisch mit Mikroorganismen belastete Arbeitsplätze. In Krankenhäusern und ähnlichen Einrichtungen gelten besondere hygienische Anforderungen, die im Leitfaden nicht behandelt werden (siehe Kap.6.1, Nutzungsklasse I). Die Nutzungsklassen III und IV beschreiben Räume außerhalb der Nutzungsebene (siehe Kap. 6.1).

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

Biozidanwendungen (häufig fälschlicherweise als Desinfektionsmaßnahmen bezeichnet) sind bei Schimmelsanierungen in den meisten

Fällen nicht sinnvoll und werden in der Praxis viel zu häufig angewendet. Daher gibt es im neuen Leitfaden klare Empfehlungen, in welchen Einzelfällen die Anwendung von Bioziden sinnvoll ist und wann sie nicht erfolgen sollte.

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. Auch in der Schweiz hat man Interesse zur Übernahme von Teilen des Leitfadens bekundet. Der Leitfaden 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 gemeinsam festgelegt, dass Detailausführungen etwa zu technischen Trocknungsmaßnahmen, zur Feuchtebeurteilung in Materialien oder zum Arbeitsschutz von dazu tätigen externen Fachverbänden sowie bezüglich Arbeitsschutz von der Berufsgenossenschaft Bau in eigenen Merkblättern oder Handlungsanleitungen erarbeitet werden. Die dortigen Empfehlungen sollen sich auf die UBA-Leitfadenempfehlungen stützen und detaillierte Empfehlungen zu bestimmten Bereichen oder Berufsgruppen geben.

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 auch Hilfestellung für örtliche Behörden und Wohnungsunternehmen, die Schimmelsanierungen begleiten oder überwachen. 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. Vorgaben aus dem Arbeitsrecht (Arbeitsstättenverordnung) und über die Schimmelsanierung hinausgehende Aspekte des Arbeitsschutzrechtes werden in diesem Leitfaden ebenfalls nicht behandelt. Hinweise zur rechtlichen Situation geben entsprechende Stellen wie die örtlichen Vertretungen des Deutschen Mieterbundes (DMB), der Haus- und Grundeigentümervereine, die Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv) sowie die Beratungsstellen der Verbraucherzentralen (z. B. mit dem Ratgeber der Verbraucherzentrale NRW[1]) und das Versicherungswesen.

1 Feuchtigkeit und Schimmelbildung – Erkennen, beseitigen, vorbeugen. Verbraucherzentrale NRW. Düsseldorf 2016 (www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/ratgeber)

Der Leitfaden gliedert sich folgendermaßen:

Kapitel 1 „Schimmel, Schimmelbefall und Schimmelpilze“.
Hier werden die im Leitfaden verwendeten Begriffe definiert und die Grundsätze 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 in Innenräumen auf die Gesundheit des Menschen“. Dieses Kapitel beschreibt die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen und Risiken bei Auftreten von Schimmelbefall in Innenräumen.

Kapitel 3 „Ursachen für Schimmelwachstum in Gebäuden“. Das Kapitel beschreibt die für Schimmelwachstum maßgeblichen Parameter, insbesondere Feuchte und Temperatur. Dabei wird das Zusammenwirken von Luftfeuchte, 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. Darauf wird in diesem Kapitel eingegangen. Insbesondere werden Lüftungs- und Heizempfehlungen gegeben. Technische Lüftungseinrichtungen und deren Vor- und Nachteile werden beschrieben.

Kapitel 5 „Schimmelbefall erkennen, erfassen und bewerten“ beschreibt wichtige Punkte bei der Ortsbegehung und beim Nachweis von Schimmelpilzen in der Luft und im Material. Für Details der Nachweisverfahren wird auf Normen und Richtlinien verwiesen.

Kapitel 6 „Maßnahmen im Schadensfall“ 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. Die verschiedenen Nutzungsklassen in Gebäuden werden beschrieben und es wird ein Nutzungsklassenbezug für Sanierungsempfehlungen und -maßnahmen hergestellt. Weiter wird beschrieben, welche Vorsichtmaßnahmen aus Arbeitsschutzsicht zu beachten sind und es wird auf einzelne Sanierungsverfahren kurz eingegangen. Verweise auf Empfehlungen von Verbänden werden gegeben, in denen der Leser weitere Detailinformationen zu den Vorgehensweisen bei der Sanierung erhält.

Den Abschluss des Leitfadens bildet ein Glossar, in dem die wichtigsten Fachbegriffe kurz erläutert werden.

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

1

Schimmel, Schimmelbefall und Schimmelpilze

Der Begriff Schimmel stammt aus dem Mittelhochdeutschen und ist seit dem 9. Jahrhundert (damals noch unter dem Begriff „Schimel“) 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 Arztenei 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 (siehe 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. Aktino-Myceten 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 Wachstum von Mikroorganismen an Inventar, an oder in Wänden und anderen Bauteilen wird üblicherweise Schimmel (englisch: mould) genannt. Schimmelbefall wird hervorgerufen durch Schimmelpilze, Hefen und Bakterien. Zum Nachweis von Schimmelbefall sind Schimmelpilze die Leitorganismen.

Schimmelpilze und Bakterien können bei ausreichender Feuchte in den meisten organischen Materialien bzw. auf Materialien mit organischen Verschmutzungen wachsen. Schimmelpilze 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. Sowohl Schimmelpilze als auch einige Aktinobakterien können u. a. durch die Bildung von Sporen zu einer Innenraumbelastung beitragen. Daher wird der Focus im Leitfaden auf diese beiden Mikroorganismengruppen gerichtet (siehe Kap. 1.2 und 1.4).

Neben Schimmelpilzen (siehe Kap. 1.2) und Bakterien (siehe Kap. 1.4) kommen bei Schimmelbefall auch einzellige Pilze (Hefen, siehe Kap. 1.3) und Protozoen (insbesondere Amöben) vor. Hinsichtlich Protozoen gibt es keine Hinweise, dass durch diese bei Schimmelbefall gesundheitliche Probleme bei den Raumnutzern hervorgerufen werden. Protozoen werden daher weder bei den Messungen noch bei der Bewertung von Schimmelbefall weiter betrachtet.

Außerdem kommen, vor allem bei älterem Schimmelbefall, im Schadensbereich zusätzlich Milben vor. Milben gehören zu einer Unterklasse der Spinnentiere. Die bekanntesten Milben sind die beiden häufig auftretenden Hausstaubmilben *Dermatophagoides pteronyssinus* und *Dermatophagoides farinae*. Sie ernähren sich von Hautschuppen und Schimmelpilzen. Milbenkot kann allergische Reaktionen auslösen und damit zu den bei Feuchte- und Schimmelschäden beobachteten gesundheitlichen Problemen der Raumnutzer beitragen.

Milben stellen unabhängig vom Schimmelbefall ein Problem in Innenräumen dar. Sie sind daher auch unabhängig von diesen Leitfadenempfehlungen zu betrachten und zu bewerten.

Alle genannten Organismen sind mikroskopisch klein (siehe Tab. 1).

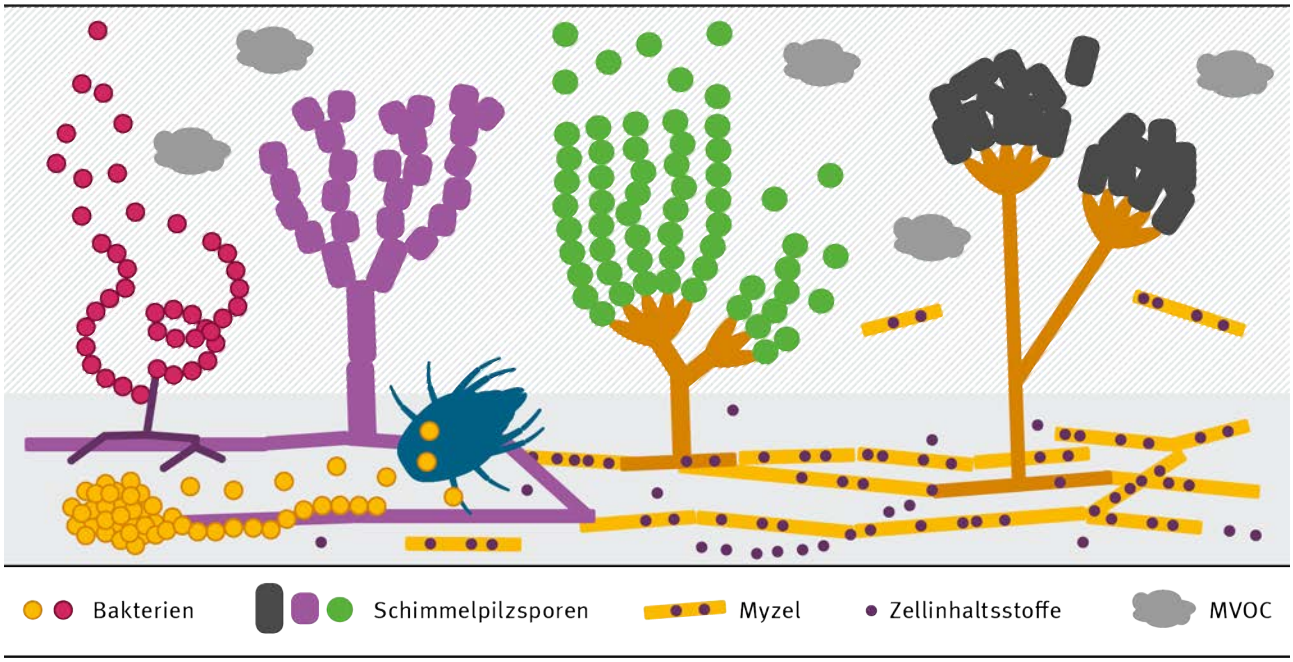
Tabelle 1

Größe verschiedener (Mikro-)Organismen im Vergleich zum menschlichen Haar

	Größenordnung in µm
Haar [Ø]	100
Hausstaubmilbe	100–500
Amöben	100–300
Schimmelpilzsporen	2–30
Schimmelpilzhyphen [Ø]	4–10
Aktinobakterienhyphen [Ø]	1

Abbildung 1

Bei Schimmelbefall findet sich eine vielfältige Lebensgemeinschaft auf dem bzw. im Material. Es können diverse Mikroorganismen (Schimmelpilze, Hefen, (Aktino-) Bakterien) sowie Protozoen und Milben auftreten.



Quelle: nach Trautmann, Umweltmykologie GmbH, Berlin

1.1 Schimmelbefall

Ein Schimmelbefall liegt dann vor, wenn sich Mikroorganismen auf oder in einem Material vermehren oder vermehrt haben. Wichtigste Voraussetzung für die Vermehrung ist eine ausreichend hohe Feuchte. Weiterhin spielen Temperatur und Nährstoffe eine Rolle (siehe Kap. 1.2).

Von Schimmelbefall abzugrenzen sind Verunreinigungen (Kontaminationen) mit Sporen oder anderen mikrobiellen Partikeln, die von außen in den Innenraum gelangen, von einem Schimmelbefall abgegeben werden oder von anderen Quellen im Innenraum (Blumenerde, Lebensmittel, Baustaub) stammen und sich durch Sedimentation lose auf Oberflächen ansammeln.

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 auch von **Schimmelschäden**.

Kontamination ist eine über die allgemeine Hintergrundbelastung hinausgehende Verunreinigung von Oberflächen oder Materialien durch Mikroorganismen oder biogene Partikel und Stoffe, die durch direkten Kontakt mit befallenen Materialien oder über den Luftweg erfolgt.

Mit Hilfe von mikroskopischen Analysen lässt sich Schimmelbefall von einer Verunreinigung (Kontamination) unterscheiden (siehe Kap. 5.1.2.1).

Grundsätzlich können alle Materialien, die organische Substanz (Nährstoffe) und von Mikroorganismen verwertbare Feuchte enthalten, besiedelt werden (befallen sein). Durch das Wachstum von Mikroorganismen im Material ergibt sich im Gegensatz zu einer Kontamination einerseits eine festere Verankerung der Mikroorganismen im Material. Von diesen Mikroorganismen werden durch Stoffwechselaktivität Metaboliten sowie Sporen aktiv in die Raumluft abgegeben. Außerdem kann es zu einer Verbreitung von Zellen (Myzelstücken) und Zellbestandteilen kommen.

Nicht wachsen können die Mikroorganismen in Materialien mit hoher Dichte wie Glas, Metall und Keramik. Nur wenn sich auf solchen glatten Materialien Nährstoffe und Feuchte ansammeln, ist darauf ein oberflächliches Wachstum von Schimmelpilzen und Bakterien möglich. Sichtbarer Befall auf solchen Materialien ist immer auf eine anhaftende Staub- oder Schmutzschicht zurückzuführen, da diese Schicht sowohl Feuchte speichern kann als auch Nährstoffe enthält.

Abbildung 2

Beispiele für verdeckte Schimmelschäden

Quelle: links: Lorenz, Institut für Innenraumdiagnostik; rechts: Betz, Sachverständigenbüro für Gebäude und Innenraumanalytik

Tapeten, Gipskartonwände und Gegenstände aus Papier oder Leder werden bei Feuchteschäden relativ schnell von Schimmel besiedelt. Bei länger andauernder Feuchteeinwirkung kann es zu Bauteildurchfeuchtung und einer mikrobiellen Besiedlung von Holzwerkstoffen, Putzen und Dämmstoffen (z. B. Mineralwolle, Polystyrol) kommen. Schwer besiedelbar sind nährstoffarme, stark alkalische Materialien, wie Zementestrich, Beton und Vollholz. Allerdings können „Spezialisten“ unter den Pilzen Holz besiedeln. Diese so genannten „Holz zerstörenden Pilze“ gehören mit wenigen Ausnahmen jedoch nicht zu den Schimmelpilzen.

Schimmelpilze benötigen zum Wachstum erhöhte Feuchte (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, Tapeten oder Verkleidungen (siehe Abb. 2).

Sind Materialien durchfeuchtet, aber oberflächlich trocken, können sie dennoch befallen sein. Der Befall bildet sich unterhalb der sichtbaren Oberfläche in den Materialporen wie in Dämmstoffen oder im Wandputz bzw. an der Grenzschicht zwischen verschiedenen Materialien. Diese Schäden können viel mikrobielle Biomasse enthalten; der Befall ist nur im Labor mikroskopisch oder mittels Kultivierung nachweisbar. Dies trifft insbesondere auf mikrobiell befallene Trittschalldämmung aus Polystyrol zu. Sehr häufig sieht die Trittschalldämmung zunächst unauffällig aus und erst bei mikrobiologischen Untersuchungen zeigt sich ein massives Wachstum von Schimmelpilzen und Bakterien. Auch der Befall eines Wandputzes auf einer durchfeuchteten Wand ist mitunter visuell nicht erkennbar, kann aber muffigen Geruch verursachen.

Schimmelbefall kann zum einen zu Flecken, Geruchsbelästigungen (siehe unten) und Materialschäden führen. Zum anderen kann er durch die Emission von Sporen, mikrobiellen Stoffen und Zellfragmenten auch zu gesundheitlichen Problemen bei den Raumnutzern führen (siehe Kap. 2).

Schimmelbefall ist nicht immer sichtbar

Mikrobielle Schäden können nur zum Teil mit bloßem Auge als Schimmelflecken wahrgenommen werden; daneben tritt der Schimmelbefall häufig an verdeckten Stellen oder unter der Materialoberfläche auf und ist dort nicht erkennbar.

Sichtbarer und nicht sichtbarer Schimmelbefall kann, muss aber nicht gemeinsam auftreten.

Sichtbare Flecken führen meist zu größerer Besorgnis, selbst wenn es sich nur um kleine Flächen handelt. Verdeckter Befall enthält jedoch häufig sehr viel mehr mikrobielle Biomasse und ist daher bei der weiteren Schadensbeurteilung unbedingt einzubeziehen.

Es hängt von den vorliegenden Schimmelpilz- und Bakterienarten, aber auch vom bewachsenen Material ab, ob und welche Gerüche auftreten. Aus der Praxis wird berichtet, dass Bakterien der Gattung *Bacillus* oder manche Aktinobakterien besonders intensiv riechen. Der muffige Geruch in feuchten Altbau-Kellern wird oft von Bakterien der Gattung *Streptomyces* und anderen Aktinobakterien verursacht, die bei länger andauerndem Schimmelbefall 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 andersartig riechen.

Zusätzlich zu den mikrobiellen Emissionen können chemische Emissionen aus feuchten Materialien zu Geruchsbelästigungen führen.

1.2 Schimmelpilze

„Schimmelpilze“ ist ein Sammelbegriff für Pilze, die typische Pilzfäden (Hyphen) und Sporen ausbilden. Sie können mit bloßem Auge als ein Schimmelbelag mit farbiger Oberfläche wahrgenommen werden (siehe Abb. 3). Es handelt sich dabei nicht um eine einheitliche systematische Gruppe von Pilzen, vielmehr sind unter dem Begriff „Schimmelpilze“ sogenannte Fadenpilze 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 (synonym Pilzspezies; z. B. *Aspergillus fumigatus, Penicillium chrysogenum*).

Viele Schimmelpilzarten haben aufgrund neuer taxonomischer Erkenntnisse neue Namen erhalten. Aufgrund molekularbiologischer Untersuchungen wurde erkannt, dass einige Schimmelpilze in zwei Formen vorliegen und zwar in der sexuellen und der asexuellen Form. Beide Formen werden von demselben Schimmelpilz gebildet und wurden bisher jeweils als eigene Arten beschrieben. Seit 01.01.2013 ist die duale Nomenklatur für die sexuelle (teleomorphe) und asexuelle (anamorphe) Form der Pilze abgeschafft (one fungus – one name). Dadurch wurden auch einige Gattungs- und Artnamen von Schimmelpilzen geändert (Beispiele siehe Tabelle in der Anlage 1). Wichtige Aspekte zur molekularbiologischen Identifizierung von Schimmelpilzen sind in Anlage 2 zusammengefasst.

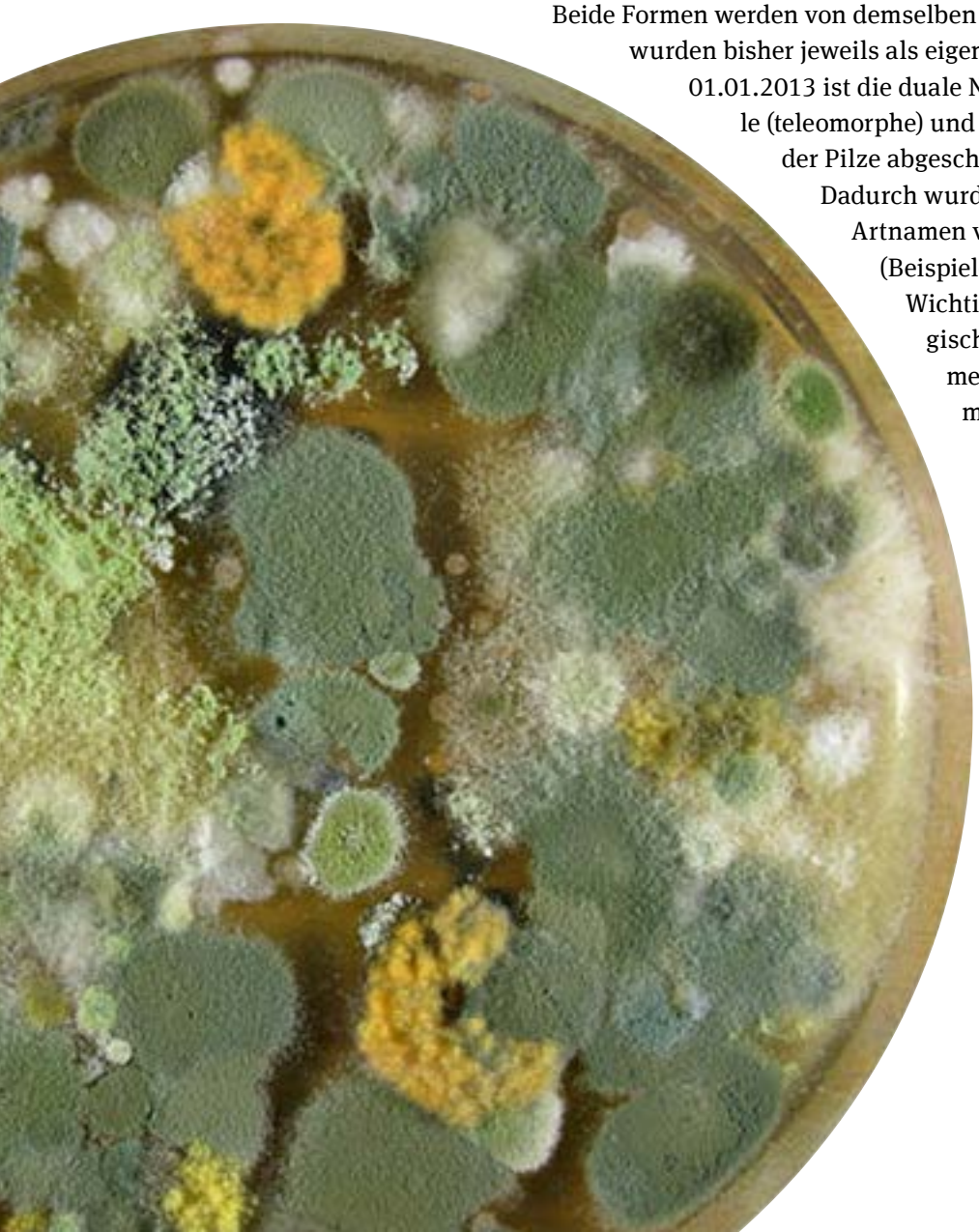


Abbildung 3

Verschiedene Schimmelpilzarten, die in einer Petrischale auf Nährmedium wachsen und Sporen bilden

Quelle: Szewzyk, Umweltbundesamt

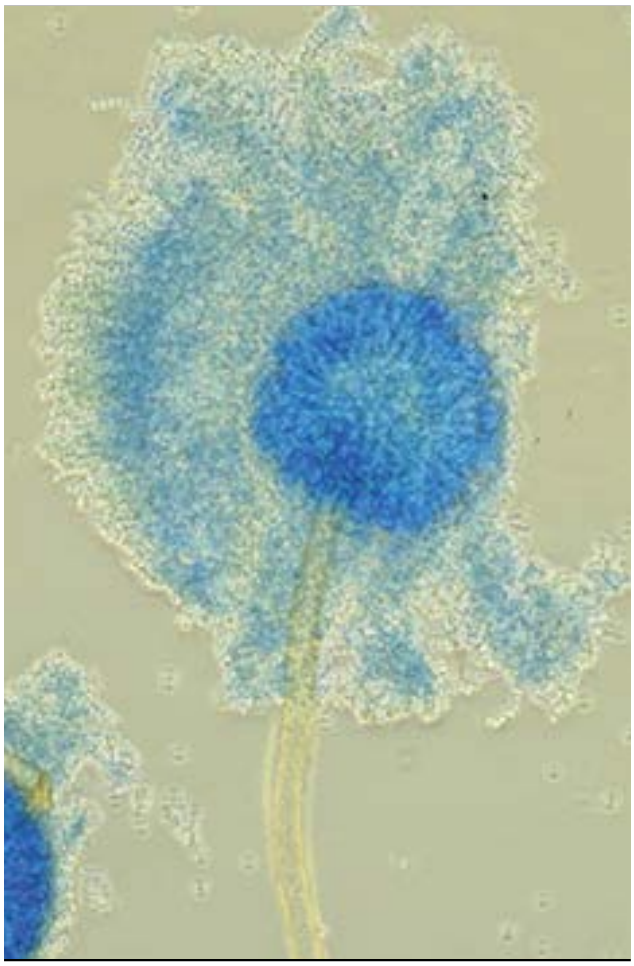
1.2.1 Eigenschaften von Schimmelpilzen

Schimmelpilze bilden in der Wachstumsphase Zellfäden (Hyphen, siehe Abb. 1), deren Gesamtheit als **Myzel** bezeichnet wird. Da diese Fäden oft weißlich sind, sind die Schimmelpilze in dieser Phase mit dem bloßen Auge kaum sichtbar. Zur Vermehrung und Verbreitung bilden Schimmelpilze asexuelle Verbreitungsorgane (Sporangiosporen und Konidien, siehe Abb. 1, 4 und 5) und, viel seltener, sexuelle Verbreitungsorgane (Zygosporen, Ascosporen). Alle Verbreitungsorgane werden im Folgenden unter dem Begriff „**Sporen**“ zusammengefasst. Da die asexuellen Sporen meist in großer Zahl produziert werden und oft farbig sind, kann der Schimmelpilzbefall während und nach der Sporenbildung mit bloßem Auge (z. B. als Schimmelflecken) wahrgenommen werden.

Schimmelpilzsporen umfassen mit wenigen Ausnahmen den Größenbereich von 2 µm bis 30 µm (maximaler Bereich 1 µm–100 µm). 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.

Abbildung 4

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



Quelle: Valtanen, Umweltbundessamt

Abbildung 5

***Stachybotrys* sp. unter dem Mikroskop (aus einem abgetrockneten Schaden auf Gipskarton)**
(400-fache Vergrößerung)

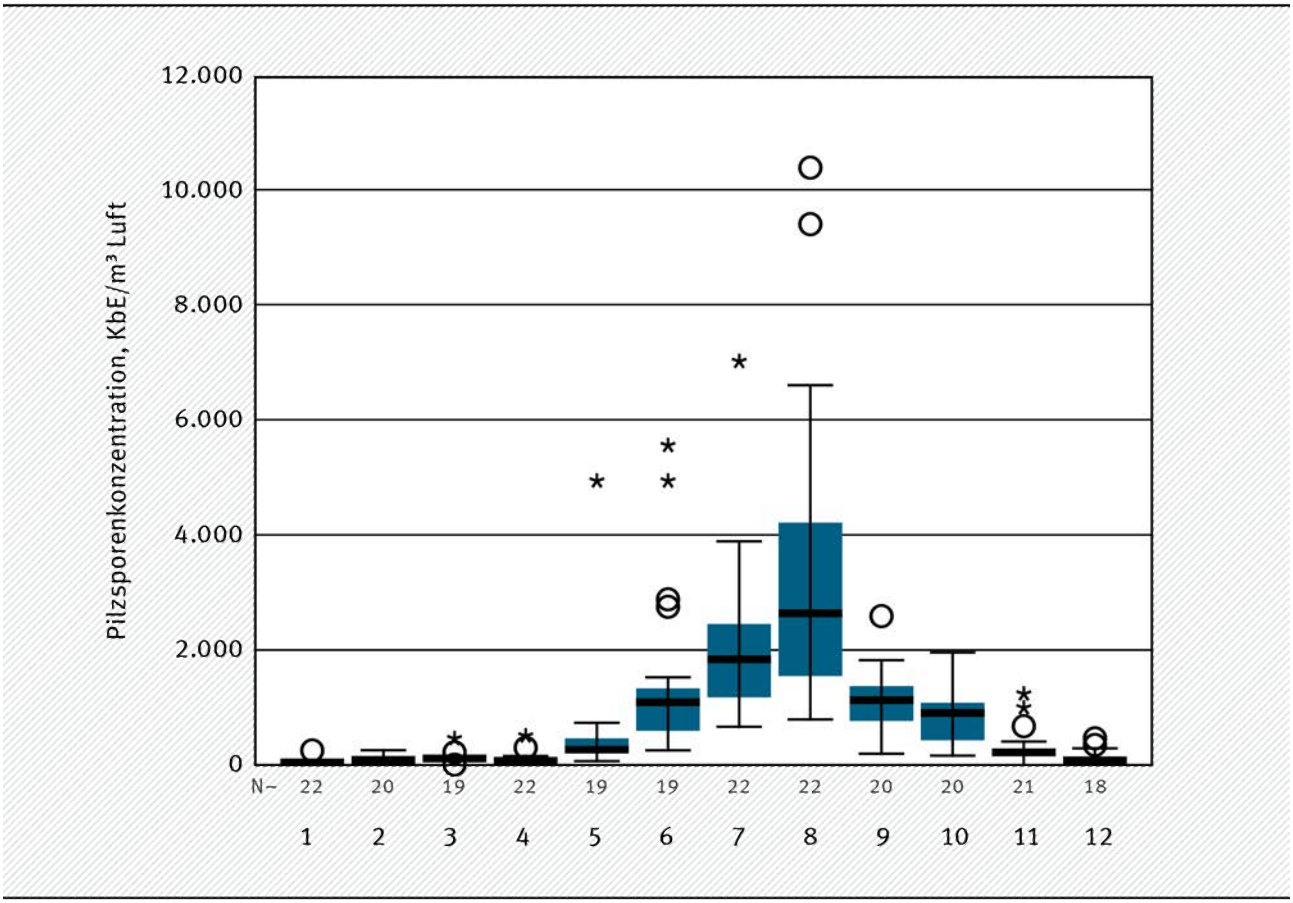
Quelle: Valtanen, Umweltbundessamt

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. Dabei treten in der Regel viele unterschiedliche Gattungen und Arten gemeinsam auf.

Die Konzentration an Schimmelpilzen in der Außenluft ist je nach Ort, Klima, Tages- und Jahreszeit großen Schwankungen unterworfen (siehe Abb. 6). 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.

Abbildung 6

Typischer jahreszeitlicher Verlauf der Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft in Deutschland



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 Schimmelpilze in Innenräumen

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

Schimmelpilze, die in der Innenraumluft auftreten, können aus verschiedenen Quellen stammen. Zum einen gelangen sie bei Lüftungsvorgängen aus der Außenluft in den Innenraum und werden mit Staub und Schmutz an Kleidung und Schuhen in Gebäude eingetragen. Beispielweise sind Pilze der Gattungen *Cladosporium* oder *Penicillium* häufig im Hausstaub zu finden und meist auch in der Innenraumluft.

Zum anderen können Schimmelpilze aufgrund von erhöhter Feuchte auf Materialien im Innenraum wachsen und dadurch auch in der Innenraumluft auftreten. Ein Schimmelbefall durch das Wachstum von Schimmelpilzen in Innenräumen stellt ein hygienisches Problem dar, zumal bei Schäden in Gebäuden teils andere Schimmelpilzarten dominieren als in der natürlichen Umgebung.

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

Zu vermeiden ist jedoch eine erhöhte Konzentration von Schimmelpilzen durch Schimmelwachstum im Innenraum. Die Konzentration an Schimmelpilzen in der Außenluft ist starken Schwankungen unterworfen. Dies muss bei der Bewertung von Raumluftkonzentrationen im Innenraum berücksichtigt werden (siehe Kap. 5).

Einige Schimmelpilzarten treten in der Außenluft und auch im Staub entweder nicht oder nur in geringer Konzentration auf, sind allerdings bei Feuchteschäden regelmäßig zu finden, wie z. B. *Aspergillus versicolor* (siehe Abb. auf S. 22) und Pilzarten der Gattung *Chaetomium*. Solche Arten werden daher auch als Feuchteindikatoren bezeichnet (siehe Tab. 2). Werden solche Schimmelpilze in der Raumluft in auffallenden Konzentrationen oberhalb der Hintergrundkonzentrationen nachgewiesen, liegt oder lag mit großer Wahrscheinlichkeit erhöhte Materialfeuchte vor.

Aspergillus niger wird häufig als typischer Schimmelpilz im Innenraum erwähnt. Allerdings ist dieser Pilz in feuchten Baumaterialien verhältnismäßig selten zu finden, tritt jedoch relativ oft im Hausstaub und in der Erde von Zimmerpflanzen auf.

Um zwischen Kontamination und Schimmelbefall unterscheiden zu können, ist es wichtig, bei Untersuchungen der Innenraumluft parallel eine vergleichende Messung in der Außenluft oder in einem Referenzraum (Vergleichsraum ohne Schimmelbefall) durchzuführen (Ausnahme Sanierungskontrolle, siehe Kap. 5).

Tabelle 2

Schimmelpilze mit hoher Indikation für Feuchteschäden (Feuchteindikatoren)

Schimmelpilzart
Acremonium spp.
Aspergillus penicillioides, Aspergillus restrictus, Aspergillus versicolor
Chaetomium spp.
Phialophora spp.
Penicillium chrysogenum
Penicillium brevicompactum
Scopulariopsis brevicaulis, Scopulariopsis fusca,
Scopulariopsis brumtii, Scopulariopsis chartarum
Stachybotrys chartarum
Tritirachium (Engyodontium) album
Trichoderma spp.

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

Unter den Schimmelpilzen besteht große Artenvielfalt und es werden immer wieder neue Arten entdeckt. Bei Schimmelbefall auf Baumaterialien ist die Vielfalt der häufig auftretenden Schimmelpilzarten jedoch überschaubar. So wurden z. B. auf/in mineralischen Baumaterialien (Zementestrich, Wandputz oder Beton) hauptsächlich *Penicillium* spp. (in 80 % der Proben), *Aspergillus versicolor* (50 %), *Cladosporium* spp. (46 %), *Acremonium* spp. (31 %), *Aspergillus restrictus* Gruppe (26 %) sowie 18 weitere Gattungen (in 1 %–10 % der Proben) nachgewiesen.

1.2.3 Faktoren, die das Wachstum von Schimmelpilzen beeinflussen

Schimmelpilze benötigen zum Wachstum Nährstoffe und Feuchte. Da in Gebäuden Nährstoffe in mehr oder weniger gut verfügbarer Form vorhanden sind, kommt der Feuchte 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. 1.2.3.1 und 1.2.3.2).

Feuchte

Neben biologischen und physikalischen Einflussfaktoren stellt der Eintrag von Feuchte (siehe Kap. 3) eine entscheidende Ursache für das Wachstum von Schimmelpilzen und sonstigen Mikroorganismen dar.

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

Der Feuchtegehalt an einer Materialoberfläche wird häufig durch die so genannte 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. In der Praxis werden Gleichgewichtsbedingungen nur näherungsweise erreicht; ein a_w-Wert von 0,8 entspricht daher in etwa 80 % relativer Luftfeuchte an der Materialoberfläche. 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 Feuchte aus der unmittelbaren Umgebung aufnehmen. Erst das nach der Keimung gebildete Myzel kann auch Feuchte aus dem Baumaterial aufnehmen, denn die Schimmelpilzhyphen können in das Porengefüge eines Baumaterials eindringen.

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

Tabelle 3

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

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

Jede Pilzspezies wächst in einem charakteristischen Feuchtebereich, der die Intensität des Wachstums bestimmt (siehe Tab. 3). Xerophile Vertreter, wie z. B. *Aspergillus restrictus*, können bereits ab einem a_w-Wert von 0,70 bis 0,75 wachsen, die meisten Schimmelpilze benötigen zum Wachstum a_w-Werte von mindestens 0,80 bis 0,85. *Stachybotrys chartarum* braucht sehr viel mehr Feuchte zum Wachstum (minimaler a_w-Wert von 0,94) und tritt daher nur bei starker Durchfeuchtung des Materials, beispielsweise nach Wasserschäden, auf. Die meisten Schimmelpilze können damit in der Regel trockenere Bereiche besiedeln als Bakterien, von denen fast alle zum Wachstum a_w-Werte über 0,9 benötigen.

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 des Materials 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 von über 80 % können nahezu alle Schimmelpilzarten sowie Bakterien wachsen. Im stehenden Wasser (100 % Feuchte) wachsen in der Regel keine Schimmelpilze, sondern Bakterien.

Temperatur

Schimmelpilze können in einem weiten Temperaturbereich wachsen.

Pilzarten, die ein optimales Wachstum in einem mittleren Temperaturbereich zeigen, werden als mesophil bezeichnet, solche, die auch noch bei hohen Temperaturen gut wachsen können, als thermotolerant. Liegt das Wachstumsoptimum bei hohen Temperaturen, spricht man von thermophilen Pilzen (siehe Tab. 4).

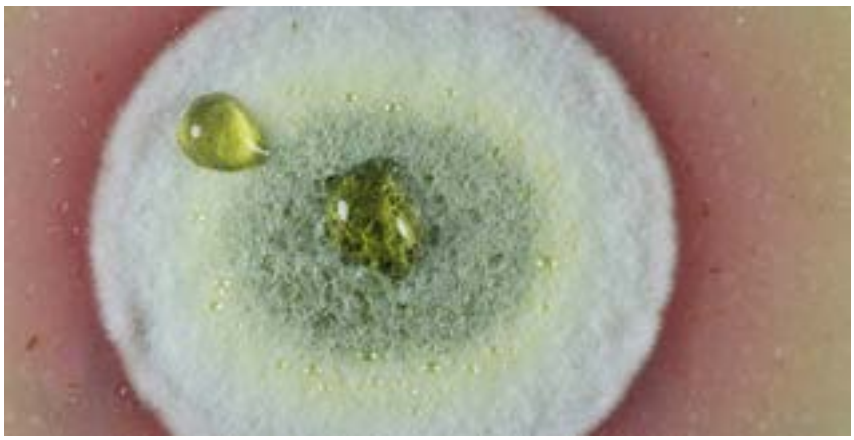
Außerhalb von Räumen finden in unseren Breiten am ehesten mesophile Schimmelpilze optimale Temperaturbedingungen. In diese Gruppe gehören die wichtigsten Vertreter der Gattung *Penicillium*. *Aspergillus*-Arten bevorzugen höhere Temperaturen und zählen daher zum großen Teil zu den thermotoleranten Schimmelpilzen. Thermophile Schimmelpilze, wie *Aspergillus fumigatus*, kommen dagegen in gemäßigten Regionen – ausgenommen bei Kompostierungsanlagen und bestimmten landwirtschaftlichen Aktivitäten – in geringen Konzentrationen vor.

Tabelle 4

Wachstumstemperaturen mesophiler, thermotoleranter und thermophiler Schimmelpilze

Bezeichnung	Minimale a_w-Werte		
	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 zum einen Nährstoffe aus Baumaterialien nutzen. Zum anderen können sie Nährstoffe nutzen, die mit dem Hausstaub verbreitet werden wie Fasern, Pollen, Bakterien, Haare und Hautschuppen.

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

- Holz, Holzwerkstoffe (z. B. Hartfaser-, OSB- oder Spanplatten)
- Papier, Pappe, Karton (auch Gipskartonplatten)
- 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 enthalten (z. B. Glas), wenn sich organische Partikel und Stäube auf diesen abgelagert haben.

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

Schimmelpilze können eine Vielzahl von Materialien als Nährstoffquellen nutzen.

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

Auch wenn die Feuchte der wichtigste Faktor ist, müssen die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen Feuchte, Temperatur und Nährstoffe über eine bestimmte Zeitperiode gleichzeitig im günstigen Bereich vorhanden sein, damit Schimmelpilzsporen auskeimen und anschließend das Myzel wachsen kann (siehe Kap. 1.2.3.1 und 1.2.3.2).

pH-Wert

Inwieweit ein Substrat von Schimmelpilzen zum Wachstum genutzt werden kann, hängt auch vom pH-Wert ab.

Viele Schimmelpilzarten können in einem Bereich zwischen pH 3 und 9 gut wachsen. Von einzelnen Schimmelpilzarten werden pH-Werte zwischen 2 und 11 toleriert.

Schimmelpilze können in einem breiten pH-Bereich wachsen. Oberhalb von pH 11 wachsen Schimmelpilze so gut wie nicht mehr. Dies nutzt man aus, um in wenig genutzten Räumen (Lagerräume außerhalb der Wohnung oder dauerhaft feuchte Kellerräume [Nutzungsklasse III]) Schimmelpilzwachstum durch stark alkalische Anstriche 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 kalkbasierter Putzmörtel oder Beton, können pH-Werte von mehr als 12 aufweisen. Mit der Zeit führt das in der Luft enthaltene Kohlendioxid aber zu einer Karbonatisierung und damit zu einem Absenken des pH-Wertes. Kalkanstriche z. B. haben deshalb nur eine zeitlich begrenzte Wirkung gegen Schimmelpilzwachstum. Darüber hinaus kann das Schimmelpilzwachstum auch durch organische Ablagerungen auf solchen Materialoberflächen begünstigt werden.

1.2.3.1 Zusammenwirken von Temperatur und Feuchte

Die Auskeimung oder das Myzelwachstum können bei den minimalen Werten der relativen Luftfeuchte nur stattfinden, wenn optimale Temperaturen und eine gute Nährstoffversorgung vorhanden sind. Sind die Temperaturen nicht optimal, findet Auskeimung oder Myzelwachstum erst bei höherer Feuchte statt.

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

Eine Überlagerung der beiden Einflüsse Temperatur und Feuchte lässt sich in einem Diagramm als Linien gleicher Auskeimungszeit bzw. gleichen Wachstums (so genannte Isoplethen) darstellen. Je nach Schimmelpilzart gelten unterschiedliche Isoplethensysteme. Abb. 7 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. Die äußersten Kurven kennzeichnen die Bedingungen, unter denen kein Wachstum mehr feststellbar ist.

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

1.2.3.2 Zusammenwirken von Temperatur, Feuchte und Nährstoffgehalt

Der **Nährstoffgehalt** im Material übt zusätzlich 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.

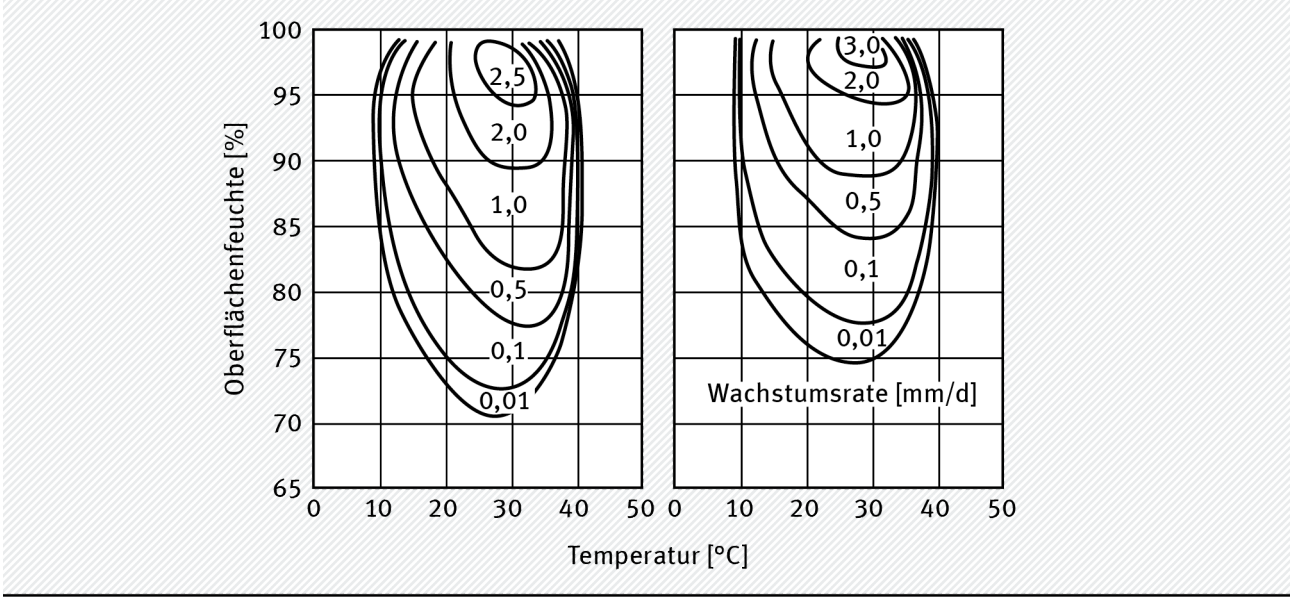
Unter Berücksichtigung der Oberflächenfeuchte, der Temperatur und des Nährstoffgehalts lassen sich umfassende verallgemeinerte Isoplethensysteme entwickeln (siehe Infobox 1). Mit Hilfe dieser Isoplethensysteme kann für bestimmte Temperaturen und relative Feuchtewerte die Wahrscheinlichkeit eines Schimmelbefalls eingeschätzt und modelliert werden.

Eine vereinfachte anschauliche Darstellung der Anfälligkeit von Baustoffen gegenüber Schimmelbefall bietet die so genannte Isoplethenampel. Sie basiert auf Laboruntersuchungen zum Schimmelwachstum bei verschiedenen Kombinationen von relativer Luftfeuchte und Temperatur. Dabei zeigt sich z. B. Stroh als relativ anfällig für Schimmelpilzwachstum, während sich unbehandelter Zellulose-Einblasdämmstoff als wenig anfällig gegenüber dem Befall durch Schimmelpilze erweist. (Abb. 8). Die Isoplethen geben Wachstumshinweise, können jedoch nicht alle Bedingungen in der Praxis abbilden.

In Wohninnenräumen sind die für das Wachstum von Schimmelpilzen notwendigen Temperaturen und Nährstoffe meist vorhanden. Daher kommt zur Vermeidung von Schimmelbefall 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 Schimmel befallenen Wohnungen ist ein langfristiger Erfolg nur zu erreichen, wenn die Ursachen für die erhöhte Feuchte gefunden und beseitigt werden (siehe Kap. 6).

Abbildung 7

Isoplethensysteme für Myzelwachstum der Schimmelpilze *Aspergillus restrictus* (links) und *Aspergillus versicolor* (rechts) in Abhängigkeit von relativer Oberflächenfeuchte und Temperatur nach Smith et al. (1982)

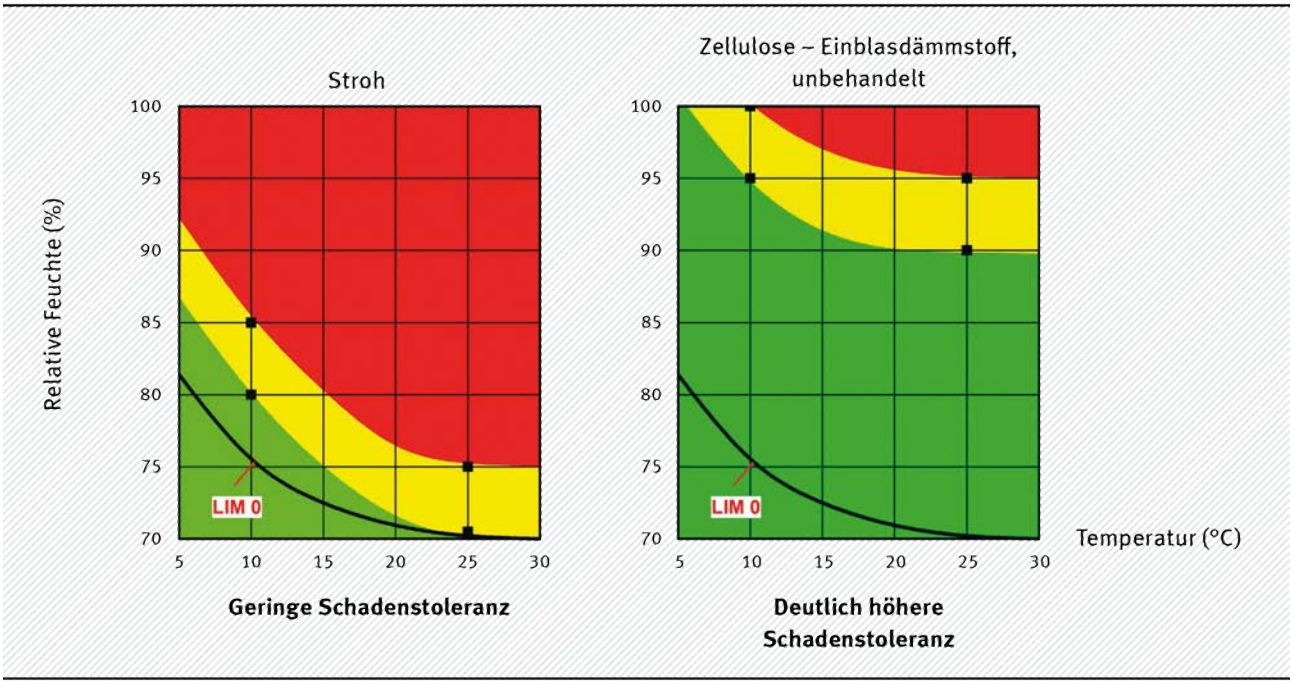


Die Zahlen an den Isoplethen kennzeichnen die Wachstumsraten in Millimeter pro Tag (mm/d)

Quelle: Sedlbauer, IBP

Abbildung 8

Gemessene Isoplethenbereiche von Stroh (links) und von einem Zellulose-Einblasdämmstoff (rechts)



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“, der für eine große Auswahl an Schimmelpilzen von Baustoffen im Labor unter Einsatz von optimalen Nährstoffbedingungen auf Agarplatten (Voll-Nährböden) ermittelt wurde.

Quelle: Sedlbauer 2001 Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen

INFOBOX 1

Isoplethensysteme

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

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

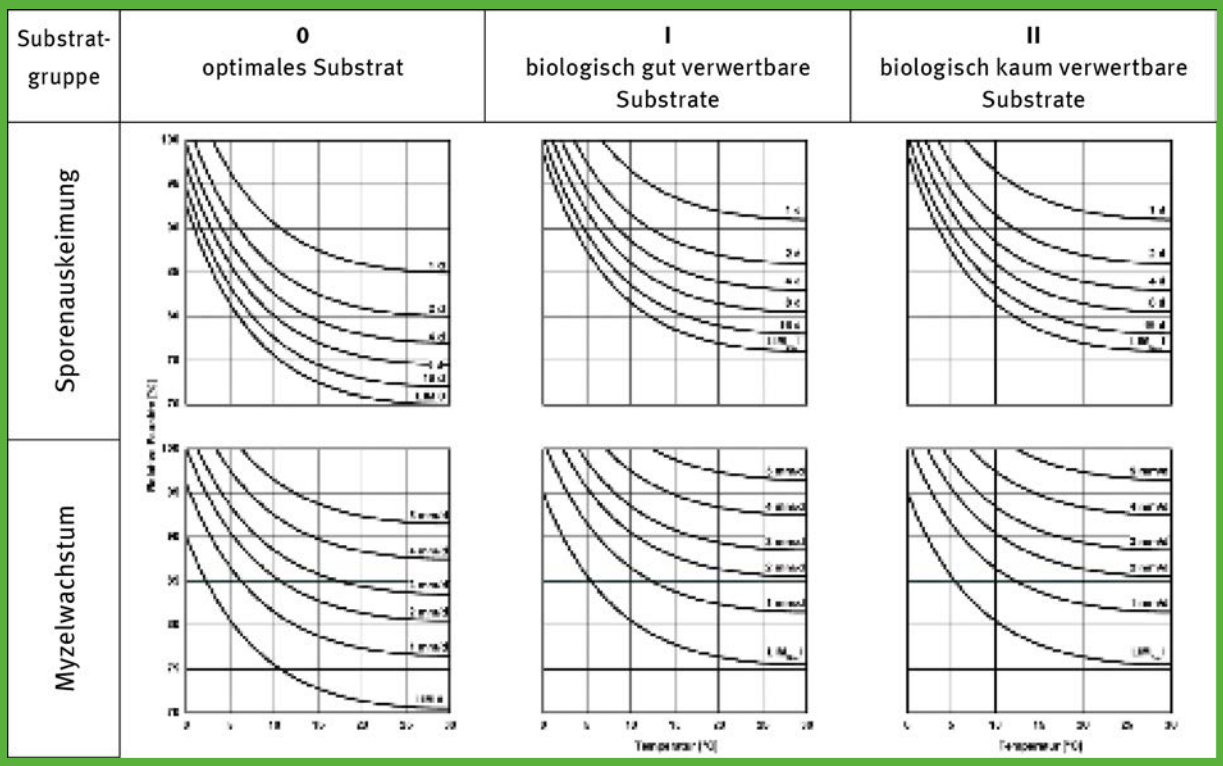
Um auch den Einfluss der Nährstoffe zu berücksichtigen, wurden für verschiedene Substratgruppen Isoplethensysteme entwickelt (Sedlbauer 2001):

Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z. B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme 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.



Verallgemeinerte Isoplethensysteme 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 (Lowest Isopleth for Mould) zeigt die unterste Grenze der Sporenauskeimung bzw. des Myzelwachstums an.

1.3 Hefen

Der Begriff „Hefen“ bezeichnet verschiedene Familien von einzelligen, nicht myzelbildenden Pilzen, die sich durch Sprossung vermehren (siehe Abb. 9). Derzeit sind mehr als 1500 Arten bekannt.

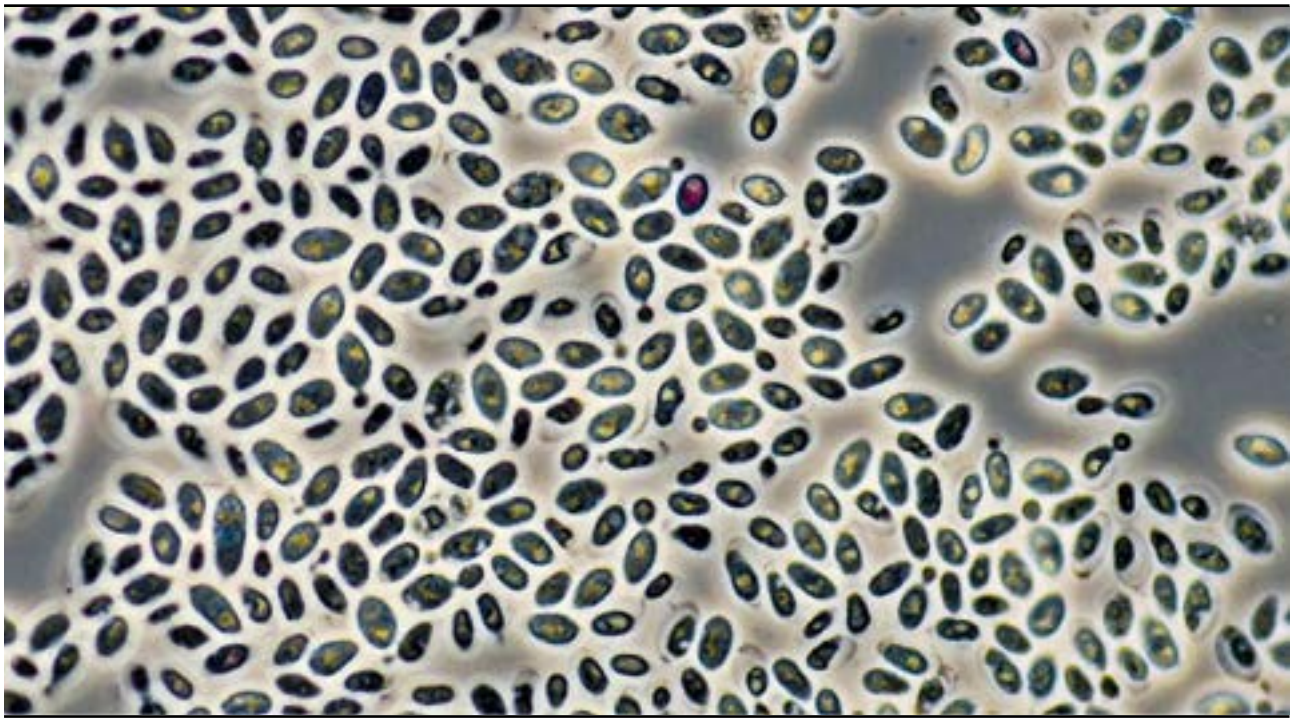
Hefen sind in der Umwelt sehr häufig und können im Sommer in Konzentrationen von mehreren Tausend KBE/m^3 in der Außenluft auftreten. Der Nachweis von Hefen, insbesondere von „roten Hefen“ wie *Rodotorula* spp. und *Sporobolomyces* spp., ist daher auch im Innenraum als normal anzusehen. Erhöhte Konzentrationen im Innenraum können durch starken Pflanzenbesatz bedingt sein (z. B. durch Wintergärten). Auch in solchen Fällen besteht kein Handlungsbedarf.

Das Auftreten von Hefen im Zusammenhang mit Schimmel deutet auf stark erhöhte Feuchte hin. Hefen benötigen zum Wachstum a_w-Werte (zur Erklärung des a_w-Wertes siehe auch Kap. 1.2) von mindestens 0,9. Sie spielen aber nach aktueller Auffassung bei Feuchteschäden in Bezug auf die gesundheitlichen Aspekte eine untergeordnete Rolle. Bei Laboranalysen ist es nicht sinnvoll die Arten oder Gattungen der Hefen zu bestimmen. Sie werden bei den weiteren Empfehlungen im Leitfaden nicht berücksichtigt.

Eine Ausnahme gibt es: Wenn eine Verunreinigung von Innenräumen durch Taubenkot gegeben ist, können Hefen der Art *Cryptococcus neoformans* auftreten, die bei Personen mit schweren Grunderkrankungen oder Dispositionen pulmonale Erkrankungen und Hirnhautentzündungen auslösen können.

Abbildung 9

Hefe unter dem Mikroskop
(1000-fache Vergrößerung)



Quelle: Valtanen, Umweltbundesamt

1.4 Bakterien und Aktinobakterien

Bei Schimmelschäden treten Bakterien häufig zusammen mit Schimmelpilzen auf. Studien zu Feuchteschäden zeigten, dass lediglich in ca. 15 % der Materialproben nur Pilze und keine Bakterien in auffälliger Konzentration nachweisbar waren. Nicht selten liegen die Konzentrationen an Bakterien in Materialien in einem höheren Bereich als die der Schimmelpilze.

Da Schimmelbefall in der Regel durch den Nachweis von Schimmelpilzen erkannt werden kann, ist eine Untersuchung von Luft- oder Materialproben auf Bakterien normalerweise nicht notwendig. Bei auffällig muffig riechenden Materialien und gleichzeitig negativem Schimmelpilzbefund sollte jedoch auf Bakterien untersucht werden (siehe Kap. 5.1.2.1 und 5.1.2.4). In der Praxis wird bei solchen Materialien häufig direkt auf Bakterien untersucht, um zeitnah ein Ergebnis zu erhalten.

Insbesondere wegen der Schwierigkeiten bei der taxonomischen Bestimmung ist das Wissen über die in Gebäuden auftretenden Bakterienarten lückenhaft. Meist wird nur zwischen myzelbildenden Aktinobakterien, ggf. Bacillus-Arten und anderen Bakterien unterschieden. Myzelbildende 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. 1.4.1).

In **muffig riechenden Materialien** treten häufig Bakterien in hohe Konzentrationen auf. Wenn in solchen Materialien keine erhöhten Schimmelpilzkonzentrationen nachgewiesen werden, sollte auch auf Bakterien (insbesondere Aktinobakterien) untersucht werden. In der Praxis wird bei solchen Materialien häufig direkt auf Bakterien untersucht, um zeitnah ein Ergebnis zu erhalten.

Sporen von **Aktinobakterien** können wie bei Schimmelpilzen über den Luftweg verteilt werden.

1.4.1. Eigenschaften von Aktinobakterien

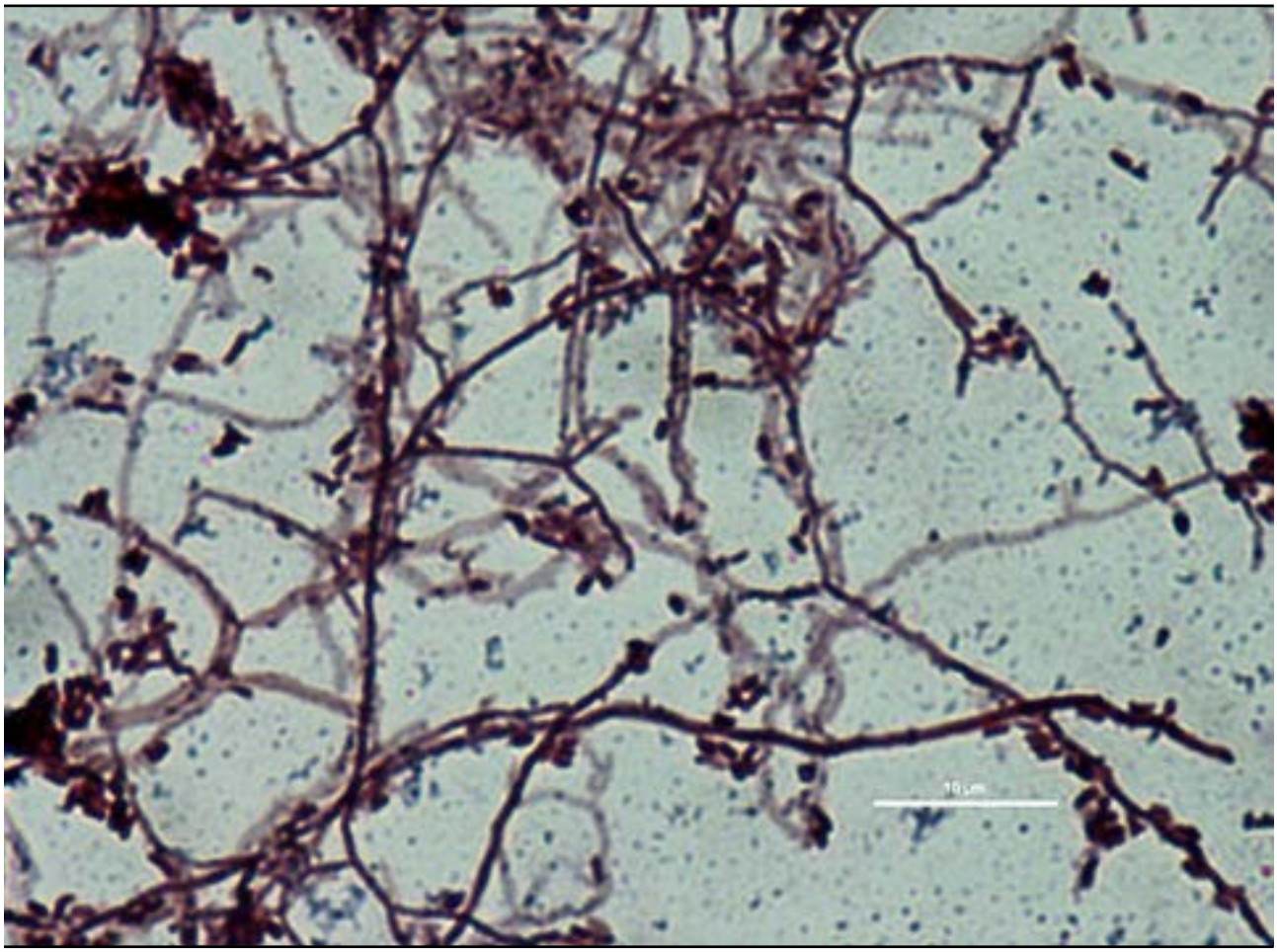
Aktinobakterien ist der deutsche Begriff für die Klasse *Actinobacteria*, die im Jahr 1997 vorgeschlagen wurde, um der großen morphologischen Diversität der bis zu diesem Zeitpunkt auch als „Aktinomyzeten“ bezeichneten Bakteriengruppe Rechnung zu tragen.

Bei den *Actinobacteria* handelt es sich um heterotrophe, überwiegend aerobe Bakterien, die in ihren morphologischen, physiologischen und zytochemischen 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).

Abbildung 10

Myzel eines Aktinobakteriums *(Nocardiopsis alba)* unter dem Mikroskop nach Gramfärbung
(1000-fache Vergrößerung)



Quelle: Plaschkies, Mycolabor Dresden

Charakteristisch für viele Aktinobakterien ist die Fähigkeit, ein Myzel (Substratmyzel) auszubilden. Die Hyphen sind im Vergleich zu Schimmelpilzhyphen deutlich dünner (ca. 1 µm, siehe Tab. 1). Bei vielen Arten sind freie Myzelstränge aus den Oberflächenkolonien in den Luftraum (Luftmyzel) erkennbar, wodurch sie ein charakteristisches pulvriges bzw. samtiges koloniemorphologisches Bild aufweisen. 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 (siehe Abb. 10).

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 *Streptomycetes-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 Deutsche Kommission für Arbeitsschutz und Normung die Gattungen *Actinomyces, Mycobacterium, Frankia, Dermatophillus, 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 zytochemischen Merkmale sind also Aktinobakterien schon seit langem Gegenstand des klinischen wissenschaftlichen Interesses (siehe Kap. 2).

Aktinobakterien stellen einen wichtigen Bestandteil der mikrobiellen Gemeinschaft in Räumen mit Feuchteschäden dar. Es wurden insbesondere *Streptomyces, Amycalotopsis, Pseudonocardia, Nocardia* und *Promicromonospora* nachgewiesen.

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.

1.4.2 Nachweis und Identifizierung von Aktinomyzeten

Viele Aktinobakterien können nicht einfach 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 myzelbildende Aktinobakterien nachzuweisen, da sie auf Agar morphologisch relativ gut erkennbare Kolonien bilden. Es wird vorgeschlagen, für die Praxis den Begriff Aktinomyzeten für die auf Agarplatten zu erkennenden myzelbildenden Aktinobakterien zu verwenden.

Der Nachweis und die Identifizierung von Aktinomyzeten gestaltet sich schwieriger als der von Schimmelpilzen.

Beim Einsatz von Standardmedien werden Aktinomyzeten 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 Bakterien mit sehr unterschiedlichen Wachstumsansprüchen enthält. Um diese zu berücksichtigen und alle Aktinomyzeten zu erfassen, müssten unterschiedliche Nährmedien verwendet werden.

Eine generelle Untersuchung von Aktinomyzeten bei Feuchteschäden ist nicht sinnvoll. Bei bestimmten Fragestellungen (siehe Kap. 5) kann es aber wichtig sein, zu untersuchen, ob bei einem Feuchteschaden ein Aktinomyzetenbefall im Material vorliegt. Für solche Fälle wird empfohlen, die Aktinomyzeten auf Mineralagar nach Gauze zu isolieren (siehe Kap. 5).

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. Nur mit molekularbiologischen Methoden können Aktinomyzetenisolate relativ effizient zumindest auf Gattungsniveau differenziert werden. Diese Untersuchungen sollten nur in dafür spezialisierten und auch ausgewiesenen Laboratorien durchgeführt werden.

2

Wirkungen von Schimmel in Innenräumen auf die Gesundheit des Menschen

Schimmelwachstum im Innenraum ist als Gesundheitsrisiko zu betrachten, auch ohne dass ein quantitativer und kausaler Zusammenhang zwischen dem Vorkommen einzelner Schimmelpilzarten oder bestimmten biogenen Schadstoffen und Gesundheitsbeschwerden gesichert hergestellt werden kann[1].

Wissenschaftliche Erkenntnisse zu gesundheitlichen Wirkungen und Zusammenhängen bei Schimmelbefall/Feuchte in Innenräumen liegen für mehrere Beschwerdebilder vor, für andere Beschwerdebilder sind sie gegenwärtig gering (siehe Tab. 5).

Bei der Beurteilung der Auswirkung von Schimmelbefall auf die Gesundheit der Raumnutzer muss einerseits deren gesundheitliche Situation (Prädisposition) und andererseits das Ausmaß des Schimmelbefalls mit der Freisetzung von Bioaerosolen (Exposition) berücksichtigt werden. Die AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie[1] gibt wichtige Hinweise für die medizinische Diagnostik bei Schimmelbefall.

Bevölkerungsbezogene Studien haben hinreichend gezeigt, dass Menschen, die Feuchte/Schimmel in Innenräumen ausgesetzt sind, einem erhöhten Risiko vielfältiger Atemwegserkrankungen unterliegen (siehe Tab. 5).

Vor allem bei Kindern, die in Wohnräumen mit sichtbarem Schimmelbefall/Feuchte aufwachsen, deuten die Studienergebnisse auf eine insgesamt nachteilige gesundheitliche Entwicklung der betroffenen Kinder hin. Bei Kindern mit bestehendem Asthma wird nach neueren Studien ein kausaler Zusammenhang von Schimmelbefall mit einer Verschlimmerung der Erkrankung konstatiert (siehe Tab. 5). Ein Zusammenhang zwischen feuchten Innenräumen und/oder Schimmelbefall und der Entstehung von Asthma, insbesondere bei Kindern kann als gesichert angesehen werden. Darüber hinaus bestehen Zusammenhänge mit der Entwicklung von Asthma und der Verschlimmerung von Asthma bei Erwachsenen, mit Atemwegsinfektionen, sowie mit Symptomen wie Husten, keuchenden Atemgeräuschen und Atemnot (siehe Tab. 5). Schimmel in Innenräumen scheint ebenfalls mit Bronchitis und allergischer Rhinitis (Heuschnupfen) verknüpft zu sein, allerdings sind die Belege für den Heuschnupfen noch nicht eindeutig und es liegen nur wenige Studien zur Bronchitis vor (WHO Guidelines 2009).

Es ist zu beachten, dass länger andauernde oder periodisch auftretende Feuchte in Innenräumen auch ohne sichtbares Schimmelwachstum mit einem erhöhten Risiko einer Erkrankung der Atmungsorgane, einer Atemwegsinfektion oder der Verstärkung einer vorhandenen Asthmaerkrankung einhergeht. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in Räumen, die andauernd feucht sind, mit hoher Wahrscheinlichkeit verdeckte Schimmelschäden oder nicht sichtbares Schimmelwachstum auftreten. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Zusammenhänge von Feuchte/Schimmelbefall und gesundheitlichen Beschwerden.

1 AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie „Medizinisch-klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen“ AWMF Register Nr. 161-001 – Endfassung

Tabelle 5

Stärke der Zusammenhänge zwischen einem Feuchte/Schimmelbefall in Innenräumen und gesundheitlichen Beschwerden, die in epidemiologischen Studien beobachtet wurden

Stärke des Zusammenhangs	Symptome
ausreichende Hinweise für einen ursächlichen (kausalen) Zusammenhang	· Verschlimmerung und Verstärkung der Symptome einer bestehenden Asthmaerkrankung bei Kindern
ausreichende Hinweise für einen Zusammenhang *(Daten lassen Zusammenhang als wahrscheinlich erscheinen)*	· Verschlimmerung und Verstärkung der Symptome einer bestehenden Asthmaerkrankung · Symptome der oberen Atemwege · Husten · Keuchende Atemgeräusche · Entwicklung einer Asthmaerkrankung · Atemnot · Aktuell bestehendes Asthma · Atemwegsinfektionen
begrenzte Hinweise für einen Zusammenhang *(Daten lassen Zusammenhang als möglich, aber nicht gesichert erscheinen)*	· Vorkommen von Bronchitis · Vorliegen von Symptomen des allergischem Schnupfens (Heuschnupfens)
unzureichende Hinweise für einen Zusammenhang *(Daten wurden geprüft, sind aber nicht ausreichend, um einen Zusammenhang zu belegen)*	· veränderte Lungenfunktion · Auftreten einer Allergie oder Atopie · Auftreten von Asthma jemals im gesamten Leben (muss nicht aktuell vorliegen und Symptome verursachen)

Quelle: nach WHO-Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould, 2009, ergänzt durch Kanchongkittiphon et al., 2015: Indoor Environmental Exposures and Exacerbation of Asthma: An Update to the 2000 Review by the Institute of Medicine, Env. Health Perspectives 123: 6–20.

Es wurden bislang nur wenige Studien durchgeführt, die den Effekt einer Verringerung der Feuchte und des Schimmelbefalls in Innenräumen untersucht haben. Diese wenigen Studien zeigen jedoch, dass eine Verringerung der Feuchtelast in Innenräumen nachteilige gesundheitliche Effekte (Asthma, respiratorische Allergien) mindern kann.

Von Bewohnern von Räumen mit Feuchteschäden und Schimmelbefall 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 Feuchte, bekanntem Wasserschaden, sichtbarem Schimmel oder Schimmelgeruch erfasst wurde. Bei den vorliegenden quantitativen Messungen wurden nur wenige

Schimmelpilzarten bestimmt, andere Einflussgrößen wie (Aktino-) Bakterien, Milben, sowie Zellbestandteile und biogene Substanzen blieben meist unberücksichtigt, obwohl sie ebenfalls zu gesundheitlichen Problemen beitragen können.

Feuchte und Schimmelbefall in Innenräumen sind mit einem **erhöhten Risiko für Atemwegserkrankungen** sowie für eine Entwicklung und Verschlimmerung von Asthmasymptomen bei den Raumnutzern verbunden.

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 kann.

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 von einer Risikoerhöhung für bestimmte gesundheitliche Beschwerden ausgegangen werden.

Besonders zu schützende Risikogruppen sind Patienten unter bestimmter Immunsuppression sowie Personen mit Mukoviszidose oder Asthma bronchiale. Das Risiko für die Entwicklung eines Asthmas ist erhöht bei Patienten mit allergischer Rhinokonjuktivitis oder Rhinosinusitis sowie bei Patienten mit Atopie[2].

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 (bzw. deren Bestandteilen) ausgehen können, ist die Fähigkeit zur Auslösung von Infektionen auf wenige Schimmelpilzarten beschränkt.

2 AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie „Medizinisch-klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition im Innenräumen“ AWMF Register Nr. 161-001 – Endfassung

Aktinobakterien (siehe Kap. 1.4) können wie Schimmelpilze neben Allergien auch irritative Reaktionen und bei massiv immungeschwächten Personen Infektionen hervorrufen. Außerdem produzieren sie zum Teil sehr stark „schimmlig“ oder modrig riechende Geruchsstoffe. Zum Erkennen von Schimmelbefall ist es trotzdem ausreichend, nur auf Schimmelpilze als Indikatororganismen zu untersuchen. Werden bei bestimmten Fragestellungen (siehe Kap. 5) Aktinobakterien untersucht und in hohen Konzentrationen nachgewiesen, gibt es jedoch keinen begründeten Anlass, Aktinobakterien bei der Bewertung zu vernachlässigen oder sie im Vergleich zu Schimmelpilzen als harmloser einzustufen.

Demgegenüber deuten hohe Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Luft auf verunreinigte oder stark belegte Innenräume hin, ohne dass eine gesundheitliche Relevanz besteht.

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) oder die exogen allergische Alveolitis, treten in der Regel nur an bestimmten Arbeitsplätzen auf und kommen im Allgemeinen in Wohnungen oder Büros nicht vor.

2.1 Allergische Reaktionen

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

Ein Nachweis spezifischer Antikörper (IgE) 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 beim Einatmen von Schimmelpilzen (Sporen oder Myzelbruchstücke) ist das Auftreten von Allergien. 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. Bislang können nur wenige Schimmelpilzarten routinemäßig getestet werden. Manche Tests erfassen nur typische Außenluftarten. Mit solchen Tests lassen sich Allergien gegen Schimmelpilze in Innenräumen daher nicht nachweisen.

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.

Allergien, die durch Schimmelpilze in der Außen- und der Innenraumluft hervorgerufen werden, wurden europaweit in der Gesamtbevölkerung mit einer Häufigkeit zwischen 3 % und 10 % nachgewiesen. Meist sind die betroffenen Personen bereits gegenüber mehreren Allergenen sensibilisiert. Nach Ergebnissen des Kinder-Umwelt-Surveys von 2003 bis 2006[3] 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 %). 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 einer Untersuchung des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg an 490 Schulkindern waren 3,7 % gegenüber Schimmelpilzen sensibilisiert, die überwiegend in der Außenluft vorkommen (*Cladosporium herbarum*, *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*). Gegenüber

3 Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/2006, Sensibilisierungen gegenüber Innenraumschimmelpilzen. Umweltbundesamt, Schriftenreihe Umwelt und Gesundheit 05/2011. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4176.pdf

Innenraum-typischen Schimmelpilzarten war die Sensibilisierungsrate deutlich geringer (z. B. 1,2 % gegen *Penicilium chrysogenum* und 0,2 % gegen *Aspergillus versicolor).*

Zu den allergischen Symptomen, die durch eingeatmete schimmelpilzhaltige Außen- oder Innenraumluft ausgelöst werden können, zählen z. B. Rhinitis (Heuschnupfen-ähnliche Symptome) oder Asthma. 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 *Alternaria alternata*-Sporen/m^3 oder 10^3 *Cladosporium herbarum*-Sporen/m^3) 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.

Die Bestimmung spezifischer IgG-Antikörpern gegenüber Schimmelpilzallergenen im Blut ist für die Diagnostik bei Schimmelpilzexpositionen in Innenräumen nicht sinnvoll, da sie keine Rückschlüsse auf das Vorhandensein einer Sensibilisierung oder den Schweregrad einer allergischen Reaktion zulässt. Ein Nachweis dieser Antikörper besagt nur, dass die Person irgendwann gegenüber diesen Schimmelpilzen – z. B. in der Außenluft, am Arbeitsplatz oder in der Wohnung – exponiert war.

INFOBOX 2

Was ist eine Sensibilisierung; wie entsteht eine Allergie und was ist eine Atopie?

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 und tritt kurze Zeit nach Kontakt mit dem Antigen auf (Allergie vom Soforttyp). 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.

2.2 Reizende, toxische und geruchliche Wirkungen

Bei in vivo- und in vitro-Untersuchungen mit Bioaerosolen aus feuchten Gebäuden wurden auch Entzündungsreaktionen sowie toxische, immunsuppressive und immunmodulatorische Wirkungen beobachtet.

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

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

Die Substanzen, von denen vermutet wird, dass sie zu unspezifischen gesundheitlichen Wirkungen von Schimmelpilzen und Bakterien im Innenraum beitragen können, werden routinemäßig bei Schimmelbefall nicht erfasst, da keine standardisierten Methoden und keine Bewertungsmaßstäbe vorliegen.

Schimmel in Innenräumen kann zu unspezifischen Reizungen der Schleimhäute der Augen (z. B. Brennen, Tränen), der Nase (Niesreiz, Schnupfen und verstopfte Nase) 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/m^3) am Arbeitsplatz bekannt. Aber auch in „normal“ genutzten Innenräumen wurden solche Symptome 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-ß-D-Glucan) sowie unterschiedliche, von Schimmelpilzen produzierte Stoffe, evtl. auch durch synergistische Wirkungen, Schleimhautreizungen auslösen können.

Die Substanzen, von denen vermutet wird, dass sie zu unspezifischen gesundheitlichen Wirkungen bei Schimmelbefall beitragen können wie Endotoxine, Mykotoxine, MVOC, PAMP (siehe Infobox 3) werden bei Schimmelbefall nicht routinemäßig erfasst, da keine standardisierten Methoden und keine Bewertungsmaßstäbe vorliegen. Vorsorglich sollte bei der Auswahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen (siehe Kap. 6) aber berücksichtigt werden, dass bei Schimmelbefall solche kleinen, sehr mobilen Partikel bzw. Substanzen auftreten können.

INFOBOX 3

Wichtige bei Schimmelbefall im Bioaerosol auftretende Substanzen (routinemäßig nicht untersucht)

ENDOTOXINE
Bestandteil der Zellwand von gramnegativen Bakterien.
Sie 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-ß-D-GLUCAN
Bestandteil der Zellwand von Pilzen.
Vergleichbar mit den aus gramnegativen Bakterien freigesetzten Endotoxinen besteht eine entzündungsfördernde Wirkung. Die Substanz wurde bei Untersuchungen in Bürogebäuden mit mangelhafter Innenraumluftqualität mit dem Auftreten von Schleimhautreizung und Müdigkeit in Zusammenhang gebracht.

MYKOTOXINE
Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen.
Die bisher in Innenräumen gemessenen Konzentrationen an Mykotoxinen sind so niedrig, dass sie keine akuten toxischen Wirkungen auslösen. Es existieren jedoch Hinweise auf immunmodulatorische Wirkungen sowie synergistische Wirkungen mit anderen biogenen Substanzen. Über die gesundheitliche Wirkung bei langfristiger Exposition gibt es bislang keine Erkenntnisse.

MVOC
(aus dem Englischen: Microbial Volatile Organic Compounds)
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 (ng/m^3-Bereich) und können zu Belästigungsreaktionen führen. 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.

PATHOGEN-ASSOZIIERTE MOLEKULARE MUSTER
(PAMP = Pathogen Associated Molecular Patterns) sind charakteristische Strukturmotive bzw. Moleküle von Mikroorganismen oder Viren, die vom angeborenen Immunsystem erkannt werden können. Bei Schimmelpilzen werden insbesondere bestimmte Zellwandbestandteile (z. B. ß-Glukane, Phospholipomannane) als PAMP erkannt. Sie lösen 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. Hierzu besteht Forschungsbedarf.

2.3 Infektionen

Infektionen durch Schimmelpilze (Schimmelpilz-Mykosen) oder Aktinobakterien kommen **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 und Aktinobakterien aufgeklärt werden.

Infektionen durch Schimmelpilze (Schimmelpilz-Mykosen) kommen in Innenräumen nur sehr selten und wenn, dann nur bei stark immungeschwächten Patienten vor. Mykosen werden in der Regel nur durch wenige Schimmelpilzarten (z. B. Pilzarten der Gattung *Aspergillus*) hervorgerufen. Am häufigsten tritt die durch *Aspergillus fumigatus* hervorgerufene Aspergillose auf. Infektionsstellen sind die Haut, die Nasennebenhöhlen, die Ohren und die LungeLunge. Am häufigsten wird die Lunge in Form einer pulmonalen Mykose befallen. Wie Schimmelpilze können auch Aktinobakterien Infektionen hervorrufen.

Neben seltenen Fällen von älteren Patienten mit einer höheren Anfälligkeit für Atemwegsinfektionen 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. Solche Patienten sollten nach Entlassung aus der Klinik im häuslichen Umfeld Räume mit Schimmelbefall und andere Schimmelpilzquellen wie Biomüll oder Zimmerpflanzen meiden. Darüber hinaus wird immunsupprimierten Patienten generell empfohlen, Räume mit Feuchteschäden oder Kellerräume aufgrund einer möglichen Schimmelbelastung zu meiden.

3

Ursachen für Schimmelbefall in Gebäuden

Schimmelpilze und andere Mikroorganismen, die bei Schimmelbefall auftreten, benötigen zum Wachstum vor allem Feuchte (siehe Kap. 1). Erhöhte Feuchte kann durch Baumängel, Wasserschäden oder durch die Raumnutzer verursacht werden. Im Folgenden wird auf diese Ursachen näher eingegangen. Es werden die Einflussgrößen für Feuchteschäden beschrieben, die zu Schimmelbefall führen können (siehe Kap. 3.1). Danach wird auf Feuchteschäden infolge unsachgemäßer Sanierung eingegangen (siehe Kap. 3.2). Eine rasche Ermittlung der Befallsursachen ergibt sich durch Anwendung des „Ursachenbaumes“ (siehe Kap. 3.3 und Anlage 3).

Normative Hinweise zur Schimmelproblematik in Gebäuden findet man in aktuellen Regelwerken zum Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau. Speziell auf die Schimmelproblematik ausgerichtete Normen für den baulichen Bereich gibt es derzeit in Deutschland noch nicht. In Anlage 4 findet sich eine Zusammenstellung aktueller Normen für den Schimmelbereich.

3.1 Bauliche, nutzungsbedingte und sonstige Einflussgrößen

Grundsätzlich ist bei Schimmelbefall zu unterscheiden zwischen

a) baulichen Einflussgrößen wie unzureichende oder unsachgemäße Wärmedämmung, Wärmebrücken, schlechte Feuchtepufferung von Materialien, schadhafte wasserdurchlässige Stellen in der Gebäudehülle, sonstige Leckagen, Neubaufeuchte sowie aufsteigende Feuchte durch unzureichende Abdichtung gegenüber dem Erdreich;

b) nutzungsbedingten Einflussgrößen wie unzureichendes oder unsachgemäßes Heizen und Lüften und

c) sonstigen Einflussgrößen wie Wassereintritt durch Havarien oder Hochwasser.

Feuchteschäden sind oft auch auf eine ungünstige Kombination unterschiedlicher Einflussgrößen zurückzuführen.

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 4). Anhand des Zustandsdiagramms von Luft lassen sich die an einer kühlen Wand ablaufenden Vorgänge genauer erläutern.

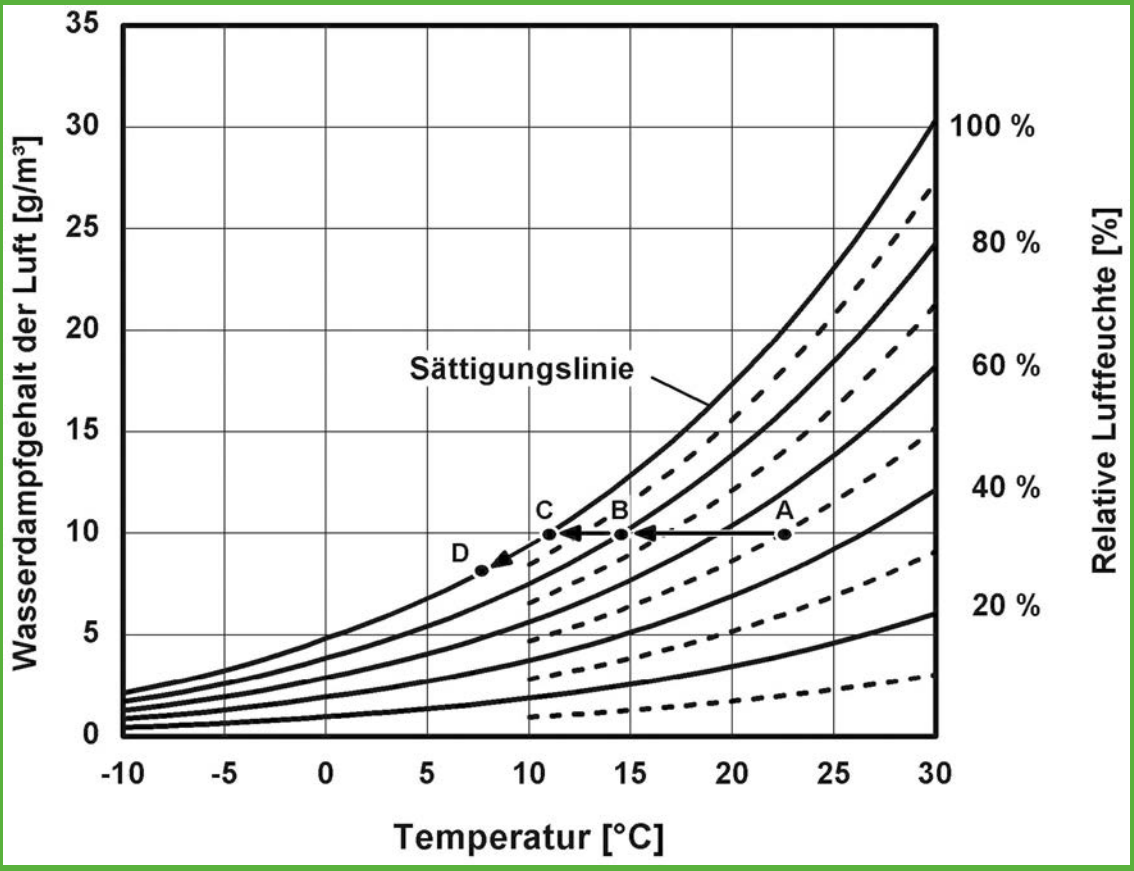
Zur Beurteilung der Ursachen von Feuchteschäden und Schimmelbefall ist die Erfassung der Raumklimasituation durch fachgerechte Bestimmung der Oberflächentemperatur und der Oberflächenfeuchte sehr wichtig (siehe Infobox 5).

INFOBOX 4

Zustandsdiagramm von Luft

Die Abbildung zeigt die relative Raumluftfeuchte (in %) in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur (x-Achse) und vom Wasserdampfgehalt der Luft (y-Achse). Grafik nach Willis Haviland Carrier.

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), wohingegen durch die Raumheizung die Raumlufttemperatur auf 22°C konstant gehalten wird. In Wandoberflächennähe ist der absolute Wassergehalt der Raumluft weiterhin der Gleiche wie in Raummitte (in diesem Beispiel also 10 g/m³). Die Raumluft 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 5

Erfassung der Raumklimasituation

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

Wird die **OBERFLÄCHENTEMPERATUR** an den Wänden gemessen, sollte dies möglichst an verschiedenen Stellen und ggf. zu unterschiedlichen Zeiten erfolgen. Eine einmalige Messung gibt nur unter bestimmten Bedingungen (signifikanter Temperaturunterschied innen/außen) einen Hinweis auf eventuell vorhandene Wärmebrücken. Messungen über längere Zeit liefern aussagekräftigere Ergebnisse. Diese sollten Fachleuten vorbehalten bleiben, die über das nötige Equipment und die Erfahrung bei der Bewertung verfügen.

Zusatzinformationen können aus der Kenntnis des Aufbaus der Konstruktion des Gebäudes (thermohygrometrische Berechnungen) gewonnen werden.

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 hoch ist und genügend gelüftet wurde, eignen sich einfache elektronische Thermo-Hygrometer, die u. a. in Baumärkten günstig erhältlich sind. Allerdings erlauben die damit gemessenen Werte nur eine grobe Einschätzung.

Für die Messung der Ausgleichsfeuchte von Materialien wird auf das WTA-Merkblatt „Messung des Wassergehalts bzw. der Feuchte von mineralischen Baustoffen“ (WTA Merkblatt 4-11, 2016) verwiesen.

3.1.1 Unzureichende Wärmedämmung

Unzureichende Wärmedämmung führt dazu, dass bei niedrigen Außentemperaturen die Innenraumseite der Außenwände auskühlt und sich dort auf Grund von Kondensation der Raumluftfeuchte erhöhte Oberflächenfeuchte bilden kann.

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 (Rsi-Wert) an der Innenseite der Außenwand (siehe auch Kap. 3.1.3) sowie von der Raumlufttemperatur und -feuchte.

Unter stationären Bedingungen – in der Praxis nur näherungsweise erreichbar – kann die Oberflächentemperatur wie folgt berechnet werden:

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

Θ_{si}	[°C]	Oberflächentemperatur innen
Θ_i	[°C]	Raumlufttemperatur
Θ_e	[°C]	Außenlufttemperatur
U	[W/(m² K)]*	Wärmedurchgangskoeffizient
R_{si}	[(m² K)/W]*	Wärmeübergangswiderstand innen

*W= Watt, K = Kelvin

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

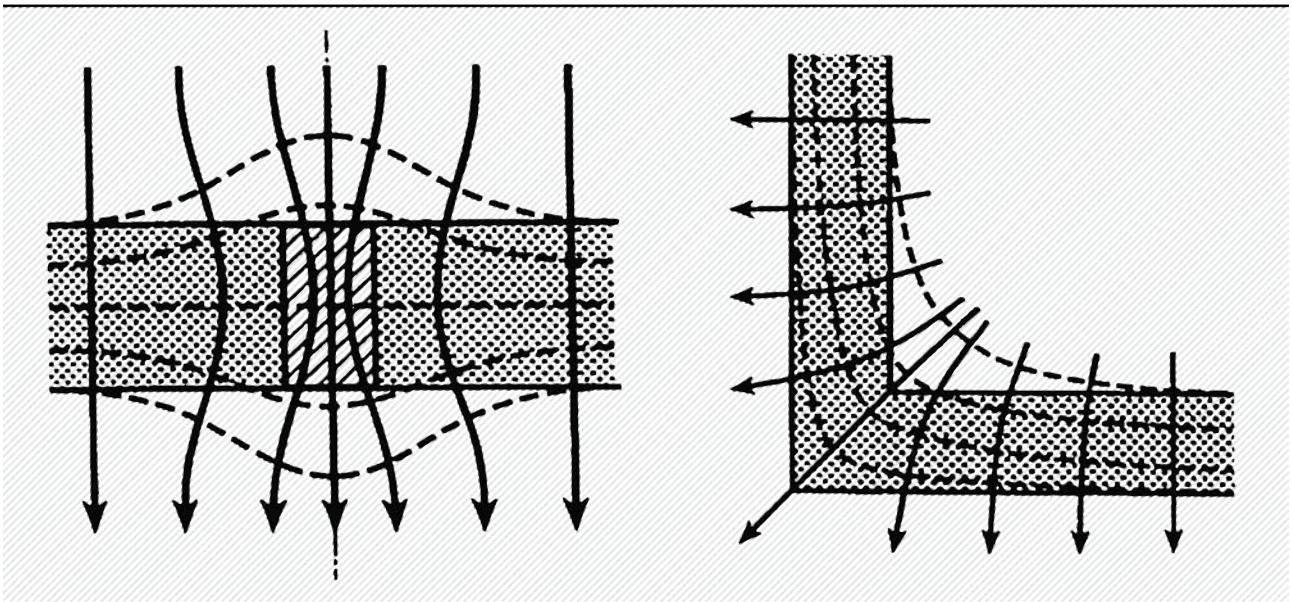
Die Wärmedämmung darf nicht mit der Wärmespeicherung verwechselt werden. Ein höheres Wärmespeichervermögen bei schweren Wandbaustoffen (Massivbauwände) kann Temperaturschwankungen besser ausgleichen als leichte Baukonstruktionen und damit auch für eine bessere Pufferung der Raumlufttemperatur sorgen (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 ausreichendes 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 oder 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. 11 rechts und Abb. 12) oder durch die Verwendung von Baustoffen mit sehr unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit (z. B. Tragpfeiler in einer Wand, Holzbalken im ausgebauten Dachgeschoss etc., siehe Abb. 11 links). Die Folgen von Wärmebrücken bedingen in der kühlen Jahreszeit – neben Heizenergieverlusten – eine geringere raumseitige Oberflächentemperatur der betroffenen Bauteile, eine Erhöhung der Oberflächenfeuchte und damit ein erhöhtes Risiko für Kondensation und Schimmelbefall entlang der Wand.

Abbildung 11

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.

Quelle: nach Gertis, Fraunhofer Institut für Bauphysik

3.1.3 Erhöhte Wärmeübergangswiderstände

Durch die Behinderung der freien Luftströmung (Konvektion) in Gebäudeecken wird ein erhöhter Wärmeübergangswiderstand erzeugt. Die warme Raumluft erreicht die Ecken des Raumes nur unzureichend. Gerade bei Außenwandecken 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 Außenwandecken beobachtet.

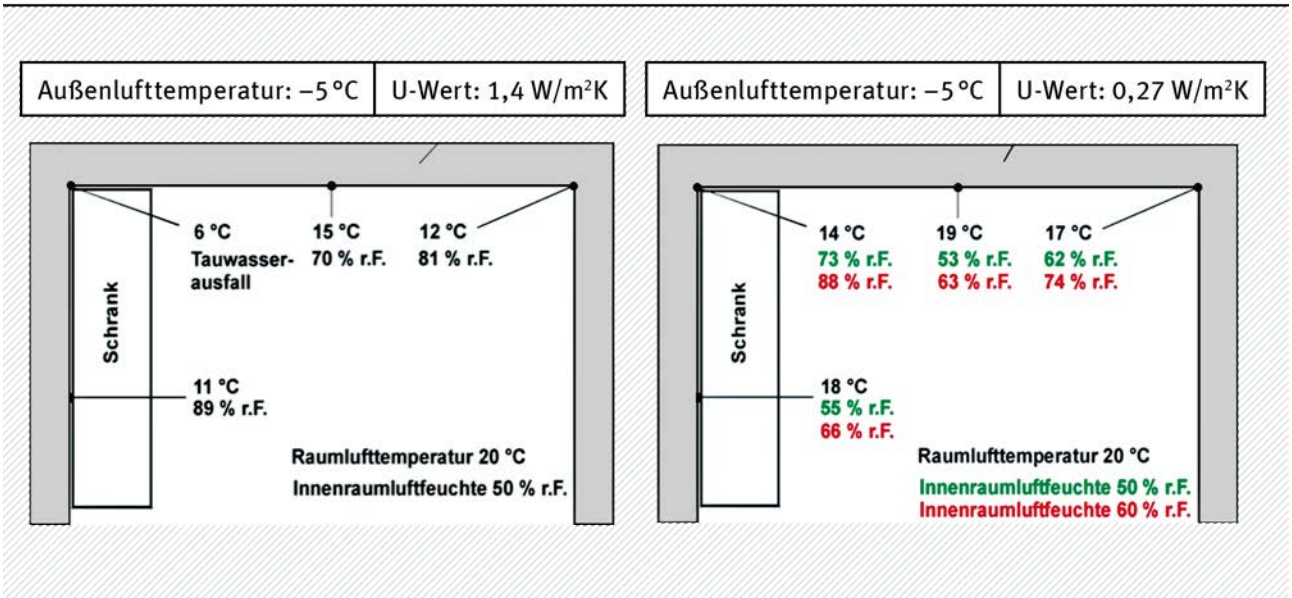
Möbel, Gardinen und dergleichen stellen kaum einen Widerstand für die Raumluftfeuchte dar, d. h. die Raumluftfeuchte dringt bis hinter die Möbel an die Wände. Gleichzeitig gelangt aber die Wärme im Raum – durch verringerten konvektiven und strahlungsbedingten Wärmeübergang – nur unzureichend hinter die Möbel und Gardinen. Möbel und Gardinen verursachen also erhöhte Wärmeübergangswiderstände. Durch die Kombination beider Effekte wird entlang von Wandbereichen mit Möbeln die relative Luftfeuchte an der Wand zusätzlich erhöht (siehe Abb. 12). Dies kann zu Schimmelbefall führen.

Möbel, Gardinen und sonstiges Inventar sollten bei unzureichend gedämmten Außenwänden immer einige Zentimeter von der Wand entfernt aufgestellt bzw. angebracht werden, damit die warme Raumluft ungehindert auch hinter diese Einrichtungsgegenstände strömen kann und damit zum einen die Wand erwärmt und zum anderen Feuchte von der Wandoberfläche mit dem Luftstrom mitgenommen wird. Hilfreich ist es auch, Möbelstücke auf Füße zu stellen, damit eine verbesserte Hinterlüftung erreicht wird. Bereits bei der Planung von Wohnungseinrichtungen sollte zudem verstärkt darauf geachtet werden, dass Einbauschränke (z. B. Küchenschränke) nicht direkt an unzureichend gedämmte Außenwände ohne ausreichenden Luftspalt zum Raum hin eingebaut werden. Bei gut gedämmten Niedrigenergie- und Passivhäusern moderner Bauart ist die Anordnung von Möbeln an Außenwänden in der Regel (bei ausreichender Lüftung) unproblematisch.

Die zusätzlichen Wärmeübergangswiderstände sind vor allem bei unzureichend gedämmten Altbauten problematisch (siehe Abb. 12, 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. 12, oben).

Abbildung 12

Zusammenfassende Darstellung der Folgen eines erhöhten Wärmeübergangswiderstands (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 Innenraumseite der Außenwände



Links: Gebäude mit geringem Wärmedämmstandard (U-Wert = 1,4 W/m²K).
Rechts: Gebäude mit hohem Wärmedämmstandard (U-Wert = 0,27 W/m²K).

Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

Bei gut gedämmten Bauwerken ist eine Möblierung an der Außenwand/-Ecke unkritisch (siehe Abb. 12, unten), solange nicht zusätzlich beispielsweise durch nicht ausreichende Lüftung eine erhöhte Innenraumluftfeuchte gegeben ist (in Abb. 12, 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 %, die Schimmelbefall ermöglicht. Abbildung 12 stellt die theoretisch errechneten Werte unter stationären Bedingungen dar. In der Praxis treffen diese Vorgaben nicht immer exakt zu.

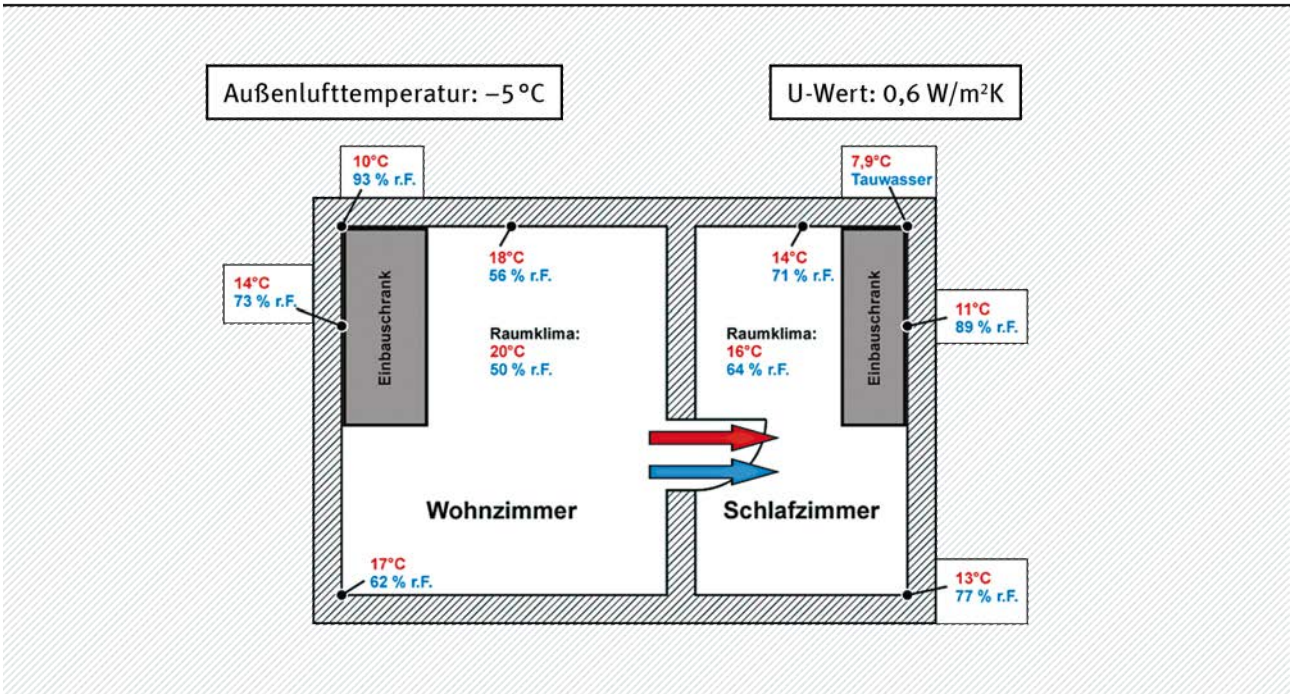
3.1.4 Unzureichende oder unsachgemäße Beheizung

Heizen bewirkt eine Erhöhung der Raumlufttemperatur und damit bei gleichem absolutem Wassergehalt der Luft eine Verringerung des relativen Wassergehalts der Luft. Außerdem wird durch eine Beheizung des Raumes auch die Oberflächentemperatur der Innenwände erhöht. Beide Effekte tragen somit zu einer Vermeidung von Schimmelwachstum bei.

Werden einzelne Räume wenig oder gar nicht beheizt wie Schlafzimmer, Gästezimmer oder Abstellräume, erhöht sich im Umkehrschluss die Gefahr von Schimmelwachstum. Die abgesenkte Innenraumlufttemperatur sorgt dann nicht nur für eine erhöhte relative Raumluftfeuchte, sondern auch

Abbildung 13

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: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

für niedrigere Oberflächentemperaturen (siehe Abb. 13). Im Schlafzimmer wird durch Atmen und Schwitzen (Transpiration) zusätzlich Feuchte freigesetzt. Dadurch erhöht sich die Luftfeuchte und bei kühlen Wänden die Möglichkeit der Wasserdampfkondensation weiter. Gerade Schlafzimmer werden oft zu wenig oder falsch belüftet (zum sachgerechten Heizen und Lüften siehe Ausführungen und Infoboxen 9 und 10 in Kap. 4).

3.1.5 Erhöhte Feuchteproduktion im Innenraum

Eine hohe Feuchteproduktion durch Kochen, Waschen etc. führt zu höherer absoluter Luftfeuchte im Innenraum und damit auch zu höherer Oberflächenfeuchte.

Tab. 6 gibt einen Überblick über die bei verschiedenen Tätigkeiten und Ausstattungen in Innenräumen anfallenden Feuchtemengen. Dabei handelt es sich um Erfahrungswerte; im Einzelfall können die Feuchtemengen deutlich nach oben und nach unten abweichen.

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. 14).

Tabelle 6

Zusammenstellung der Feuchteabgabe durch Aktivitäten der Raumnutzer oder durch Einrichtungsgegenstände in Räumen bei einer Raumlufttemperatur von 20°C

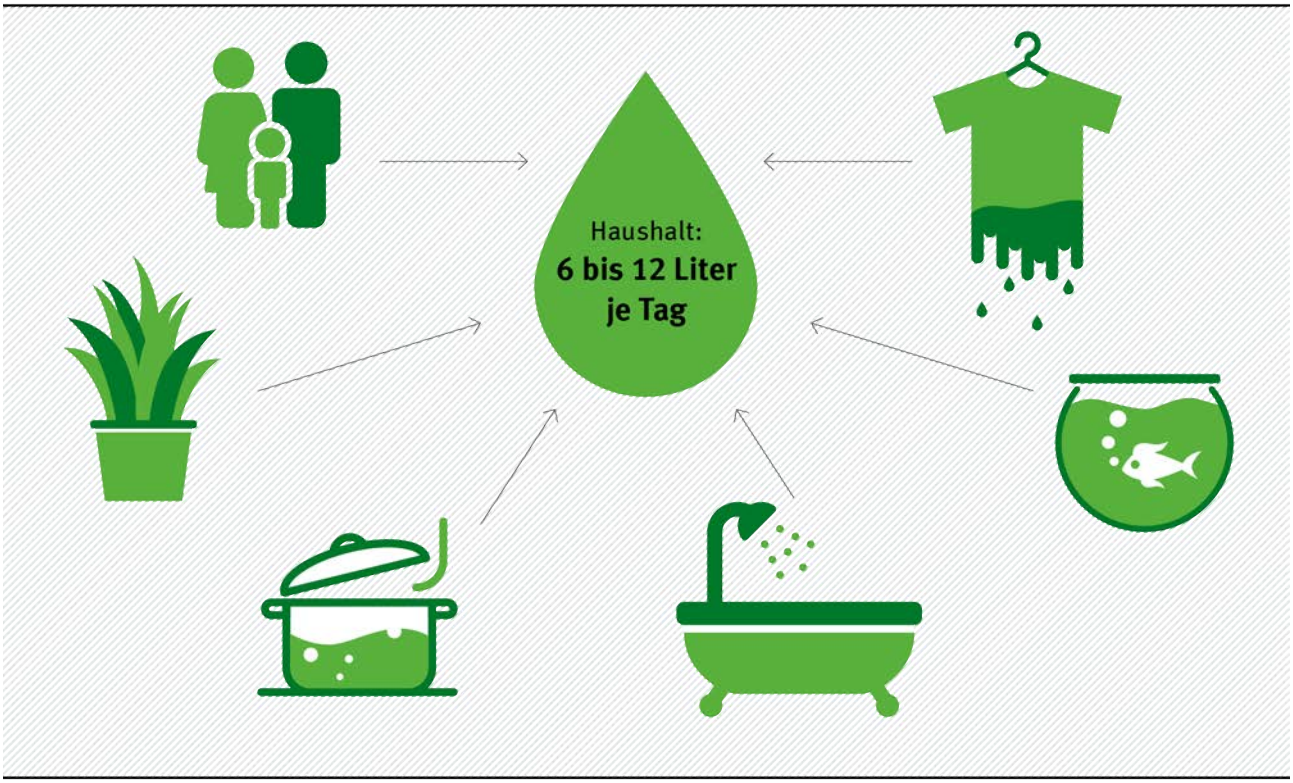
Feuchtequelle	Feuchteabgabe pro Stunde oder Tag bzw. pro m² und Stunde
Mensch, leichte Aktivität	30–40 g/h
trocknende Wäsche (4,5 kg Trommel)	geschleudert: 50–200 g/h tropfnass: 100–500 g/h
Kochen/Duschen pro Person	je 270 g/d
Zimmerpflanzen	1–5 g/h*
Wasseroberfläche	offenes Aquarium: ca. 40 g/m²/h ** abgedecktes Aquarium: ca. 2 g/m²/h

* Kann nach Anzahl und Art der Zimmerpflanzen auch deutlich darüber liegen
** Gramm pro Quadratmeter und Stunde, je nach Umgebungsbedingungen.

Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen, verändert

Abbildung 14

Feuchtequellen in Wohnungen



Besonders in Innenräumen mit hoher relativer Luftfeuchte (siehe Abb. 15) 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 Raumluftfeuchtewerte sind in Abb. 15 dargestellt. Die Daten wurden für normal genutzte, nicht von Schimmel befallene Räume ermittelt. Es zeigt sich ein typischer Jahresverlauf mit niedriger Raumluftfeuchte im Winter und höherer Raumluftfeuchte im Sommer. Zur Vermeidung von Schimmelbefall sollte vor allem in unzureichend gedämmten Gebäuden im Winter die Raumluftfeuchte dauerhaft die angegebenen üblichen Werte nicht überschreiten. In unseren Breiten treten mit Ausnahme von alpinen Regionen auch im Winter nur ausnahmsweise Situationen auf, in denen die Raumluft 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 keine zu hohen Werte erreicht (siehe Abb. 15), da sonst die Gefahr für Schimmelwachstum zunimmt. Luftbefeuchter sollen regelmäßig gereinigt werden.

3.1.6 Unzureichendes oder unsachgemäßes Lüften

Eine ausführliche Beschreibung zum Thema Lüften enthält das Kapitel 4.

Lüften stellt das wirksamste Mittel dar, um Feuchte aus der Wohnung zu entfernen.

Die Effektivität der Lüftung wurde lange Zeit durch die Luftwechselzahl ausgedrückt. Sie gibt an, welches Luftvolumen, bezogen auf das Raumvolumen pro Stunde ausgetauscht und durch Außenluft ersetzt wird. Für Berechnungen des Luftaustausches insbesondere bei lüftungstechnischen Einrichtungen werden heute anstatt der Luftwechselzahl nutzer- und flächenbezogene Außenluftvolumenströme herangezogen.

Vor allem bei geringen Temperaturen im Winter weist die Außenluft auch bei hoher relativer Luftfeuchte (z. B. bei Regen) nur geringe absolute Feuchte auf (siehe Tab. 7). 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. 7). 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. In der Praxis werden über längere Zeit Luftfeuchtegehalte unter 20 % relative Feuchte im Innenraum jedoch nur selten erreicht, da feuchtepuffernde Materialien schon im Zuge des Lüftungsvorganges Feuchte an die Raumluft abgeben (Feuchtepufferung durch Desorption).

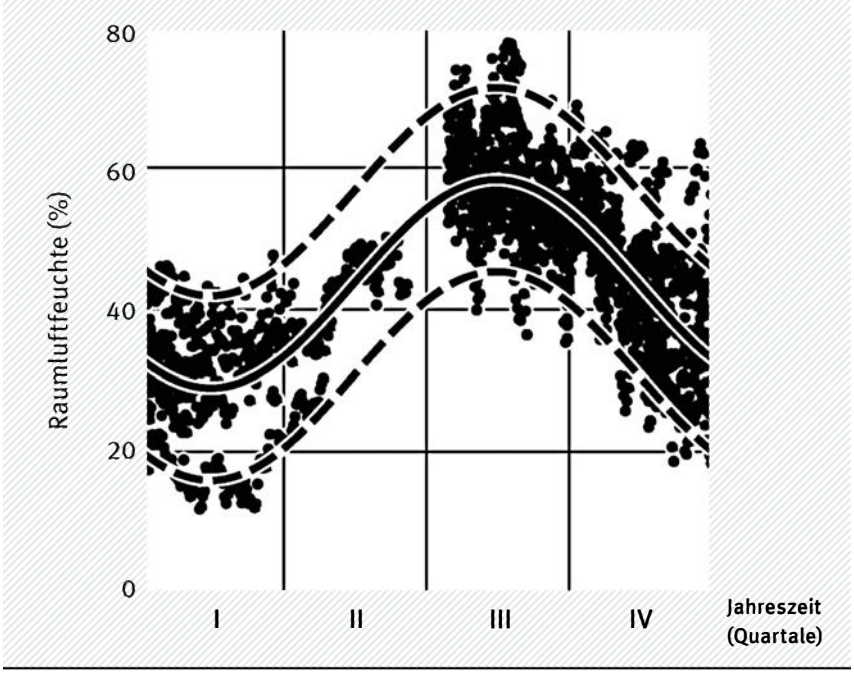
Tabelle 7

Theoretische relative Luftfeuchte im Innenraum bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen durch Erwärmen von 80 % feuchter Außenluft auf 20 °C Innenraumtemperatur bei jeweils gleichbleibender absoluter Feuchte (ohne Berücksichtigung der Feuchtepufferung)

Außenlufttemperatur [°C]	Relative Feuchte außen [%]	Absolute Feuchte [g/m³]	Theoretische relative Innenluftfeuchte bei 20 C [%]
–10	80	1,7	9
0		3,9	21
10		7,5	42
20		13,5	80

Abbildung 15

Typischer Jahresgang der relativen Raumluftfeuchte 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

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 Undichtheiten und Risse auf.

Einen Luftaustausch vom Innenraum nach außen über baulich intakte Wände gibt es nicht. Auch die durch Dampfdiffusion durch die Wände transportierte Feuchtemenge ist im Vergleich zu der durch Lüftung abtransportierten Menge vernachlässigbar. Die Dampfdichtheit des Wandaufbaus hat daher nur minimalen Einfluss auf die Raumluftfeuchte und -qualität. Der in diesem Zusammenhang gern verwendete Begriff der „atmenden" Wände ist lediglich in Verbindung mit der Feuchtepufferung (siehe Kap. 3.1.7) zu sehen, nicht aber als bauliche Unterstützung beim Luftaustausch.

3.1.7 Feuchtepufferung der Baumaterialien

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

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

Die Feuchtepufferung der Baumaterialien verringert, abhängig von dem Puffervermögen des Materials, die täglichen Luftfeuchteschwankungen (siehe auch Infobox 6).

Die feuchtepuffernde Wirkung all dieser Materialien zusammen führt zu einer Verringerung der Raumluftfeuchteschwankungen, was dem Raumklima und der Behaglichkeit zugutekommt. 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 dies Schimmelbefall vorbeugen.

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).

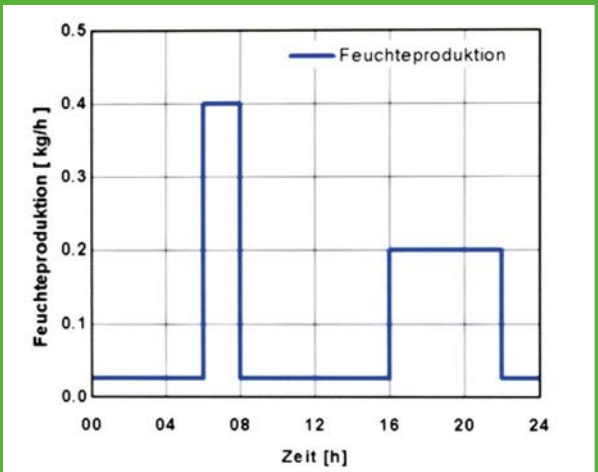
INFOBOX 6

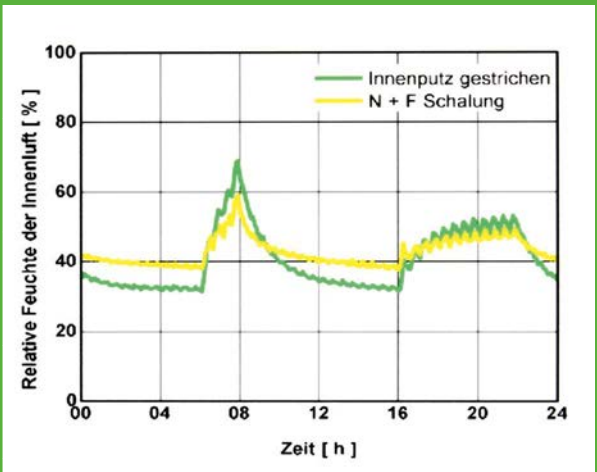
Beispiel für Feuchtepufferung

Den Effekt der Feuchtepufferung kann man messtechnisch untersuchen, indem in einem definierten Raum mit unterschiedlichen Wandbeschichtungen die typische tägliche Feuchtelast eingebracht wird (Bild links) und die relative Raumluftfeuchte 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 Uhr und 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 einer Holzverkleidung im gewählten Beispiel die relative Raumluftfeuchte durch die Pufferung der Wandverkleidung von ca. 60 % auf ca. 40 % 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 Struktur der Wandoberflächenmaterialien ab sowie von der Art des Anstriches (diffusionsoffen, versiegelnd) etc.





Tagesverlauf der Feuchteproduktion (links) und daraus resultierende Feuchteveränderungen der Raumluft (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); (Bildquelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen)

3.1.8 Feuchte in der Baukonstruktion durch Leckagen und aufsteigende Feuchte

Feuchte gelangt auf verschiedenen Wegen in die Baukonstruktion.

Zum einen kann Feuchte von außen ins Gebäude eindringen. Durch Schlagregen kann Feuchte 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 Anschlussfugen beispielsweise bei Fensterlaibungen und -rahmen oder Undichtheiten im Dachbereich. Aufsteigende und seitlich eindringende Feuchte kann über unzureichend gegen das Erdreich abgedichtetes Mauerwerk, Fundamente und Kellerwände erfolgen.

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

Bei allen **Feuchteschäden in der Baukonstruktion** ist es erforderlich, die **Ursachen** des Feuchteeintritts umgehend zu **beseitigen und** die betroffenen Gebäudebereiche unverzüglich zu **trocknen,** um das Entstehen von sichtbarem und verdecktem Schimmelbefall zu vermeiden (siehe 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 die Wärmedämmeigenschaften und damit 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 Bauausführung 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. Die Frequenz und das Ausmaß nehmen als Folge des Klimawandels und fehlender Rückhalteflächen in der Natur seit Jahren zu. Der Wassereintritt führt in der Folge oft nicht nur zu Schimmelwachstum, sondern auch zu einer mikrobiellen und chemischen 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 fachgerecht ausgeführten außenseitigen Wärmedämmung wird die Möglichkeit von Schimmelwachstum durch die damit verbundenen höheren Temperaturen an der Innenseite der Außenwände und Reduktion von Wärmebrücken verringert.

Ein alleiniger Austausch von Fenstern reicht meist nicht aus, um das Gebäude energetisch zu verbessern und fördert das Vorkommen von Feuchte- und Schimmelschäden (siehe Kap. 3.2.1).

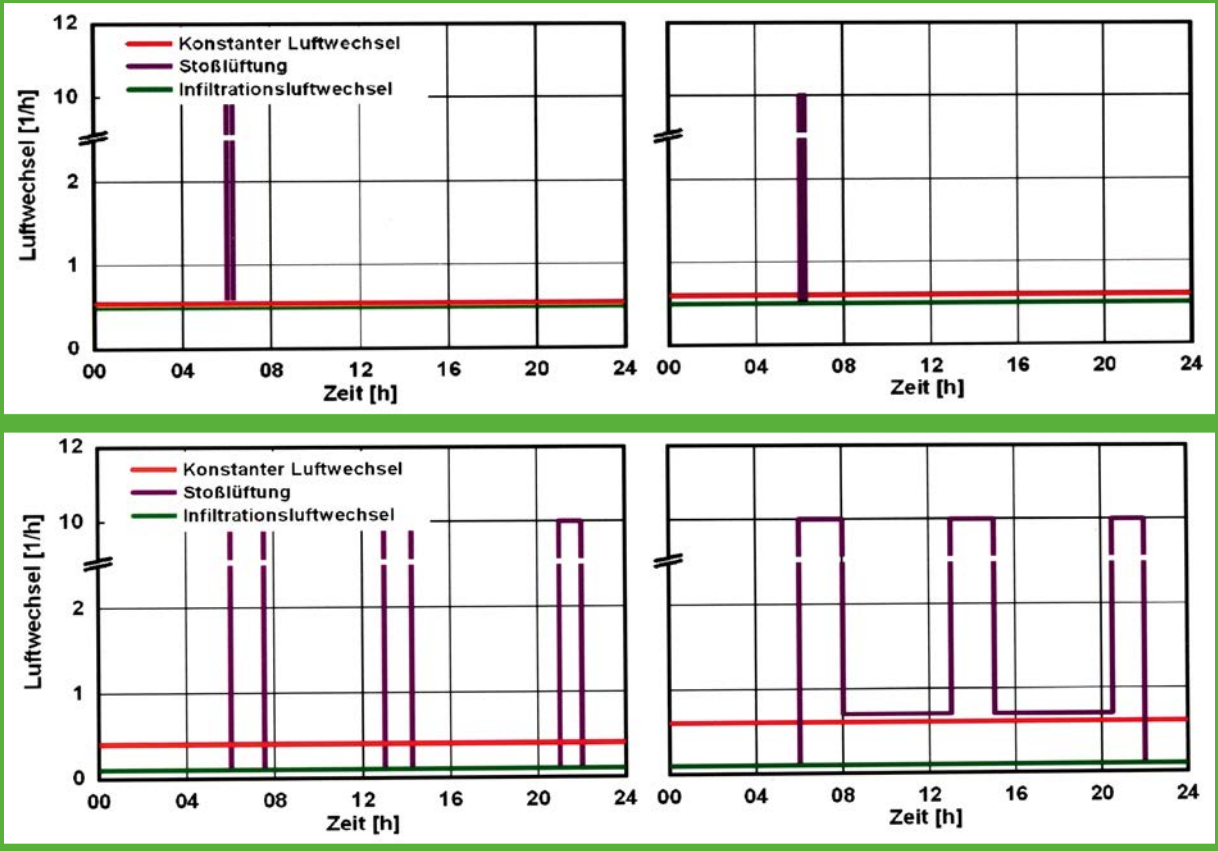
Innendämmungen können, sachgerecht ausgeführt, ebenfalls die Oberflächentemperaturen der Wände erhöhen. Leider werden hierbei hin und wieder Fehler gemacht, die das Risiko für Schimmelwachstum sogar noch erhöhen (siehe Kap. 3.2.2).

Auch unsachgemäß ausgeführte Abdichtungen bei energieeffizient gebauten Gebäuden können Schimmelbefall begünstigen (vgl. Kap. 3.2.3).

INFOBOX 7

Ergebnisse einer Berechnung zum Einfluss unterschiedlicher Lüftungsvarianten auf das Raumklima

Zeitlicher Verlauf der zur Vermeidung von Schimmelwachstum resultierenden Lüftungserfordernisse für das unsanierte Schlafzimmer der Modellwohnung (oben) und für das Schlafzimmer nach dem Einbau dichter Fenster (unten). Dargestellt sind Anzahl und Dauer der notwendigen aktiven Stoßlüftungen (Fenster öffnen, in violett) oder als Alternative der notwendige konstante Luftwechsel (z. B. über Lüftungsanlagen oder Infiltration, in rot), bei denen/dem es auch an den ungünstigsten Stellen im Raum (Außenkanten und -ecken) nicht zu einem Schimmelwachstum kommt. In dieser Berechnung wird auch der Infiltrationsluftwechsel über Undichtigkeiten (grün) berücksichtigt, der bei nicht sanierten Altbaufenstern (oben) hoch (in diesem Beispiel 0,5 h^{-1}) und bei neuen, dichteren Fenstern (unten) sehr gering (in diesem Beispiel 0,1 h^{-1}) ist.



Bei der nicht sanierten Altbauwohnung (Bild oben links) 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 oben rechts), trotzdem kommt man ohne weitere Fensterlüftung 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 der Praxis kaum noch erreicht. Das gilt erst recht, wenn zusätzlich Wäsche in der Wohnung getrocknet wird (Bild unten rechts). In solchen Fällen ist eine Lüftung über technische Lüftungseinrichtungen von Vorteil (rote Linie).

Der Berechnung wurde eine typische 3-Zimmerwohnung im Altbau mit Ziegelmauerwerk mit Mindestwärmeschutz (U-Wert 1,4 W/m²K) zugrunde gelegt. Berechnung: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen.

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 gebaut wurden sowie Gebäude mit späterer Errichtung, die aus heutiger Sicht dennoch unzureichenden Wärmeschutzstandard aufweisen) findet über Fenster und Türen ein gewisser Luftaustausch (Infiltrationsluftwechsel) auch ohne aktives Lüften statt. Dadurch wird bereits ein Teil der im Innenraum produzierten Feuchte nach außen transportiert.

Durch den Einbau dicht schließender Fenster, wie es aufgrund von verschärften Wärmeschutzvorschriften üblich ist, fällt der Infiltrationsluftwechsel weitgehend weg und es muss zum Abtransport der Feuchte mehr aktiv gelüftet werden (siehe Infobox 7). Problematisch sind dicht schließende Fenster insbesondere dann, wenn Wände und andere kritische Bauteile (z. B. Fensterlaibungen) nicht gleichzeitig wärmegedämmt werden und die Außenwände in der Wohnung kalt bleiben. 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 gezeigt werden (siehe Infobox 8). Die Berechnungen zeigen, dass der Einbau neuer dichter Fenster bei geringem Dämmstandard des Gebäudes ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen zu Feuchteproblemen führt. Aus diesem Grund wird beim Einbau neuer dichter Fenster die Erstellung eines Lüftungskonzeptes empfohlen. Nach DIN 1946-6 muss der Luftwechsel zum Feuchteschutz nutzerunabhängig sichergestellt werden. Technische Lüftungseinrichtungen können dabei den Feuchteabtransport unterstützen.

3.2.2 Falsch ausgeführte Innendämmungen

i

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 Auftreten von Schimmelbefall sogar erhöhen können. **Innendämmmaßnahmen sollten** daher **vorzugsweise von Fachfirmen durchgeführt werden**. Auf der Basis des RAL-Gütezeichens Nr. 964 „Innendämmung“ wurde ein Konzept entwickelt und realisiert, dass die Qualifizierung ausführender Fachunternehmen zum Einbau RAL-zertifizierter Innendämmungen vorsieht.

Abbildung 16

Schimmelbefall durch nicht fachgerechten Einbau einer Innendämmung

Quelle: Betz, Sachverständigenbüro für Gebäude- und Innenraumanalytik, Hellertshausen

Innendämmmaßnahmen sind dann das Mittel der Wahl, wenn aus Gründen des Denkmalschutzes oder der Ästhetik die Außenfassade nicht verändert werden darf. Die Innendämmung darf keinesfalls dazu eingesetzt werden, feuchte Wände (z. B. durch aufsteigende oder seitlich eindringende Feuchte oder Undichtheiten) zu kaschieren. Bei feuchten Außenwänden stellen Vorsatzschalen an der Raumseite – auch mit aktiver Hinterlüftung – ein Risiko für Schimmelbefall dar. Vorsatzschalen sollten daher in feuchten Keller- und Souterrainräumen sowie bei sonstigen feuchten Wänden nicht eingesetzt werden.

Die Anbringung 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 im Bauteilinneren durch Dampfdiffusion sowie Fehlstellen bei der Innendämmung (siehe Infobox 8). Deutlich weniger Probleme entstehen durch diffusionsoffene, vollflächig verklebte Dämmstoffe oder den Einbau von Installationsebenen. Für das Anbringen einer Innendämmung sollten Fachleute zu Rate gezogen werden, da für den Laien die möglichen späteren Probleme meist nicht erkennbar sind.

Häufig kann auch im Bereich von Wanddurchbrüchen und Steckdosen Feuchte hinter die Dämmfassade gelangen. Wanddurchbrüche müssen daher besonders sorgfältig ausgeführt werden. Mit raumseitig vor der Innendämmung angeordneten Installationsebenen können Durchbruchstellen in der Dämmebene vermieden werden.

Ein Problem kann auch Schlagregen darstellen, wobei die Feuchte durch die Außenwand bis zur Raumseite vordringt, dort wegen der Innenwanddämmung aber nicht abtrocknen kann. Die jahrhundertelang bewährte zusätzliche Verkleidung von Außenwänden auf der Wetterseite mit regendichten Materialien wie bspw. Schieferschindeln kann auch bei der energetischen Altbausanierung mit Innendämmung eine sinnvolle Lösung zur Vermeidung dieser Probleme sein.

INFOBOX 8

Probleme bei Innendämmung vermeiden

HINTERSTRÖMUNG DER INNENDÄMMUNG

Durch die Dämmmaßnahme kann die Temperatur hinter der Dämmung unter den Taupunkt der Raumluft sinken. Luft aus dem Wohnraum, die über Konvektion 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.

KONDENSATION DURCH DAMPFDIFFUSION

Die Temperatur der Oberfläche hinter der Innendämmung sinkt bei steigendem Dämmwert zeitweise deutlich unter die Taupunkttemperatur der Innenluft. Aus diesem Grund eignen sich diffusionsoffene, aber kapillararme Standarddämmstoffe wie z. B. Mineralwolle als Innendämmung nur, sofern der Dämmwert dieser Innendämmung im Vergleich zum Dämmwert des dahinterliegenden 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 konvektionsoffener Spalt auftritt. Selbst bei korrekter Bauausführung ist aufgrund der Bewegungen im Mauerwerk oder Schrumpfungs- und Dehnvorgängen das Auftreten derartiger Fehlstellen nicht immer auszuschließen. Auch hierbei ist die Kapillaraktivität des Dämmstoffes von Vorteil. Ganz wesentlich ist bei einem Innendämmsystem mit Dampfbremse oder Dampfsperre, dass die Folie ordentlich verklebt und nicht beschädigt wird (z. B. durch nachträglich angebrachte Steckdosen oder Dübellöcher in der Wand). Vermeidbar sind solche Beschädigungen durch Verwendung von speziell präparierten Hohlraumsteckdosen oder durch den Einbau von Installationsebenen.

EINBINDENDE DECKEN BZW. INNENWÄNDE

Vor der Anbringung einer Innendämmung ist insbesondere zu prüfen, ob im Übergangsbereich der (bestehenden) Außenwand zur Decke Schimmelprobleme aufgetreten sind. Falls ja, sind die Ursachen zu klären und zu beseitigen, bevor die anschließende Innendämmmaßnahme erfolgt. Liegen nach der thermischen Sanierung eine Nutzungsänderung mit höherer Feuchtelast oder veränderte Lüftungsgegebenheiten (z. B. durch Einbau neuer dichter Fenster) vor, muss zudem die Möglichkeit für späteren Schimmelbefall neu bewertet werden.

FENSTERLAIBUNGEN

Eine Innendämmung ohne Dämmung der Fensterlaibung führt zu einer Absenkung der Temperatur im Laibungsbereich. 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 Dämmlösungen mit gegebenenfalls anderem Dämmstoff mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit als bei der Innendämmung der Wandflächen.

Weitere Informationen zur Innendämmung finden sich im WTA-Merkblatt 6-4 (2016) „Innendämmung nach WTA 1: Planungsleitfaden“ sowie im WTA-Merkblatt 6-5 (2014) „Innendämmung nach WTA 2: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren“.

3.2.3 Unsachgemäß ausgeführte Abdichtungen bei energieeffizient ausgeführten Gebäuden

Bei modernen Gebäuden ist die Dichtheit ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Bei Fehlern in der Dichtheitsebene kann vor allem bei Holzständerwänden und Leichtbaukonstruktionen feuchte Innenraumluft in die Konstruktion gelangen und dort zu massivem Schimmelbefall und zu Befall durch holzzerstörende Pilze führen. Auf die fachgerechte Planung und Ausführung der Dichtheitsebene ist daher ganz besonderes Augenmerk zu legen. In der kalten Jahreszeit liegt meist ein hohes Dampfdruckgefälle von innen nach außen vor. Hierdurch kommt es durch Wasserdampfdiffusion zu einem Feuchtetransport vom höheren zum niedrigen Potential (meist von innen nach außen).

3.3 Ermittlung der Befallsursachen

Bei der Ursachensuche eines Schimmelbefalls sind in erster Linie die Gründe eines zu hohen Feuchtegehalts im befallenen Bereich zu ermitteln. Die möglichen Ursachen sind in einem „Ursachenbaum“ schematisch dargestellt (siehe Anlage 3).

Der Ursachenbaum richtet sich auch an Wohnungsnutzer und -eigentümer, die entweder eine erste Ursache zu einem Schimmelbefall feststellen oder Maßnahmen zur Vorbeugung eines Schimmelbefalls ergreifen wollen. Die Anwendung des Ursachenbaums ersetzt in schwerwiegenden oder komplizierteren Fällen nicht die Hinzuziehung von qualifizierten unabhängigen Sachverständigen.

Häufig ist Schimmelbefall nicht auf einen Sachverhalt zurückführen, sondern die Folge mehrerer, sich überlagernder Ursachen. Beispielsweise kann eine ungünstige Kombination von Wärmebrücken, geringer Innenraumlufttemperatur, niedriger Bauteiltemperatur und hoher Luftfeuchte zu einem Schimmelbefall führen, wobei keiner der Einzelfaktoren allein diesen Effekt bewirkt hätte.

Eine genaue Bestimmung der Ursachen bei Schimmelbefall erfordert häufig einen größeren 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

Schimmelbefall vorzubeugen, bedeutet in erster Linie Maßnahmen zu ergreifen, um erhöhte Feuchte (im Gebäude oder in der Innenraumluft) wirksam zu vermeiden oder zeitnah zu beseitigen.

Viele häufig auftretende Schäden können durch Beachtung technischer und (bau)physikalischer Aspekte (siehe Kap. 4.1) sowie durch sachgerechte Nutzung mit ausreichendem Lüften (siehe Kap. 4.2 und 4.3) und Heizen (siehe Kap. 4.4) vermieden werden.

4.1 Vorbeugende bauliche Maßnahmen

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

Ebenso ist der Wärmeschutz der Außenhülle an Wärmebrücken zu beachten. So kann eine Überprüfung der Dämmung im ersten Winter mittels thermografischer Analyse des Innenraumes zeigen, wo eventuell wärmetechnische Schwachstellen vorliegen.

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

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 Errichtung 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 mehrere Tausend Liter 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. 3.1.9). Je nach Bauausführung und Konstruktion kann die endgültige Durchtrocknung bis zu einigen Jahren dauern.

Aus wirtschaftlichen Gründen besteht seit Jahren die Tendenz, Gebäude zu allen Jahreszeiten so schnell wie möglich zu errichten und zu beziehen. In der Vergangenheit wurde 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 teils offenen Feuerstätten ein stärkerer Luftaustausch gegeben war, fand im Allgemeinen eine rasche Trocknung statt. Die Trocknung von Häusern mittels Zentralheizung gestaltet sich, zudem wenn sie wie heute üblich (luft)dicht gebaut sind, deutlich schwieriger und zeitintensiver.

Baufeuchte, die vor allem bei monolithischer Bauweise und beim Gießen von Estrichen auftritt (siehe Kap. 4.1.1), **muss ausreichend ablüften**, bevor der Innenausbau erfolgt.

Unsachgemäß ist es, Zwischenwände und Vorsatzschalen auf noch feuchten Estrich zu setzen, weil Feuchte von den Materialien aufgenommen wird und nur schwer abtrocknen kann.

Das vollständige Durchtrocknen der Bauteile kann bis zu einige Jahre dauern (vgl. Kap. 3.1.9.).

Bei der Bauausführung sollte darauf geachtet werden, dass der Innenausbau erst erfolgt, wenn die Baufeuchte hinreichend abgeführt wurde. Insbesondere bei Winterbaustellen muss ein detaillierter Plan für die Lüftung und Beheizung während der Bauphase erstellt werden.

Spezielle Probleme treten bei Estrichverlegearbeiten in Gebäuden mit Trockenbauwänden auf, hier kommt es häufig zu (teils verdecktem) Schimmelbefall an den Gipswerkstoffplatten. Eine häufige Ursache für Schimmelbefall in Neubauprojekten ist das Einbringen des Innenputzes und Fußbodenestrichs nach dem Einbau von Fenstern. Wird nach diesen Maßnahmen die im Baustoff eingetragene Feuchte nicht ausreichend

Abbildung 17

Schimmelschaden durch Neubaufeuchte

Quelle: Betz, Sachverständigenbüro für Gebäude- und Innenraumanalytik, Hellertshausen

nach außen gelüftet, bildet sich Schimmel (siehe Abb. 17). Dies betrifft neben Gipswerkstoffplatten häufig auch Holzbauteile im Dachbereich. Im Zuge von Estrichverlegungsarbeiten muss eine definierte Lüftung erfolgen. Bei zu starker Lüftung kann es zu Fehlern bei der Estrichtrocknung kommen, bei zu geringer Lüftung besteht die Gefahr von Schimmelbefall.

4.1.2 Vermeidung von feuchten Baumaterialien

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

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 die ungeschützte Lagerung und der feuchte Einbau von Dämmmaterialien sowie Trockenbauelementen und Holzwerkstoffplatten. Feucht eingebaute Materialien können später nur schwer abtrocknen und es kann in der Folge zu verdecktem Schimmelbefall kommen.

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 Feuchte zu prüfen und gegebenenfalls herzustellen. Darüber hinaus sind auch Schichtaufbauten aus bauphysikalischer Sicht zu prüfen. Räume im Altbau, bestehend aus einer Betonbodenplatte und gemauerten Wänden, vertragen auf Grund undichter Türen und Fenster sowie Wandöffnungen und dem damit verbundenen ausreichenden Luftwechsel problemlos das Eindringen geringer Mengen an Feuchte. Wird jedoch beispielsweise die ursprünglich 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 Feuchte nicht mehr in gleichem Maße an die Raumluft abgegeben werden wie zuvor. Dadurch kann es zu einem Feuchtestau kommen und die Gipskartonwände, der Wandputz oder die Dämmung im Fußboden können 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 würde in diesem Fall genau unter der Garage liegen und wäre von außen nicht mehr erreichbar, ohne die neue Garage wieder abzureißen.

Aufgrund der Komplexität der bauphysikalischen Zusammenhänge und verschiedenartiger Konstruktionen sollten bei derartigen Umbaumaßnahmen Fachplaner hinzugezogen werden.

4.1.4 Überprüfung von Gebäuden im Alltagsbetrieb

Technische Produkte, die Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, werden gewöhnlich regelmäßig inspiziert. Dies ist bei Fahrzeugen und bei gewerblich betriebenen Anlagen vorgeschrieben. Auch bei Gebäuden ist eine regelmäßige Inspektion hilfreich, um Feuchte- und Schimmelprobleme zu vermeiden. Neben baulichen Inspektionen (siehe Vorbemerkung in Kap. 4.1) kommt der Überprüfung im Alltagsbetrieb eine wichtige Rolle zu.

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

Häufig entstehen Schäden durch sehr einfach zu beseitigende Ursachen, wie z. B. mit Laub verstopfte Regenrinnen. Wenn die Dachrinne verstopft (siehe Abb. 18), 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 die später weiteres Schlagregenwasser eindringt.

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

Abbildung 18

Verschmutzte Dachrinne

Quelle: Lorenz, Institut für Innenraumdiagnostik

TIPPS zur Vorbeugung von Wasserschäden an und in Gebäuden:

- Regelmäßig die Regenrinnen und die Fassade kontrollieren.
- Nach Sturm das Dach inspizieren lassen.
- Im Zuge einer Sanierung prüfen, ob alte Wasserrohre getauscht werden müssen.
- Auf möglichen Austritt von Wasser aus Heizungssystemen achten (Druckabfall, Wasserverbrauch beachten)
- Auf Ablösungen und Undichtigkeiten von Silikondichtungen im Badbereich (Dusche, Badewanne) achten.
- Weitere Hinweise finden sich auch in der „Gebrauchsanweisung für Häuser“ des Aachener Instituts für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik[1].

4.2 Richtiges Lüften

Die Raumnutzer können normalerweise dazu beitragen, den Innenraum frei von Schimmelwachstum zu halten, denn durch ausreichendes Lüften (siehe Infobox 9) kann die bei der Nutzung freigesetzte Feuchte ins Freie „entsorgt“ werden. Durch Heizen (siehe Kap. 4.4) wird zu geringen Oberflächentemperaturen von Bauteilen (siehe Kap. 3) entgegengewirkt und der Feuchteabtransport beim Lüften unterstützt. Bei Gebäuden mit baulichen Mängeln, wie zu geringem Wärmeschutz oder unzureichenden Lüftungsmöglichkeiten sind Maßnahmen durch den Raumnutzer im Einzelfall jedoch nicht ausreichend.

Alte, undichte Gebäude verfügen bei geschlossenen Fenstern und Türen über einen höheren Luftwechsel (= größerer Luftaustausch) als neue oder sanierte dichte Häuser. Lüften ist in alten wie neuen (dichten) 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.

1 Schnapauff, V. Richter-Engel, S.: Gebrauchsanweisung für Häuser, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1997

INFOBOX 9

TIPPS zum richtigen Lüften

Die folgenden Tipps beziehen sich auf Gebäude, die über Fenster belüftet werden und über keine technischen Lüftungseinrichtungen verfügen.

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

Auch Räume lüften, die nur kurz oder fast nicht genutzt werden, wie Flure, Gästezimmer oder Abstellräume! Es wird unweigerlich Feuchte aus den genutzten Räumen auch in diese Räume gelangen; diese muss auch dort abgelüftet 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 feuchte Abluft direkt ins Freie transportiert (Ablufttrockner) bzw. das Kondenswasser in das Abwassersystem geleitet oder in einem Behälter gesammelt wird (Kondenstrockner).

„Restfeuchte“ auf den Wandfliesen nach dem Baden oder Duschen mit einem Wischer abziehen! Innenliegende Bäder sollen durch ventilatorbetriebene Abluftanlagen entlüftet werden. Bei fehlender Lüftungsmöglichkeit ist eine nachträgliche Installation einer über Lichtschalter gesteuerten oder besser mittels Feuchtesensoren geregelten Entlüftung mittels Abluftventilator insbesondere bei kleinen Bädern ohne Fenster dringend zu empfehlen.

Abluftschächte (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 oder es muss der Filter vor dem Ventilator gereinigt oder ausgetauscht 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 bewährt. Viele Abzugshauben sind jedoch als Umluftanlagen ausgeführt, die nur Gerüche reduzieren, nicht aber die beim Kochen freigesetzte Feuchte entfernen. Küchen ohne Entlüftungsanlagen müssen während und nach der Nutzung durch ausreichende Fensterlüftung unbedingt „entfeuchtet“ werden.

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

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

Beim Lüften von **kühlen Kellerräumen** bei warmen Außentemperaturen besteht das Problem, dass die im Sommer häufig sehr feuchte Außenluft in den Keller einströmt, dort abkühlt und zur sogenannten „Sommerkondensation“ führt. Dies kann auch bei Souterrainräumen auftreten. Bei warmem und damit feuchtem Außenklima sollte daher nur gelüftet werden, wenn die Außentemperatur nicht über der Kellertemperatur liegt, d. h. gegebenenfalls nachts oder in den frühen Morgenstunden. Tagsüber sollten die Kellerfenster geschlossen bleiben. Reicht eine entsprechend angepasste Lüftung nicht aus, um kritische Feuchte zu vermeiden, sind technische Maßnahmen wie beispielsweise über die absolute Feuchte geregelte Lüftungssysteme erforderlich (siehe Kap. 4.3.3). Auch zusätzlich aufgestellte Luftentfeuchter können in kühlen Kellerräumen helfen. Das aufgefangene Wasser muss, wenn das Gerät nicht an das Abwassersystem angeschlossen ist, regelmäßig entfernt werden.

4.3 Möglichkeiten der Lüftung

Ausreichende Lüftung ist eine Voraussetzung zur Vermeidung erhöhter Luftfeuchte und beugt damit Schimmelbefall vor.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Möglichkeiten der freien Lüftung (siehe Kap. 4.3.1) beschrieben.

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 (siehe Kap. 4.3.2 und Kap. 4.3.3).

Erdwärmetauscher, die allerdings nicht ohne Risiken sind (siehe Kap. 4.3.4), werden genutzt, um die Außenluft vorzukühlen (Sommer) oder vorzuwärmen (Winter).

Wichtig ist bei allen technischen Systemen eine ausreichende Wartung (siehe Kap. 4.3.5).

4.3.1 Freie Lüftung

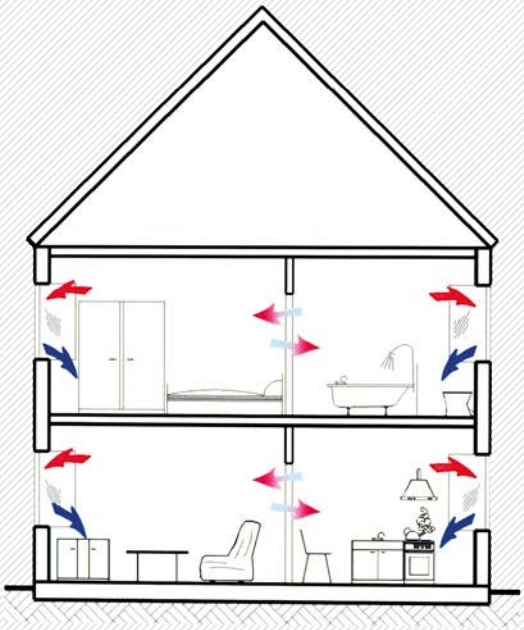
Eine Luftförderung, die durch Ausnutzung natürlicher Druckunterschiede infolge Wind und Thermik (Temperaturunterschiede) entsteht, nennt man „freie Lüftung“. Eine freie Lüftung kann manuell über Fensterlüftung oder baulich über Abluftschächte erfolgen. Unterschiedliche Wetterlagen und Windverhältnisse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

Manuelle Fensterlüftung

Für hohe Lüftungsraten sollen die Fenster im zu lüftenden Raum komplett geöffnet werden (Stoßlüftung, siehe Abb. 19). Die Fensterlüftung ist am wirksamsten, wenn man gegenüber liegende Fenster gleichzeitig öffnet (sog. Querlüftung), da dann die Luft am schnellsten gegen Außenluft ausgetauscht wird.

Abbildung 19

Freie Lüftung – Fensterlüftung (rot = Abluft; blau = Zuluft)



Außenluft tritt über Fenster- und Türfugen in den Raum ein und aus, der Luftwechsel ist vom Winddruck, von der Temperatur und anderen Parametern abhängig und kann durch Öffnen der Fenster gesteuert werden.

Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) 2001

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 kann in der kalten Jahreszeit zudem dazu führen, dass der Fensterlaibungs- und Fenstersturzbereich stark auskühlt und es dann an den ausgekühlten Oberflächen zu Kondensation und damit gegebenenfalls zu Schimmelbildung kommt. Außerdem empfiehlt sich in der kalten Jahreszeit die Kipplüftung über längere Zeiträume nicht, da zu viel Heizenergie verbraucht wird. Bei dichten Gebäuden ist Fensterlüftung je nach Nutzung und Auslastung nicht immer ausreichend und muss ggf. durch mechanische Lüftungseinrichtungen unterstützt oder ersetzt werden.

Schachtlüftung und passive Lüftungsöffnungen

Besonders in älteren Mehrfamilienhäusern mit Bädern oder Toiletten ohne Fenster sind häufig nicht ventilatorunterstützte **Abluftschächte** (Schachtlüftungen) vorhanden. Über einen über das Dach führenden Lüftungsschacht sollen damit Bäder und Küchen durch natürlichen Auftrieb entlüftet werden.

Passive **Lüftungsöffnungen** wie gezielt eingebaute Schlitze oder Öffnungen in Fenstern und ggf. 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 Abluftführung mittels Ventilator gewährleistet die notwendige Feuchteabfuhr wesentlich besser und gezielter. Die Eignung von vorhandenen Schächten für eine ventilatorgestützte Lüftungsanlage (siehe 4.3.2) muss vor der Installation von Fachleuten für Lüftungstechnik geprüft werden.

Schachtlüftungen ohne Ventilatorunterstützung und passive Lüftungsöffnungen z. B. in Badezimmern bewirken einen gewissen Luftwechsel, sind aber für eine gezielte Feuchteabfuhr ungeeignet.

4.3.2 Einfache mechanische Lüftungseinrichtungen

Einfache mechanische Lüftungseinrichtungen wie ventilatorbetriebene Abluftanlagen gewährleisten in der Regel (bei nicht zu hoher Außenluftfeuchte) eine ausreichende Entfeuchtung von Räumen. Alleine betrieben sind solche Anlagen bei dichten Gebäuden jedoch meist nicht in der Lage, einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel zu gewährleisten. Sie können daher kein Ersatz für Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung sein. Sie kommen in Betracht, wenn aus Kosten- oder baulichen Gründen der Einbau von Zu- und Abluftanlagen nicht zeitnah möglich ist.

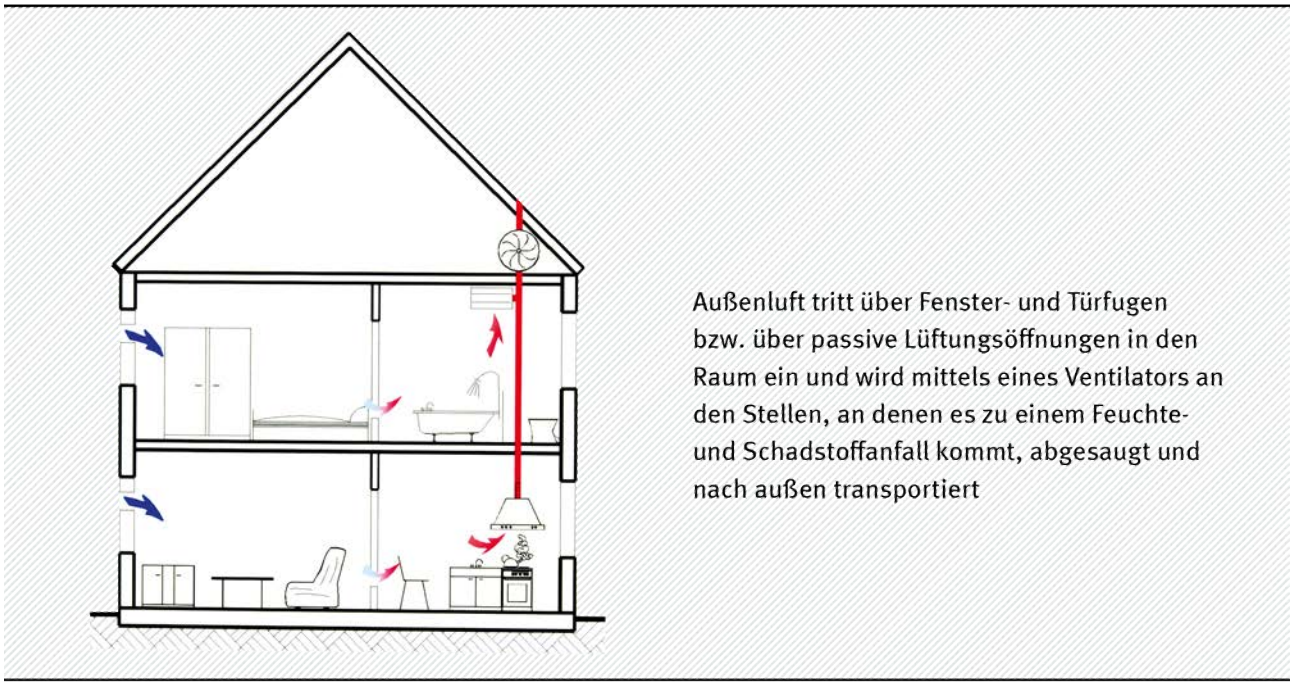
Ventilatorbetriebene Abluftanlagen

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 (Abb. 20). 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. Filter müssen daher regelmäßig überprüft und gegebenenfalls gereinigt oder ausgetauscht werden.

Abbildung 20

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



Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) 2001

Ventilatorgestützte Abluftanlagen in Verbindung mit Außenluftdurchlässen bieten eine einfache Möglichkeit zur zielgerichteten Entfeuchtung. Um einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel zu erzielen, sind kombinierte Zu- und Abluftanlagen besser geeignet. Der Betrieb der Abluftanlagen erfolgt am einfachsten durch Kopplung mit dem Lichtschalter mit Nachlauf, z. B. bei Bädern ohne Fenster. Mitunter reicht dies aber für eine effektive Entfeuchtung nicht aus.

Bei hoher Luftfeuchte können Regler mit Feuchte- und Temperatursensoren sowohl innen als auch außen eingebaut werden, die ab einer gewissen Differenz der absoluten Feuchte innen/außen einen Ventilator einschalten. Einfache Installationen, die lediglich über Innenraumhygrostate geschaltet werden, können insbesondere in den Sommermonaten (höhere absolute Feuchte der Außenluft) zu einer Verschärfung der Feuchteprobleme beitragen (Sommerkondensation in kühlen Räumen).

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.

Bedarfsorientierte mechanische Fensterlüftung

Eine einfache gezielte Lüftungsmaßnahme stellt die bedarfsorientierte mechanische Fensterlüftung dar. Bei erhöhter Luftfeuchte, zu hohen Temperaturen oder zu hohen CO_2-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 können 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, ergeben.

4.3.3 Raumlufttechnische Anlagen mit Zu- und Abluftführung

Komplexer als reine Entlüftungsanlagen sind Anlagen mit Zu- und Abluftführung (raumlufttechnische Anlagen oder kurz RLT-Anlagen), die heute in der Regel mit einer Wärmerückgewinnung versehen werden. Diese Lüftungseinrichtungen haben den Vorteil, dass sie unabhängig vom Nutzungsverhalten für den Luftaustausch sorgen, z. B. bei Abwesenheit der Nutzer.

Der Luftvolumenstrom (und damit der Lüftungserfolg) hängt nicht nur von den Luftdruckdifferenzen innen-außen, sondern auch von der Nutzung der Räume ab. Ein Nachteil dieser Systeme 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 Feuchte, Gerüche, Kohlendioxid und sonstige, im Innenraum unerwünschte Luftinhaltsstoffe abzutransportieren.

Im Schulneubau empfiehlt das Umweltbundesamt in seinem Leitfaden zur Innenraumhygiene in Schulgebäuden (Umweltbundesamt 2009) sowie in den Empfehlungen des Arbeitskreis Lüftung am UBA (Umweltbundesamt 2017) grundsätzlich solche Lüftungseinrichtungen vorzusehen. Im Miet- und Privatwohnungsbau ist der Einbau von RLT-Anlagen derzeit in Deutschland eher die Ausnahme, in angrenzenden Ländern wie der Schweiz und Österreich oder im skandinavischen Raum bei Neubauten oft die Regel.

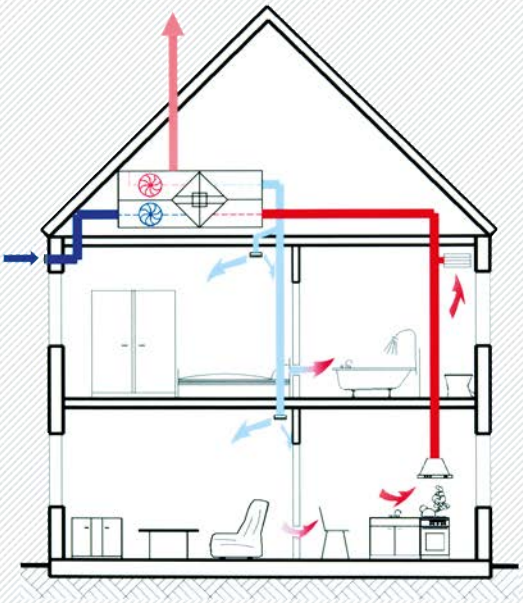
Lüftungsanlagen

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 – in Wohngebäuden auch „Kontrollierte Wohnraumlüftung“ genannt – (siehe Abb. 21) wird mit einem Ventilator Raumluft aus Abluft-R*äumen (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 auch „Komfortlüftung“ genannt (www.komfortlüftung.at).

Abbildung 21

Zentrale Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftführung und Wärmerückgewinnung (rot = Abluft; blau = Zuluft)



Außenluft wird mittels eines Ventilators über eine Außenluftansaugung in das Gebäude eingesaugt und über einen Wärmetauscher und ein Rohrsystem in die Zuluftbereiche geblasen. In den Abluftbereichen (WC, Bad, Küche ...) wird die Luft abgesaugt und wieder über einen Ventilator und einen Wärmetauscher nach außen transportiert.

Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) 2001

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.

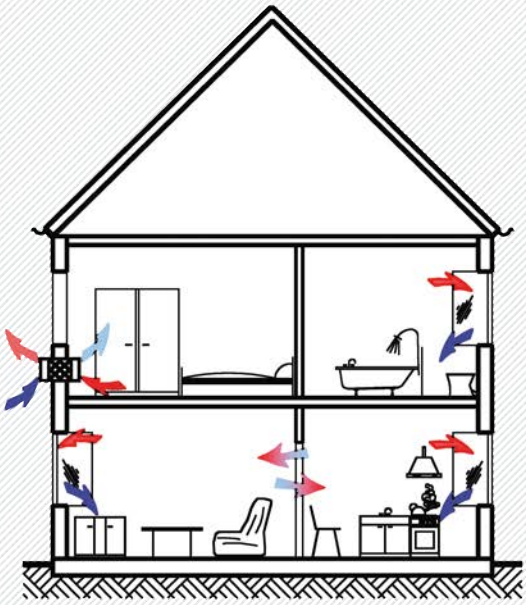
Neuere Anlagen arbeiten zum Teil mit Feuchterückgewinnung sowie einer Bedarfsregelung über Sensoren, damit die Raumluft in den Wintermonaten nicht zu trocken wird. Einige Anlagen berücksichtigen auch die absolute Feuchte der Außenluft und reduzieren das Luftvolumen bei hoher Außenluftfeuchte.

Neben zentralen (gebäude- oder wohnungsweisen) Lüftungsanlagen erfreuen sich dezentrale Lüftungsgeräte (auch Einzelraumlüfter genannt) zunehmender Beliebtheit (siehe Abb. 22). 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.

Für Einzelraumlüfter sind keine längeren Lüftungsleitungen erforderlich (siehe Abb. 22). Die Lüftung lässt sich gut – oft auch mit Zeitprogramm oder Sensoren – an die Raumnutzung anpassen. Besonders wichtig sind leise Ventilatoren, da besonders in den Schlafräumen Lüftungsgeräusche als störend empfunden werden. Nachteile dezentraler Lösungen ergeben sich aus den oft zu geringen Luftleistungen derartiger Geräte, die keine ausreichende Abfuhr anthropogener Luftverunreinigungen erlauben.

Abbildung 22

Dezentrales (raumweises) Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung im Schlafzimmer (rot = Abluft; blau = Zuluft)



Der Luftaustausch erfolgt durch ein kleines, dezentrales Lüftungsgerät (Einzelraumlüfter) mit Wärmetauscher (im abgebildeten Fall im Schlafzimmer) Die Zu- und Abluftöffnungen können sich im gleichen Raum oder in verschiedenen Räumen befinden.

Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) 2001

Einzelraumlüfter eignen sich besonders bei der Altbausanierung, 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. Wohn- und Schlafräume an viel befahrenen Straßen.

Für jedes Lüftungsgerät sind in der Regel Öffnungen in der Außenwand erforderlich. Das Aussehen der Gebäudefassade – und in Einzelfällen auch die Statik – werden dadurch beeinflusst. Besonders bei denkmalgeschützten Gebäuden erschweren architektonische Bedenken oft den Einbau. Es stehen mittlerweile auch Einzellüftungsgeräte, die vollständig in den Fensterrahmen integriert sind und keine derartigen Öffnungen mehr benötigen, zur Verfügung.

Klimaanlagen

Als „Klimaanlagen“ werden zentrale lüftungstechnische Anlagen bezeichnet, wenn die Zuluft zusätzlich be- oder entfeuchtet bzw. gekühlt werden kann. Der Vorteil derartiger Anlagen liegt in der genauen Einstellung des gewünschten Innenraumklimas. Nachteile sind der energie- und kostenintensivere Betrieb und der erhöhte Wartungsaufwand.

Unter **„Klimaanlagen“** versteht man raumlufttechnische Anlagen, die nicht nur eine Temperierung der Luft über eine Wärmerückgewinnung ermöglichen, sondern auch über **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 (VDI 6022 Blatt 1). 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; im Falle von Ozon sogar schädlich.

In Wohnungen sind Klimaanlagen eher die Ausnahme und zur Vermeidung von Schimmelbefall auch nicht erforderlich.

Die VDI 6022 Blatt 1 gibt Hinweise zur hygienischen Gefährdungsbeurteilung, Wartung, Kontrolle und Inspektion von RLT-Anlagen. Dies schließt alle RLT-Anlagen und -Geräte sowie deren zentrale und dezentrale Komponenten ein. Sie gibt außerdem Hinweise zur Prüfung von RLT-Anlagen (Checkliste) und zur Schulung.

4.3.4 Erdwärmetauscher

Damit Außenluft vorgekühlt (Sommer) oder vorerwärmt (Winter) in das Gebäude gelangt, werden Erdwärmetauscher eingesetzt.

Entweder wird die zu temperierende Zuluft direkt über im Erdreich liegende Leitungen geführt (Luft-Erdwärmetauscher) oder ohne direkten Erdkontakt über einen in der Erde liegenden Solekreislauf temperiert (Sole-Erdwärmetauscher).

Die Wandtemperatur der Luft-Erdwärmetauscher ist ähnlich wie bei kühlen Kellerwänden in der warmen Jahreszeit zeitweise niedriger als die

Taupunkttemperatur der Luft. Dann tritt an den Wänden hohe relative Feuchte oder sogar Kondensation auf; mikrobieller Befall kann die Folge sein. Auch bei korrekter Abfuhr der Feuchte und guten Zuluftfiltern ist bei mikrobiellem Befall im Erdwärmetauscher ein Transport von kleineren mikrobiellen Bestandteilen wie Endotoxinen 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.

4.3.5 Wartung technischer Lüftungseinrichtungen

Technische Lüftungseinrichtungen 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 helfen Verschmutzungen im System zu vermeiden und senken den Eintrag von Pollen, Sporen und Feinstaub aus der Außenluft deutlich.

Bestehende Luft-Erdwärmetauscher müssen regelmäßig überprüft und gereinigt werden, da es hier vermehrt zu Kondensation und damit zu einem mikrobiellen Befall kommen kann.

Werden technische Lüftungseinrichtungen installiert, sind die sorgfältige Ausführung beim Bau, die eingestellten Zuluftströme 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 u. a. in der DIN EN 13779, der DIN 1946-6 sowie in der VDI-Richtlinie 6022 Blatt 1 (Hygieneinspektion).

Durch geeignete Filterung der Zuluft werden deutlich niedrigere Luftkeimkonzentrationen von außen der Raumluft zugeführt als bei reiner Fensterlüftung. Voraussetzung für eine Minimierung von Mikroorganismen ist ein bestimmungsgemäßer Einsatz von entsprechend geeigneten Luftfiltern (siehe VDI 6022 Blatt 1).

Eine regelmäßige Prüfung der Filterbelegung, soweit sie von den Geräten nicht automatisch angezeigt werden, ist zu gewährleisten. Die Filter müssen bei Bedarf gereinigt oder ausgetauscht werden.

4.4 Richtiges Heizen

In Kap. 3 wurden bereits einige Ausführungen zum Zusammenhang zwischen Heizen, Innenraumluft- und Oberflächentemperaturen dargestellt. Richtiges Heizen zusammen mit richtigem Lüften beugt Schimmelbefall vor.

INFOBOX 10

TIPPS zum richtigen Heizen

Alle Räume ausreichend heizen!
Kühlere Luft kann weniger Wasser aufnehmen als wärmere Luft!

Schlafräume:
Pro Nacht gibt jede Person etwa ¼ 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 bis 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. An Außenwänden sind einige Zentimeter Abstand einzuhalten (siehe Kap. 3).

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 kann Schimmelbefall entstehen.

Die 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 keine zu hohe relative Luftfeuchte an (kalten) Oberflächen entsteht.

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

Die allgemeinen Empfehlungen zu Ortsbegehungen und Erfassung des Schimmelbefalls gelten für alle Nutzungsklassen (zur Nutzungsklassendefinition siehe Kap. 6.1).

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

INFOBOX 11

An wen kann ich mich wenden, wenn ich in der Wohnung Schimmelbefall vermute?

Möchten Sie wissen, wer in Ihrer Nähe Ortsbegehungen und bei Bedarf weitere Messungen durchführt, dann lassen Sie sich von Verbraucherzentralen, Mieter- bzw. Haus- und Grundeigentümer-Vereinen, Ihrem zuständigen Gesundheitsamt oder einem der Netzwerke zur Schimmelberatung in Deutschland beraten: http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/schimmel/netzwerk-schimmelpilzberatung.

Auch die Industrie- und Handelskammern können Hilfestellung geben. 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. 5.1.3).

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 Schimmelbefall 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 Hinweise auf Probleme mit der Innenraumhygiene in Ihrer Wohnung gibt, sollten Sie Ihre Wohnung auf eine mögliche Schimmelquelle untersuchen lassen (siehe oben). Klären Sie als Mieter mit Ihrem Vermieter das weitere Vorgehen ab.

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 Feuchte beseitigt und der betroffene Bereich unter Berücksichtigung der Nutzungsklasse saniert werden (siehe Kap. 6).

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

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.

Die zu untersuchenden Fragestellungen bei der Schadensaufnahme sollten vor der Begehung zwischen den Beteiligten abgestimmt werden. Die Untersuchung ist ergebnisoffen zu führen. 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 Schimmelbefall zurückzuführen sein könnten.

Bei der Ortsbegehung (siehe Kap. 5.1.1) werden die möglichen Ursachen für einen erhöhten Feuchteanfall oder einen Schimmelbefall abgeklärt und in einem Begehungsprotokoll festgehalten. Je nach Ergebnis der Ortsbegehung und der Art der Fragestellung können 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 weiterführenden Untersuchungen (siehe Kap. 5.1.2) ist es in der Regel möglich festzustellen, ob eine Schimmelquelle im Innenraum vorliegt. Die Gesamtbeurteilung setzt 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 weiterführenden Untersuchungen und die Bewertung sollen nur durch Personen, Laboratorien oder Institutionen erfolgen, die bestimmte Qualitätskriterien erfüllen (siehe Kap. 5.1.3).

5.1.1 Durchführung der Ortsbegehung

Bei der Ortsbegehung wird abgeklärt, ob und in welchem Ausmaß ein Schimmelbefall vorliegt und was die möglichen Ursachen sind (siehe Kap. 3). Erhoben werden dabei zum einen wichtige bauphysikalische Parameter wie Raumtemperatur, Raumluftfeuchte, Materialfeuchte und Oberflächentemperatur, zum anderen baukonstruktive Randbedingungen und Angaben über den betroffenen Raum und dessen Nutzung sowie mögliche bauwerksunabhängige Quellen für Schimmel (z. B. Biomüll, Käfigtierhaltung, Terrarien). 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. Sofern eine Geruchsbestimmung erfolgt, sollten die einschlägigen Richtlinien (AGÖF-Leitfaden für Gerüche, DIN ISO 16000-30 „Geruchsprüfung von Innenraumluft“ und VDI 4302 Blatt 1 und 2 „Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien“) zu Grunde gelegt werden.

Durch bauphysikalische und raumklimatische Untersuchungen kann ermittelt werden, ob nutzungsbedingte oder baulich bedingte Einflüsse für erhöhte Feuchte und Schimmelwachstum ursächlich sind (siehe Kap. 3).

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

Bei der Begehung wird auch eine optische sowie sensorische Beurteilung der betroffenen Räume sowie der Materialien und Gegenstände in den Räumen durchgeführt.

Ziel der Ortsbegehung ist die Abklärung, ob ein Schimmelbefall vorliegt und ggf. welches Ausmaß er annimmt.

Aus diesen Informationen ergibt sich, ob und ggf. welche zusätzlichen weiterführenden Untersuchungen zur Abklärung erforderlich sind.

Bei sichtbarem Schimmelbefall (Kategorie 2 und 3, siehe Tab. 8) mit geklärter Ursache sind in der Regel keine weiterführenden Messungen erforderlich, sondern der betroffene Bereich soll zeitnah unter Berücksichtigung der Nutzungsklasse saniert werden.

Um die unterschiedlichen Einflüsse auf die Befallsentstehung besser einschätzen zu können, haben sich Klimaaufzeichnungen (Temperatur und relative Feuchte) mittels Datenloggern bewährt. Diese Messungen sind in der Regel in der kalten Jahreszeit sinnvoll und sollten an wichtigen Bereichen (vermutete kühle Oberflächen, Raumluft, ggf. Außenluft) erfolgen. Da die Ergebnisse von Einzelmessungen starken Schwankungen unterliegen, sind für aussagekräftige Ergebnisse Langzeitmessungen von mehreren Wochen z. B. mittels Datenlogger sinnvoll, wodurch auch das Lüftungsverhalten erfasst werden kann. Dadurch kann beobachtet werden, ob und in welchen Zeiträumen oder bei welchen Aktivitäten kritische Konstellationen von Temperatur und Luftfeuchte auftreten.

Ergänzend können zusätzlich bauphysikalische Untersuchungen (z. B. raumseitige Gebäudethermografie 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 Problemstellen für mikrobiellen Befall können während der Begehung Klebefilmpräparate gewonnen und kurzfristig auf aktiven Befall (Wachstum von Myzel/Sporenträger) untersucht werden. Da die Gebäudethermografie durch eine Vielzahl von Faktoren (z. B. Materialeigenschaften, Bauweise, Wetterlage, Sonneneinstrahlung, Einrichtungsgegenstände) beeinflusst werden kann, gehört die Durchführung und Bewertung der Aufnahmen in die Hand von erfahrenen Sachverständigen.

i

Durch eine Thermografie werden Differenzen in der Temperatur von Bauteiloberflächen als Farbmuster erkennbar. Eine **raumseitige Thermografie ermöglicht die Verdeutlichung von Wärmebrücken und feuchten Stellen** und kann dadurch auch zur Ortung von Problembereichen für Schimmelwachstum (kühlere Stellen) eingesetzt werden.

Schimmel findet oft gute Wachstumsbedingungen hinter Möbelstücken an Außenwänden, da hier die Zirkulation warmer Luft unterbunden wird und durch die dahinter liegenden kühlen 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 kühlen 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 Wasserschäden ist bei Leichtbaukonstruktionen insbesondere der Zwischenraum in der Konstruktion zu öffnen und zu kontrollieren (Rückseite von Gipswerkstoffplatten).

Bei der Begehung sollten vom Sachverständigen neben den bauphysikalischen Parametern auch relevante Angaben über den Innenraum zielorientiert in Bezug auf Schimmelbefall erhoben werden (siehe auch DIN EN ISO 16000-19). Die Erfassung allgemeiner Angaben zum Innenraum und dessen Nutzung sowie möglicher bekannter Quellen für Schimmelpilze ist für eine sinnvolle Interpretation der Messergebnisse zum Auftreten von Schimmelbefall im Innenraum (siehe Kap. 5.2) und gegebenenfalls für eine Sanierung des Schimmelbefalls (siehe Kap. 6) unerlässlich.

Wichtige Angaben im Begehungsprotokoll 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, Luftbefeuchter)
- Raumlufttechnische Anlagen
- Heizungssystem
- Art der Raumnutzung
- Anzahl der Bewohner
- Heizungs- und Lüftungsverhalten
- Wärmedämmmaßnahmen
- Geruch: Art und Intensität

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, Heizungsleckagen
- Materialien mit Feuchteschäden (z. B. Mauerwerk, Möbel, Dämmmaterialien, Bücher)
- Baumaßnahmen mit Feuchteeintrag

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

Mögliche Schimmelquellen im Umfeld

- emittierende Betriebe in der Umgebung wie Kompostwerke, Gärtnereien
- Wertstoffsortieranlagen, landwirtschaftliche Betriebe
- Mülltonnen für Bioabfälle, Komposthaufen

Es ist sinnvoll, diese Angaben in einem standardisierten Begehungsprotokoll festzuhalten, in das alle Informationen, inklusive ggf. fotografischer Dokumentation 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 Proben erlauben (Probenahmeprotokoll). Bei der Erstellung des Begehungsprotokolls sollte berücksichtigt werden, dass dieses als Unterlage für weitere Sachverständige (beispielsweise 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 Empfehlungen für Sanierungsmaßnahmen des festgestellten Schimmelbefalls, ohne dass weitere Untersuchungen notwendig sind. Insbesondere bei optisch eindeutig wahrnehmbarem Schimmelbefall und erkennbarer Schadensursache sind weiterführende Messungen entbehrlich. Es sollten vielmehr zeitnah Schritte zur Sanierung (siehe Kap. 6) unternommen werden. Zum Nachweis, dass es sich um Schimmelbefall handelt, können Klebefilmpräparate (siehe Kap. 5.1.2.1) sinnvoll sein.

Falls sich durch Ortsbegehung und bauphysikalische Untersuchungen nicht eindeutig abklären lässt, ob ein Schimmelproblem vorliegt oder wo der Schimmelbefall sich genau befindet, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich (siehe Kap. 5.1.2).

5.1.2 Weiterführende Untersuchungen

Vor der Beauftragung weiterführende 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 soll, 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 früheren VDI 4300 Blatt 10 erarbeitet wurde.

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

Schimmelbefall wird durch den Nachweis von Schimmelpilzen als Leitorganismen bestimmt. Eine Untersuchung auf andere, bei Schimmelbefall auftretende Mikroorganismen ist daher in der Regel nicht notwendig.

Nur in Ausnahmefällen (starke Gerüche trotz negativem Schimmelpilzbefund, massive Durchfeuchtung) ist eine Untersuchung von Materialien auf Bakterien sinnvoll (siehe Kap. 5.1.2.4).

Eine **quantitative Erfassung einer Schimmelexposition** zur Beurteilung eines individuellen gesundheitlichen Risikos ist mit Schimmelpilzmessungen **nicht möglich.**

Folgende Probenahme- und Nachweisverfahren für Schimmelpilze im Innenraum wurden als DIN-Normen standardisiert (siehe auch Anlage 4):

- DIN ISO 16000-16 (2009): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Filtration
- DIN ISO 16000-17 (2010): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren
- DIN ISO 16000-18 (2012): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Impaktion
- DIN EN ISO 16000-19 (2014): Probenahmestrategie für Schimmelpilze
- DIN ISO 16000-20 (2015): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Bestimmung der Gesamtsporenzahl
- DIN ISO 16000-21 (2014): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme von Materialien

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

Wurden bei der Ortsbegehung weder sichtbares Schimmelwachstum noch bautechnische Auffälligkeiten ermittelt und liegen dennoch geruchliche Probleme, Feuchteschäden oder gesundheitliche Beschwerden bei den Raumnutzern vor, die auf Schimmel hindeuten, kann der Einsatz eines Spürhundes zum Auffinden und zur Lokalisation verdeckten Befalls von Nutzen sein (siehe Kap. 5.1.2.2).

Messungen von kultivierbaren Schimmelpilzen in der Innenraumluft können Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit von Schimmelbefall ergeben und erlauben die Art- oder Gattungsbestimmung der auftretenden Schimmelpilze (siehe Kap. 5.1.2.1). Dadurch erhält man zusätzliche Hinweise auf Feuchteschäden (Feuchteindikatoren, siehe Kap. 1), auf die Ursachen einer möglichen Belastung und in Einzelfällen auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen durch spezielle Schimmelpilze (z. B. *Aspergillus fumigatus*, siehe Kap. 2).

Die Untersuchung von Staubproben kann in Einzelfällen Auskunft über eine mögliche andauernde Schimmelbelastung im Innenraum geben, da sich im Staub Schimmelpilze über einen längeren Zeitraum anreichern („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.

Da in der Regel nur ein Teil der tatsächlich vorhandenen Schimmelpilzsporen kultivierbar ist, andererseits allergische oder toxische Wirkungen auch von nicht kultivierbaren Mikroorganismen und deren Bestandteilen ausgehen können (siehe Kap. 2), wurden Methoden entwickelt, um die Gesamtsporenzahl der Schimmelpilze (siehe Kap. 5.1.2.5) ohne Kultivierung nachzuweisen.

INFOBOX 12

Zusammenfassung der weiterführenden Untersuchungen

A. ANERKANNTE REGELN DER TECHNIK
Verfahren, die in der Fachwelt als verbindlich akzeptiert sind und von der Mehrheit der Fachleute in der Praxis angewendet werden

- Messung von Schimmelpilzen in der Luft (DIN ISO 16000-16 bis -18)
- Messung der kultivierbaren Schimmelpilze im Material (DIN ISO 16000-21)
- Messung der Gesamtsporenzahl in der Luft (DIN ISO 16000-20)

B. STAND DER TECHNIK
Verfahren, die zwar verbreitet Anwendung finden, aber gegenwärtig in der Fachwelt nicht als weitgehend akzeptiert gelten.

- Direktmikroskopie inklusive Klebefilmpräparate (noch nicht genormt)
- Messung der kultivierbaren (Aktino)Bakterien im/auf Material (nicht genormt)
- MVOC Messungen (VDI 4254 Blatt 1)

C. STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK
Verfahren, die im Moment in wissenschaftlichen Forschungsprojekten eingesetzt werden oder in der Erprobungsphase sind, aber noch nicht für routinemäßige Messungen im Innenraum geeignet sind, da keine standardisierten Messverfahren und/oder allgemein anerkannte Beurteilungskriterien vorhanden sind.

- Schimmelspürhunde
- molekularbiologische Nachweismethoden von Mikroorganismen
- Nachweis von Mykotoxinen und anderen Sekundärstoffwechselprodukten
- Nachweis von Endotoxinen, ß-Glukanen, PAMP und anderen Zellbestandteilen
- Schnellverfahren zum Nachweis von Schimmelwachstum (z. B. ATP)
- Gesamtzellzahl im Material durch Mikroskopie
- Gesamtzellzahl in der Luft durch Filtration und Mikroskopie
- Messung von Aktinomyzeten in der Luft

D. NICHT EMPFOHLENE MESSVERFAHREN
- Abklatsch-/Abdruckproben (außer in Reinräumen und RLT-Anlagen)
- Messung kultivierbarer Schimmelpilze in der Luft durch Sedimentationsplatten
- Messung von Schimmelpilzen im Hausstaub
- Messung der Gesamtbakterien in der Innenraumluft

Bei Geruchsproblemen kann die Bestimmung von MVOC unter bestimmten Voraussetzungen Hinweise auf die Ursache des Geruches oder verdeckten Schimmelbefall geben (siehe Kap. 5.1.2.6).

Auf biochemischer oder molekularbiologischer Grundlage wurden Verfahren zum schnellen Nachweis von Schimmelwachstum wie z. B. Nachweis von ATP, Enzymaktivität, speziellen Antigenen oder Zellbestandteilen entwickelt (siehe Kap. 5.1.2.7). Diese Verfahren sind jedoch derzeit für den Einsatz in der Praxis noch nicht ausreichend validiert.

In der Praxis sollen solche Verfahren die Grundlage einer Beurteilung bilden, die als allgemein anerkannte Regeln der Technik oder als Stand der Technik gelten (siehe INFOBOX 12). Verfahren nach dem Stand von

Wissenschaft und Technik sind im Einzelfall hinzuziehbar, um weitergehende Aussagen etwa zu verdeckten Befallsschäden oder zum Auftreten von Zellfragmenten zu erhalten. Eine Beurteilung des Befalls und eine Sanierungsentscheidung dürfen alleine auf Grund solcher Methoden jedoch nicht getroffen werden.

Weiterführende 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 eines Schimmelbefalls zu erhalten.

Die Untersuchung von Schimmelpilzen und ggf. Bakterien auf oder in Materialien gibt Hinweise auf die Art und Ausdehnung des Schimmelbefalls. Materialproben können durch Mikroskopie und Kultivierung untersucht werden.

Untersuchungen von Material werden mit folgenden Zielen durchgeführt:
- Bestätigung, dass es sich bei Materialverfärbungen um Schimmel handelt
- Unterscheidung zwischen einem Befall und einer Kontamination
- Bestimmung von Art und Ausdehnung des Befalls in der Fläche
- Bestimmung von Art und Stärke des Befalls in der Tiefe des Materials

Zur einfachen und schnellen Bestätigung, ob es sich bei Verfärbungen an der Wand oder auf anderen Materialien tatsächlich um Schimmel handelt, können 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.

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

Zur Untersuchung der Schimmelpilze in der Tiefe des befallenen Materials 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 kultivierbaren 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 Feuchte und Schimmelwachstum im Material.

Durch direkte Mikroskopie kann unterschieden werden, ob es sich um Wachstum von Schimmelpilzen im Material (Befall) oder um eine Kontamination mit Sporen aus einer anderen Schimmelquelle handelt (siehe Kap. 5.2). Die Beurteilung eines Materials durch direkte Mikroskopie erfordert viel Erfahrung. Da nur sehr kleine Materialflächen untersucht werden können, kann es zu falsch negativen Ergebnissen kommen. 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 (siehe auch Anlage 6).

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 möglichst kontaminationsfreie Probenahme und durch Vermeidung staubbelasteter 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 Schimmelwachstum im Material handelt (siehe Kap. 5.2).

In den letzten Jahren wurden durch Untersuchungen von Materialien ohne bekannte Feuchteschäden Vergleichswerte für das übliche Auftreten 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 Schimmelwachstum im Material stattgefunden hat (siehe Kap. 5.2.2).

Bakterien werden bei Schimmelbefall in Materialien nicht routinemäßig untersucht, da mikrobieller Befall meist bereits durch die Messung der Schimmelpilze nachgewiesen werden kann.

Bei sehr nassen Materialien haben Bakterien aber oft einen Wachstumsvorteil und es treten kaum Schimmelpilze auf. Bei bestimmten vermuteten Problemen mit Schimmelbefall und keinen auffälligen Schimmelpilzkonzentrationen sollten daher neben Schimmelpilzuntersuchungen auch Untersuchungen auf Bakterien (insbesondere bei sehr nassem Material bspw. bei muffigen Gerüchen) und/oder Aktinomyzeten (insbesondere bei älteren Schäden) erfolgen (zum Nachweisverfahren von Bakterien siehe Kap. 5.1.2.4).

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 Bauteilöffnungen an vermuteten Befallsstellen und ggf. mikrobiologische Untersuchungen. Erst dann ist eine Entscheidung über die Sanierung zu treffen.

Allein auf der Basis eines von einem Schimmelspürhund erkannten und markierten Schimmelbefalls darf keine Sanierungsentscheidung abgeleitet werden. 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 Schimmelspürhundes schwierig sein. Daher ist es wichtig, dass der Spürhundführer bauphysikalische Zusammenhänge, die das Verdriften von Gerüchen beeinflussen können, kennt.

5.1.2.3 Messung von kultivierbaren Schimmelpilzen in der Innenraumluft

Die 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. Besonders bei verdeckten Schäden kann es aber vorkommen, dass trotz umfangreichen Befalls nur unauffällige Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft nachweisbar sind.

Die Methode beruht darauf, dass die kultivierbaren Schimmelpilzsporen nach geeigneter Sammlung auf zwei unterschiedlichen Nährböden (DG18- und Malzextraktagar) 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/m^3) 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 Versandhandel kann man auch Schimmeltestkits bestellen, 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.

Um unterscheiden zu können, ob die nachgewiesenen Schimmelpilze auf eine innerhalb oder außerhalb des Innenraums liegende Quelle zurückzuführen sind, wird in der Regel zeitnah 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 Konzentration der Schimmelpilze im Innenraum deutlich über der Konzentration in der Außenluft liegt und/oder die Zusammensetzung der Arten in der Innenraumluft deutlich von der Zusammensetzung der Arten in der Außenluft abweicht (siehe Kap. 5.2.3). 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).

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

Aus den Ergebnissen der Schimmelmessung allein kann keine Gesamtbeurteilung der Situation abgeleitet werden. Für eine Sanierungsentscheidung müssen u. a. die Ergebnisse der Ortsbegehung und bauphysikalischer Untersuchungen berücksichtigt werden.

Die aktive Messung der Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze in der Innenraumluft (Gesamt-KBE Schimmelpilze) 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 Schimmelbefall im Innenraum vorhanden ist.

Parallelmessungen sind notwendig, um die zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Schimmelpilzkonzentrationen 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).

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. Sporengröße, Sporenform, Luftzirkulation, Bewegungen im Raum, Staublast, relative Feuchte) 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 Schimmelpilze sehr schlecht auf den Nährmedien wachsen, 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 5.1.2.5).

- 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 Kap. 1.2) ist es oft schwierig, ein Schimmelwachstum im Innenraum nachzuweisen. Im Winterhalbjahr, insbesondere bei Schneelage, sind die Außenkonzentrationen dagegen zeitweise extrem niedrig. Außerdem können lokale Schimmelpilzquellen wie u. a. Biotonnen oder Kompost zu einer erhöhten Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft beitragen. Ein rein zahlenmäßiger Vergleich mit diesen Außenluftwerten als Referenz kann zu Fehlinterpretationen führen. Daher kann es hilfreich sein, für die Jahreszeit und die Wohngegend typische Außenlufterfahrungswerte bei der Beurteilung heranzuziehen.

5.1.2.4 Messung von kultivierbaren Bakterien

Bakterien werden nicht routinemäßig bei Schimmelbefall untersucht, da die Konzentrationen der Bakterien in der Luft sehr stark schwanken und schon alleine durch den Probenehmer und die Raumnutzer durch Abschilferung der auf der Haut in großer Anzahl vorhandenen Bakterien beeinflusst werden kann. Die Gesamtkonzentration an Bakterien in der Luft ist weder hinsichtlich gesundheitlicher Wirkungen noch hinsichtlich Schimmelbefall aussagekräftig. Eine Erfassung von Aktinomyzeten in der Raumluft ist ebenfalls in der Regel nicht sinnvoll, da es keine standardisierte Methode und keine Bewertungskriterien für die Ergebnisse gibt.

Die Messung von Bakterien in der Raumluft ist nicht sinnvoll.

In Ausnahmefällen (starke Gerüche trotz negativem Schimmelpilzbefund, massive Durchfeuchtung) **kann eine Untersuchung von Materialien auf Bakterien sinnvoll sein.**

Die Untersuchung von Bakterien (insbesondere Aktinomyzeten) in Materialien kann in Einzelfällen sinnvoll sein. Werden bei geruchsauffälligem Material keine erhöhten Schimmelpilzkonzentrationen festgestellt, sollte auch auf Bakterien (insbesondere Aktinomyzeten) untersucht werden. In der Praxis wird bei solchen Materialien häufig direkt auf Bakterien untersucht, um zeitnah ein Ergebnis zu erhalten. Bei manchen Altschäden und bei Durchfeuchtungsschäden kann es vorkommen, dass Bakterien bzw. Aktinomyzeten dominieren und nur wenige Schimmelpilze nachweisbar sind. Auch bei vermuteten Problemen mit Schimmelbefall und keinen auffälligen Schimmelpilzkonzentrationen sollten daher Untersuchungen auf Aktinomyzeten (insbesondere bei Altschäden) erfolgen.

Gesamtbakterien in (Bau)Materialien werden auf CASO Agar nachgewiesen, es gibt aber bislang kein standardisiertes Nachweisverfahren.

Es ist nicht möglich, eine allgemein anwendbare Routinemethode zum Nachweis aller Aktinobakterien anzugeben. Deshalb wird empfohlen, die myzelbildenden Bakterien der Ordnung *Actinomycetales* auf Mineralagar nach Gauze (siehe Anlage 5) 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.

5.1.2.5 Messung der Gesamtsporenzahl 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, aber über die direkte Bestimmung der Gesamtsporenzahl nachgewiesen werden.

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 zur Überprüfung des Sanierungserfolges wichtig, 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.

5.1.2.6 MVOC-Messungen

Mikroorganismen bei Schimmelbefall können bei ihrem 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 produziert werden können. Einige MVOC sind bereits in sehr niedrigen Konzentrationen (im Nanogramm pro Kubikmeter-Bereich) geruchlich wahrnehmbar.

Die Anwesenheit von MVOC kann ein Indikator für Schimmelbefall sein. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass diese Substanzen teilweise auch durch Bauprodukte, Reinigungsprodukte, Farben etc. sowie bei bestimmten Aktivitäten (z. B. Rauchen, Backen) im Raum freigesetzt werden können. Insbesondere in Neubauten oder nach größerer Sanierung im Bestand kann es bei MVOC-Messungen zu falsch positiven Ergebnissen kommen.

Bestimmte Chemikalien (z. B. Chloranisole, Chlornaphtaline) weisen einen schimmelähnlichen Geruch auf. Bei Geruchsproblemen können daher im Einzelfall durch die Bestimmung der (M)VOC Hinweise zur Art der Geruchsquelle (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, 1Butanol und Isobutanol.

Ein einheitliches Bewertungsschema für die gemessenen Konzentrationen liegt noch nicht vor.

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 des gesundheitlichen Risikos 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 (siehe VDI 4254 Blatt 1, Entwurf).

5.1.2.7 Schnellverfahren zum Nachweis von Schimmelwachstum

Biochemische (z. B. Nachweis von ATP, Enzymaktivität, speziellen Antigenen oder Zellbestandteilen) und molekularbiologische (Q-PCR) Schnelltests zum Nachweis von Schimmelwachstum generell oder von bestimmten Schimmelpilzen sind in der Praxis 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. Dazu besteht noch Forschungsbedarf.

5.1.3 Qualitätssicherung

Die sachgerechte Ermittlung eines Schimmelbefalls und seiner Ursachen ist eine komplexe Aufgabe. Es ist daher sinnvoll, dass die entsprechenden Untersuchungen sowie die Beurteilung der Ergebnisse – je nach Fragestellung – unter Beteiligung von Personen mehrerer Fachdisziplinen durchgeführt werden. Hierzu gehören insbesondere die Bereiche Bauwesen (Probenahme, Messung der bauphysikalischen Gegebenheiten, Probenahmeprotokoll, Ermittlung der baulich bedingten Ursachen), Mykologie (Probenahme, Nachweis der Schimmelpilze) und Hygiene. Für gesundheitliche Fragen müssen Umweltmediziner, Infektiologen, Allergologen oder Pulmologen hinzugezogen werden.

Vor der Auftragsvergabe an ein Messinstitut zur Durchführung weiterführenden Untersuchungen (siehe Kap. 5.1.2) sollte sich der Kunde bestätigen lassen, dass bei der Institution oder in dem Laboratorium die notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt werden und die nötige Erfahrung vorhanden ist (siehe Kap. 5.1.3.3).

5.1.3.1 Qualitätsanforderungen an Sachverständige, die Ortsbegehungen und Probenahmen durchführen

Sachverständige für die Probenahme und die Bewertung von Schadstoffen in Innenräumen besitzen meist ein abgeschlossenes Hoch- oder Fachhochschulstudium der Biologie, Chemie oder Ingenieurwissenschaft bzw. eine Meister- oder Technikerausbildung für ein entsprechendes Arbeitsgebiet. Zusätzlich ist eine spezielle Ausbildung im Bereich „Schimmel“ erforderlich.

Auf der UBA Homepage sind Anforderungen an Sachverständige, Sanierungsfirmen, Ärzte, Juristen etc. zusammengefasst (https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/schimmel).

Ein Arbeitskreis am Landesnetzwerk Schimmelberatung NRW hat Vorschläge zur Vereinheitlichung der Handwerkerqualifikation zur Schimmelsanierung erarbeitet und dafür den Begriff der „Sachkunde zum Erkennen, Bewerten und Sanieren von Schimmelschäden“ definiert (http//www.schimmelnetz-nrw.de).

5.1.3.2 Qualitätsanforderungen an Schimmelspürhunde

Für eine erfolgreiche Arbeit ist es unerlässlich, dass ein gut ausgebildeter Schimmelspürhundeführer den Schimmelspürhund führt.

Bei der Ausbildung des Hundes ist es vorteilhaft, wenn der Hundeführer die Ausbildung gemeinsam mit seinem Hund als Team absolviert. Der Hundeführer muss eine enge Bindung zu seinem Spürhund haben, um das Verhalten und die Anzeigen des Spürhundes richtig interpretieren zu können. Regelmäßiges Training mit geeigneten Geruchsproben ist erforderlich, um die Qualität der Spürhundarbeit zu gewährleisten.

Die Ausbildung des Hundeteams ist ein andauernder Prozess, deren Qualität regelmäßig überprüft werden muss. Der Hund wird darauf trainiert, geruchsauffällige Bereiche durch angelerntes Anzeigeverhalten zu markieren (z. B. Anzeige mit der Pfote oder Nase) 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/IEC 17025 akkreditiert sind (siehe DAkkS Datenbank für akkreditierte Untersuchungsstellen) oder eine vergleichbare analytische Qualitätssicherung durchführen.

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.

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 in Kapitel 5.1 beschriebenen Vorgehensweisen und Untersuchungen und die in Kapitel 5.2 beschriebenen Bewertungen haben zum Ziel, herauszufinden, ob es eine Schimmelquelle 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 weiterführende Untersuchungen im Gesamtzusammenhang auszuwerten.

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 Schimmelpilzonzentrationen in der Innenraumluft, im Hausstaub oder in Materialien keine gesundheitlich begründeten Grenz- oder Richtwerte gibt.

Dies liegt im Wesentlichen daran, dass bislang keine belastbare Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen dem Auftreten von Schimmelpilzen in der Innenraumluft bzw. im Innenraum und gesundheitlichen Wirkungen ermittelt werden konnte (siehe Kap. 2). 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 nicht mit erhöhten Sporenkonzentrationen in der Raumluft korreliert,
- einige Arten vorwiegend in der Außenluft vorkommen,
- häufig nur die kultivierbaren Schimmelpilze in der Innenraumluft bestimmt werden,
- der Einfluss von Bestandteilen und Stoffwechselprodukten (Mykotoxine, MVOC, Zellbestandteile wie ß-Glukane, Ergosterol) nicht ausreichend bekannt ist und diese 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 sind.

Das Ziel der Messungen ist daher nicht eine quantitative Expositionsabschätzung, sondern das Auffinden von Schimmelquellen im Innenraum. Ergibt die Beurteilung, dass eine Schimmelquelle im Innenraum vorliegt, sollten daher die Lokalisation des Befalls und in der Regel eine Sanierung erfolgen (siehe Kap. 6). Schimmelquellen im Innenraum sind aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes nutzungsklassenabhängig 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.

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 zur medizinischen Diagnostik bei Schimmelbefall finden sich in der AWMF-Leitlinie[1].

Die Feststellung einer Schimmelquelle im Innenraum darf nicht mit einem akuten Gesundheitsrisiko der Raumnutzer gleichgesetzt werden. Das Ausmaß eines Gesundheitsrisikos durch Schimmel in Innenräumen ist zum einen abhängig von der Empfindlichkeit und Exposition der Raumnutzer und zum anderen von Art und Ausmaß 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 **Schimmelbefall im Innenraum als hygienisches Problem angesehen und nutzungsklassenabhängig fachgerecht beseitigt werden.**

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

1 AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie „Medizinisch-klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition im Innenräumen“ AWMF Register Nr. 161-001 – Endfassung

5.2.1 Bewertung bei sichtbarem Schimmelbefall

In der Regel sind Schimmelbelastungen der Raumluft auf befallene oder kontaminierte Materialien zurückzuführen.

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

Als Bewertungshilfe für die Nutzungsklasse II (siehe Kap. 6.1) 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. 8). Bei den Nutzungsklassen III und IV ist die Dringlichkeit der Sanierung geringer und der Umfang der empfohlenen Maßnahmen kann reduziert werden (siehe Kap. 6.1).

Kategorie 1: Normalzustand bzw. geringfügiger Schimmelbefall.
Sofortmaßnahmen sind in der Regel nicht erforderlich. Die Ursache sollte erkannt und Abhilfemaßnahmen eingeleitet werden. Typische Beispiele für geringfügigen Schimmelbefall 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 sowie 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. Die Sanierung soll durch eine Fachfirma erfolgen (siehe Kap. 6).

Tabelle 8

Bewertung von Materialien mit an Oberflächen feststellbarem, meist sichtbarem Schimmelbefall

Schadensausmaß	Kategorie 1 Normalzustand bzw. geringfügiger Schimmelbefall	Kategorie 2 Geringer bis mittlerer Schimmelbefall	Kategorie 3 Großer Schimmelbefall
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
Daraus resultierende mikrobielle Biomasse	keine bzw. sehr geringe mikrobielle Biomasse	mittlere mikrobielle Biomasse	große mikrobielle Biomasse

Die Flächenangaben in der Tabelle 8 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:

- Bei der Beurteilung von sichtbarem Schimmelwachstum sollen neben der Fläche des Schadens auch die Tiefe und Art des Befalls berücksichtigt werden. Dies ist abhängig vom befallenen Material. Die Kategorien gelten für rasenartiges Wachstum. Bei punktförmigem Wachstum wird die tatsächlich bewachsene Fläche abgeschätzt.

- 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. In der Praxis kann dies ein Befall in z. B. mehreren Raumecken sein, dessen Einzelflächen zusammengezählt werden.

- Die Abschätzung der mit Schimmel bewachsenen Fläche erfolgt in der Praxis mittels visueller Begutachtung. Dabei muss auch Schimmelbefall, welcher mit bloßem Auge noch nicht erkennbar ist, einbezogen werden. Im Zweifel ist es sinnvoll, den Befall durch Klebefilmpräparate (siehe Kap. 5.1.2.1) zu bestätigen.

- Eine Abgrenzung 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 die Stoffwechselproduktion mit der Zeit ab. Ein aktiver Schimmelbefall stellt außerdem häufig die Nährstoffgrundlage für andere gesundheitlich relevante Organismen wie z. B. Milben dar.

- Bei Schimmelbefall, der erst nach Bauteilöffnung sichtbar wird, kann eine Kategorisierung analog zum direkt sichtbaren Befall vorgenommen werden.

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. Wichtig ist dabei auch die Einbeziehung mikroskopischer Untersuchungen (siehe Anlage 6).

Da das Nachweisverfahren für **Schimmelpilze** erst im Jahr 2014 normiert wurde, liegen erst wenige standardisiert erhobene Vergleichskonzentrationen vor. In einem durch das Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhaben wurden Hintergrundkonzentrationen für unterschiedliche Materialien erhoben (UBA, 2015: Bestimmung von Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in Dämmstoffen und anderen Materialien im Innenraum im Hinblick auf Sanierungsempfehlungen, FKZ 3710 62 223). Danach kann bei den meisten Materialien aus dem Neubau und Altbau ab einem Konzentrationsbereich 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 im Bereich von 10^3 KBE/g bis 10^4 KBE/g auf ein aktives Wachstum hin. Da in der Studie insgesamt nur 391 Materialproben und damit nur ca. 20 bis 30 Proben pro Kategorie (Material eines bestimmten Alters) untersucht wurden, sind die Ergebnisse lediglich 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).

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.

Für die Beurteilung von Schimmelbefall in Fußböden wird auf die Handlungsempfehlung für Feuchteschäden in Fußböden hingewiesen (siehe Infobox 13 und Anlage 6). In dieser Empfehlung finden sich auch Hinweise für die Beurteilung der Ergebnisse aus mikroskopischen Untersuchungen.

INFOBOX 13

Beurteilung von Schimmelbefall in Fußböden

Von der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes (UBA) wurde eine Handlungsempfehlung erarbeitet, wie Fußböden mit Feuchteschäden beurteilt werden können (siehe Anlage 6). 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 Feuchte- und Schimmelschäden in Fußböden sollte ergänzend zu den allgemeinen Empfehlungen im Leitfaden immer herangezogen werden, wenn es sich um Schimmelbefall in Fußböden handelt.

5.2.3 Bewertung von Luftproben

Die Beurteilung der Konzentration und Zusammensetzung von Schimmelpilzsporen in der Innenraumluft dient vor allem als Hinweis auf nicht sichtbaren (verdeckten) Schimmelbefall.

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 Ortsbegehung und 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.

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 Erfahrungswerten für Konzentrationen von kultivierbaren Schimmelpilzen sowie für die Gesamtsporenzahl in der Innenraumluft und Außenluft im Sommer und im Winter in Deutschland finden sich in Anlage 7 und Anlage 8.

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 **Beurteilung der Konzentration und Zusammensetzung von Schimmelpilzsporen in der Innenraumluft** dient vor allem als **Hinweis auf** nicht sichtbaren (verdeckten) **Schimmelbefall.**

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 speziellen gesundheitlichen Fragestellungen kann es in Einzelfällen sinnvoll sein, zusätzliche Methoden zum Nachweis bestimmter Schimmelpilzarten anzuwenden (bspw. durch Anzüchtung bei 36° C für pathogene und fakultativ pathogene Arten).

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, 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 Schimmelquellen im Innenraum 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*.

Die nachfolgend dargestellten Bewertungshilfen werden mit dem Ziel angewendet, die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens eines verdeckten oder nicht sichtbaren Schimmelbefalls zu ermitteln. Eine quantitative Expositions- und Risikoabschätzung hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen ist aus den Messwerten nicht möglich.

Als Bewertungs- und Orientierungshilfe bei Schimmelpilzbestimmungen in der Innenraumluft können die unten angegebenen drei Bereiche dienen (siehe Tab. 9 und 10).

- 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 9 und 10 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.

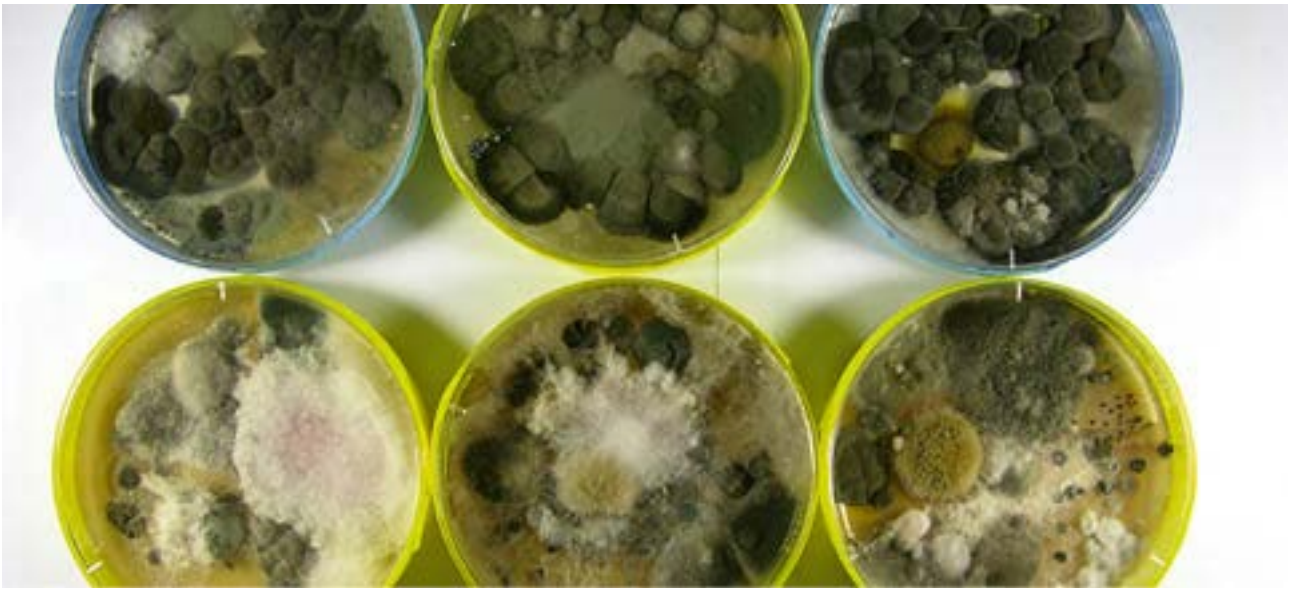


Tabelle 9

Bewertungshilfe für Luftproben – kultivierbare Schimmelpilze (KBE/m³)

Parameter	Hintergrundbelastung Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle möglich	Innenraumquelle wahrscheinlich
Cladosporium sowie andere Pilzgattungen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen können *(z. B. sterile Myzelien, Hefen, Alternaria, Botrytis)*	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/m³ liegt $I_{\Sigma untyp\ A} \leq A_{\Sigma untyp\ A} + 150$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 150 KBE/m³ und bis zu 500 KBE/m³ 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/m³ 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/m³ liegt $I_{Euntyp\ G} \leq A_{Euntyp\ G} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m³ und bis zu 300 KBE/m³ 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/m³ liegt. $I_{Euntyp\ G} > A_{Euntyp\ G} + 300$
***eine* Art** der untypischen Außenluftarten mit guter luftgetragener Verbreitung z. B. *Aspergillus* spp.	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m³ liegt* $I_{Euntyp\ A} \leq A_{Euntyp\ A} + 50$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m³ und bis zu 100 KBE/m³ 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/m³ liegt $I_{Euntyp\ A} > A_{Euntyp\ A} + 100$
***eine* Art** der untypischen Außenluftarten mit schlechter luftgetragener Verbreitung, z. B. *Phialophora* spp., *Stachybotrys chartarum*	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 30 KBE/m³ liegt* $I_{Euntyp\ AS} \leq A_{Euntyp\ AS} + 30$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 30 KBE/m³ und bis zu 50 KBE/m³ liegt* $A_{Euntyp\ AS} + 30 < I_{Euntyp\ AGS} \leq A_{Euntyp\ AS} + 50$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m³ liegt* $I_{Euntyp\ AS} > A_{Euntyp\ AS} + 50$

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 Nutzung oder nutzungsähnlichen Umständen in normalen Wohnräumen ohne Staubaufwirbelung entsprechend DIN ISO 16000-16 bzw. DIN ISO 16000-18 genommen wurden (siehe auch Anlage 7).

* 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 mit ausreichender statistischer Sicherheit 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 Innenraumluft in KBE/m³

A Konzentration in der Außenluft in KBE/m³

typ A typische Außenluftarten bzw. -gattungen (extramurale Pilze wie *Cladosporium*, sterile Myzelien, ggf. Hefen, ggf. *Alternaria*, ggf. *Botrytis*)

untyp A untypische Außenluftarten bzw. -gattungen (intramurale Pilze wie Pilzarten mit hoher Indikation für Feuchteschäden z. B. *Acremonium* spp., *Aspergillus versicolor, A. penicillioides, A. restrictus, Chaetomium* spp., *Phialophora* spp., *Scopulariopsis brevicaulis, S. fusca, Stachybotrys chartarum, Tritirachium (Engyodontium) album, Trichoderma* spp.*)*

Σuntyp A Summe der untypischen Außenluftarten (andere als *typ A*)

Euntyp A ***eine*** Art, die untypisch ist in der Außenluft mit guter luftgetragener Verbreitung

Euntyp AS ***eine*** Art, die untypisch ist in der Außenluft mit schlechter luftgetragener Verbreitung

Euntyp G ***eine*** Gattung, die untypisch ist in der Außenluft

Tabelle 10

Bewertungshilfe von Luftproben – Gesamtsporensammlung (Sporen oder Myzelstücke/m³)

Sporentyp	Hintergrundbelastung Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle möglich	Innenraumquelle wahrscheinlich
Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen z. B. Typ Ascosporen Typ *Alternaria/Ulocladium,* Typ Basidiosporen Typ *Cladosporium*	Die Zählung von Basidio- und Ascosporen typischer Außenluftarten ist für das Aufdecken von Schimmelquellen 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. Für die Beurteilung von Sporen der Gattungen *Cladosporium* und *Alternaria/Ulocladium* können wegen stark schwankenden Außenluftkonzentrationen, Depotwirkung von Staubbelägen sowie schlechter Sporenfreisetzung bei Innenraumschäden keine allgemeinen Aussagen zu Konzentrationen, die auf einen Schimmelbefall hindeuten, gemacht werden. Bei Verdacht auf Schimmelbefall mit Cladosporien sollte insbesondere geprüft werden, ob außen und innen die gleichen Cladosporientypen vorkommen.		
Typ *Penicillium/Aspergillus*	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 300 Sporen/m³ liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Sporen/m³ und bis zu 800 Sporen/m³ 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/m³ liegt $I_{\Sigma P+A} > A_{\Sigma P+A} + 800$
Andere typische Sporen aus Feuchteschäden Typ *Scopulariopsis* Typ *Acremonium. murorum* Typ *Paecilomyces* Typ *Microascus* Typ *Ascotricha* (Typ *Alternaria*, Typ *Ulocladium*)	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 Sporen/m³ liegt $I_{\Sigma typF} \leq A_{\Sigma typF} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 Sporen/m³ und bis zu 300 Sporen/m³ liegt $A_{\Sigma typF} + 100 < I_{\Sigma typF} \leq A_{\Sigma typF} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Sporen/m³ liegt $I_{\Sigma typF} > A_{\Sigma typF} + 300$
Typische Sporen aus Feuchteschäden mit schlechter luftgetragener Verbreitung Typ *Chaetomium* Typ *Stachybotrys* Typ *Chromelosporium* Typ *Pyronema*	Wenn in der Innenraumluft nicht mehr Sporen als in der Außenluft vorliegen $I_{typFS} \leq A_{typFS}$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft bis zu 20 Sporen/m³ liegt* $A_{typFS} < I_{typFS} \leq A_{typFS} + 20$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 20 Sporen/m³ liegt* $I_{typFS} > A_{typFS} + 20$
Myzelstücke	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 150 Myzelstücken/m³ liegt $I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 150$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 150 Myzelstücken/m³ und bis zu 300 Myzelstücken/m³ liegt $A_{Myzel} + 150 < I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Myzelstücken/m³ liegt $I_{Myzel} > A_{Myzel} + 300$

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 Nutzung oder nutzungsähnlichen Umständen in normalen Wohnräumen ohne Staubaufwirbelung entsprechend DIN ISO 16000-20 genommen wurden (siehe auch Anlage 8).

* Konzentrationen von unter 10 Sporen/m³ bzw. unter 5 Sporen/m³ lassen sich bei einem Probevolumen von 100 l bzw. 200 l auch bei Auswertung der Gesamtspur nicht mit einer ausreichenden statistischen Genauigkeit nachweisen, da erst ab einer Anzahl von 10 Sporen 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 Innenraumluft in Anzahl Sporen/m³

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

ΣtypF = Summe der anderen typischen Sporen aus Feuchteschäden

typFS Sporentypen aus Feuchteschäden mit schlechter luftgetragener Verbreitung

5.3 Gutachten

Es existieren keine einheitlichen Regelungen, die die Form oder den Aufbau eines Gutachtens vorschreiben. Ein Gutachten muss jedoch für den Leser verständlich und nachvollziehbar sein. Verwertbare Gutachten weisen daher eine feste Struktur der inhaltlichen Gliederung auf:

- 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 können durch einen naturwissenschaftlich-technischen Sachverständigen nicht gegeben werden.

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

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

Damit ggf. von 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, die zu dem Schimmelbefall geführt haben, zu klären und zu beseitigen (siehe Kap. 3 und Kap. 4). Im Schadensfall sind zur Beurteilung der Dringlichkeit einzuleitender Maßnahmen die Intensität und das Ausmaß des Schimmelbefalls (siehe Kap. 5.2.1) sowie die Nutzungsklasse (siehe Kap. 6.1) zu berücksichtigen.

Wichtig ist auch, ob der Schimmelbefall durch den Nutzer selbst beseitigt werden kann (siehe Kap. 6.2) oder eine Fachfirma einbezogen werden muss (siehe Kap. 6.3). Der Einsatz von Bioziden ist im Regelfall nicht erforderlich; wichtige Aspekte bei deren Anwendung sind zusammenfassend dargestellt (siehe Kap. 6.4). Auch die bauliche Rekonstruktion nach Sanierung (siehe Kap. 6.5) und Maßnahmen nach Abschluss aller Arbeiten (siehe Kap. 6.6) werden kurz beschrieben.

Bei der Abwägung zwischen unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen (z. B. Rückbau oder Abdichtung) sollte berücksichtigt werden, dass bei Schimmelbefall nicht nur Mikroorganismen vorkommen sondern auch kleine, sehr mobile biogene Partikel bzw. Substanzen auftreten können (siehe Kap. 2.2).

6.1 Nutzungsklassen

Erstmals werden im Leitfaden Nutzungsklassen (Raumklassen) eingeführt, bei denen abgestufte Anforderungen und Empfehlungen im Hinblick auf Sanierungsmaßnahmen gelten. Hintergrund ist, dass eine Schimmelbelastung in Innenräumen und Gebäudeteilen, in denen man sich dauerhaft oder nicht nur vorübergehend aufhält, für die Raumnutzer ein höheres gesundheitliches Risiko darstellt als Schimmelbefall in Nebenräumen außerhalb und abseits der üblichen Nutzungsräume, in denen man sich nur gelegentlich aufhält oder die lediglich als Lager oder Garage verwendet werden. Maßgeblich für die Zuordnung von Räumen zu den Nutzungsklassen ist dabei neben Art und Dauer der Nutzung, die Tatsache, ob die Räume innerhalb der Wohnung (oder des Büros) liegen oder außerhalb davon.

Welche abgestuften Anforderungen hinsichtlich der Sanierung bei Schimmelbefall nutzungsklassenabhängig gelten, wird in den Folgeabschnitten beschrieben.

Die Empfehlungen im gesamten Kapitel 6 gelten generell für die Nutzungsklasse II (vgl. Kap. 6.1.2). Auf mögliche abweichende Anforderungen für die Nutzungsklasse III (vgl. Kap. 6.1.3) wird gesondert hingewiesen. In Nutzungsklasse IV (vgl. Kap. 6.1.4) sind in der Regel keine Schimmelsanierungsmaßnahmen hinter der Abschottung erforderlich, wenn die Bauteile hinter der Abschottung bestimmungsgemäß trocken (oder nicht dauerhaft feucht) sind.

6.1.1 Nutzungsklasse I

Räume mit speziellen hygienischen Anforderungen, die sich insbesondere für immunsupprimierte Patienten ergeben, bilden die Nutzungsklasse I (siehe Tab. 11). Die in solchen Fällen notwendigen Maßnahmen werden im Leitfaden nicht behandelt, da es dazu gesonderte Empfehlungen z. B. der Krankenhaushygiene gibt.

6.1.2 Nutzungsklasse II

Regelmäßig oder nicht nur vorübergehend genutzte Räume mit dazugehörenden Nebenräumen bilden die Nutzungsklasse II (siehe Tab. 11). Hier gelten grundsätzlich alle beschriebenen Anforderungen im Leitfaden. Nebenräume innerhalb der Wohnung oder des Büros sind z. B. Speisekammern, Kleiderkammern oder Abstellräume aller Art. Dachgeschossräume, die von der Wohnebene aus direkt z. B. über eine Treppe erreichbar sind, sind ebenfalls Nebenräume innerhalb der Wohnraumebene. Bei solchen Räumen gelten die gleichen hohen Anforderungen, wie in der übrigen Wohnung, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass Schimmelbestandteile aus diesen Nebenräumen in die anderen Räume der Wohnung gelangen können.

6.1.3 Nutzungsklasse III

Kellerräume in Mehrfamilienhäusern oder Bürogebäuden, bei denen der Zugang zum Keller separat über den Hof oder das Treppenhaus, in keinem Fall aber von der Wohnung (oder dem Büro) heraus erfolgt, sowie Garagen oder anderweitige Nebenräume außerhalb der Räume der Nutzungsklasse II bilden die Nutzungsklasse III (siehe Tab. 11). Hier sind die Anforderungen des Leitfadens nicht in vollem Umfang gültig. Das kann sowohl die Dringlichkeit einer Sanierungsmaßnahme als auch Art und Umfang der Maßnahme selbst betreffen. Auch nicht ausgebaute Dachgeschosse, die über eine Dachluke oder eine verschließbare Tür vom Treppenhaus außerhalb der Wohnung aus erreichbar sind, zählen zur Nutzungsklasse III. Treppenhäuser in Mehrfamilienhäuser zählen ebenfalls zur Nutzungsklasse III.

6.1.4 Nutzungsklasse IV

Die Nutzungsklasse IV beinhaltet gegenüber der Innenraumluft luftdicht oder diffusionsdicht abgeschottete Bauteile und Hohlräume (siehe Tab. 11). Für solche Hohlräume gelten verringerte Sanierungsanforderungen bei Schimmelbefall.

Dies ist vor allem bei ausgebauten Dachkonstruktionen von Bedeutung. Falls der Schimmelbefall innerhalb der Dachkonstruktion, aber dauerhaft außerhalb der mit Dampfsperre o. Ä. abgedichteten Wohn- und Ausbauebene liegt, können deutlich reduzierte Anforderungen an die Sanierung gestellt werden. Bei Schäden außerhalb der Diffusionsdichtheitsebene ist daher zunächst zu prüfen, ob diese fachgerecht ausgeführt ist und ein Eintrag von Mikroorganismen oder mikrobiell bedingten Gerüchen in den Innenraum sicher und auf Dauer auszuschließen ist. Nur dann gilt die Nutzungsklasse IV und das mikrobiell besiedelte Material kann an Ort und Stelle verbleiben, wenn die Bauteile hinter der Absperrung bestimmungsgemäß (nach DIN 4108-7) trocken bleiben.

Bei einem mikrobiellen Wachstum an Materialien außerhalb der Diffusionsdichtheitsebene können allerdings bautechnische Gründe einen Austausch der Bauteile erforderlich machen, wenn z. B. die Baukonstruktion durch den Feuchteschaden dauerhaft in Mitleidenschaft gezogen ist.

Tabelle 11

Nutzungsklassen in Gebäuden

Nutzungsklasse	Anforderungen an die Innenraumhygiene	Beispiel	Anmerkungen
I	Spezielle, sehr hohe Anforderungen wegen individueller Disposition	Räume für Patienten mit Immunsuppression	Nicht in diesem Leitfaden behandelt; die Anforderungen bedürfen gesonderter Vereinbarung
II	Normale Anforderungen	Innenräume zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen: Wohn- oder Büroräume, Schulen, Kitas usw. einschließlich dazu gehörender Nebenräume	Es gelten die gleichen Anforderungen für alle genutzten Räume (d. h. bei Wohnungen alle Räume einschließlich in der Wohnung liegender Nebenräume)
III	Reduzierte Anforderungen	Nicht dauerhaft genutzte Räume **außerhalb** von Wohnungen, Büros, Schulen usw., z. B. Kellerräume und Abstellräume (ohne direkten Zugang zur Wohnung), nicht ausgebaute Dachgeschosse sowie Garagen oder Treppenhäuser	Verringertes Anforderungsniveau für Sanierung und Instandsetzung; geringere Dringlichkeit der Sanierung
IV	Deutlich reduzierte Anforderungen bis hin zu keinen Maßnahmen hinter der Abschottung	Luftdicht abgeschottete Bauteile und Hohlräume in Bauteilen oder Räumen, die nach Anforderung der DIN 4108-7 mit geeigneten Stoffen gegenüber Innenräumen abgeschottet sind	Bestimmungsgemäß trockene Bauteile hinter der Abschottung müssen trocken bzw. dürfen nicht dauerhaft feucht sein

6.2 Sanierung eines kleinen Schimmelbefalls

Schimmelbefall geringeren bis mittleren Umfangs (< 0,5 m², nur oberflächlicher Befall, siehe Kap. 5.2.1, Tab. 8) mit bekannter Ursache kann von Betroffenen oft selbst beseitigt werden, sofern sie nicht allergisch auf Schimmelpilze reagieren oder an Erkrankungen des Immunsystems leiden. Bei größerem Befall und geringem bis mittlerem Befall ohne bekannte Ursache sollte eine Fachfirma hinzugezogen werden (siehe auch Abb. 23 und Kap. 6.3). Prinzipiell ist es wichtig, unverzüglich mit der Schimmelsanierung zu beginnen, damit sich der Befall nicht ausdehnt.

Bei geringem Schimmelbefall (Kategorie 2, in Kap. 5) in der Nutzungsklasse III kann je nach Art der Nutzung und örtlichen Gegebenheiten ggf. ganz auf Sanierungsmaßnahmen verzichtet werden.

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 sollten nur Geräte mit Zusatzfilter (hochabscheidende Schwebstofffilter wie HEPA-Filter) benutzt werden. Fegen sollte ganz unterbleiben, da dabei unnötig Staub aufgewirbelt und verteilt wird.

6.2.1 Maßnahmen durch den Raumnutzer

Folgendes sollte beachtet werden:

- **Glatte Flächen**: Bei glatten Flächen, z. B. Fliesen, Keramik, Glas, Metall und Fliesenfugen reicht es, wenn diese mit Wasser und einem haushaltsüblichen Reiniger abgewaschen werden, um Befall, kontaminierten Staub oder Verschmutzungen zu entfernen. Das Wischwasser ist dabei mehrfach auszutauschen und eine unkontrollierte Verteilung bzw. ein Verschmieren zu verhindern. Im Bad sollen auffällig 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 vorher gründlich zu reinigen.

- **Poröse Flächen**: verputzte oder gemalerte Wände können mit einem alkoholischen Reiniger mit 70 %- bis 80 %igem-Alkoholanteil oder einem haushaltsüblichen Reiniger (kein Essigreiniger) unter Verwendung eines Mikrofasertuches abgewischt werden. Davor kann ggf. mit

einem handelsüblichen Staubsauger mit Zusatzfilter (HEPA-Filter) und dichtem Gehäuse abgesaugt werden. Die Staubsaugerbeutel können mit dem Hausmüll entsorgt 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. kontaminierte Schrankrückwände, können feucht gereinigt werden. Ist der Schimmelbefall bereits deutlich in das Material eingedrungen (z. B. stark verschimmelte oder durch die Feuchte aufgequollene Spanplatten), dann sind die befallenen Teile des Möbelstücks zu entsorgen. Um eine Verbreitung von Sporen zu verhindern, kann der befallene Teil des Möbelstücks vor der Entsorgung mit einer Folie abgeklebt werden. Massivholzmöbel sind in der Regel davon nicht betroffen. Hier ist fast immer eine Reinigung möglich, da Schimmelbefall an Massivholz meist nur oberflächlich vorliegt.

- Bei **Polstern und Polstermöbeln** muss ebenfalls unterschieden werden zwischen befallenem Material, auf dem Schimmelpilze wachsen (oder gewachsen sind) und Möbelstücken, die lediglich mit Schimmelpilzsporen aus der Luft sekundär verunreinigt (kontaminiert) wurden. Befallene Polstermöbel sind häufig schwer zu reinigen, da der Schimmelbefall insbesondere, wenn dieser länger andauert, 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 kontaminiert 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 entfernt werden. Kontaminierte **Textilien**, z. B. Vorhänge oder Decken, auch Kleidungsstücke, sollen vorsichtig abgenommen und in der Waschmaschine (ggf. mehrfach) gewaschen oder chemisch gereinigt werden. Durch Schimmelbefall verursachte Flecken und Gerüche lassen sich aber unter Umständen nicht entfernen, in diesem Fall müssen die Textilien entsorgt werden.

6.2.2 Maßnahmen durch Fachfirmen

Bei einem Schimmelbefall geringen bis mittleren Umfangs (Kategorie 2, siehe Kap. 5.2.1, Tab. 8) 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.

INFOBOX 13

Persönliche Schutz- und Vorsichtsmaßnahmen bei Beseitigung eines kleinen Schimmelbefalls

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

INFOBOX 14

Welche Fachfirmen sind zur Sanierung geeignet?

Bis heute gibt es keine staatliche „Zulassungs- oder Zertifizierungsstelle“ für Schimmelsanierungsfirmen.

Ein Sanierungsfachbetrieb muss in der Lage sein, eine Sanierung von Schimmelbefall fachgerecht zu organisieren, vorzubereiten und auszuführen. Es gibt derzeit keinen Ausbildungsberuf, der die für die Schimmelsanierung notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten umfassend vermittelt. Auch gibt es keine behördliche Prüfung oder Zulassung für einen Sanierungs-Fachbetrieb (aus VdS 3151 „Richtlinien zur Schimmelpilzsanierung nach Leitungswasserschäden“).

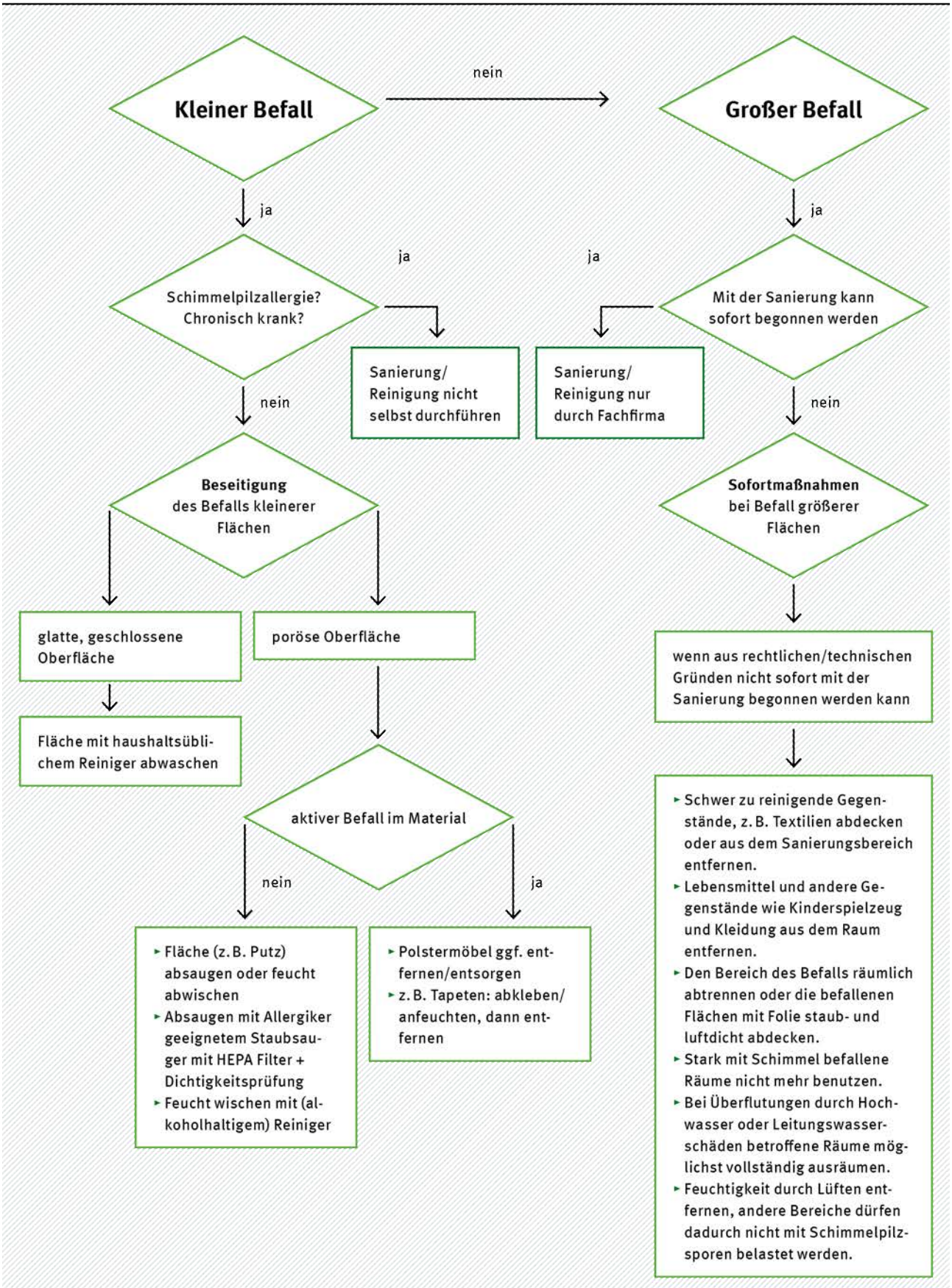
Hinweise zu Qualitätskriterien für einen Fachbetrieb finden sich auf der Internetseite des Umweltbundesamtes (https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/schimmel).

Schimmelsanierungen sind nicht gezielte Tätigkeiten im Sinne der Biostoffverordnung, bei denen sensibilisierende und toxische Wirkungen der Biostoffe im Vordergrund stehen. 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 wird.

Abbildung 23

Vorgehensweise (Ablaufschema) bei der Beseitigung von kleinem und großem Schimmelbefall, Erklärungen im Text



Quelle: Umweltbundesamt 2016

6.3 Sanierung eines großen Schimmelbefalls

Die fachgerechte Sanierung eines großen Schimmelbefalls (Kategorie 3, siehe Kap. 5.2.1, Tab. 8) 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 Reinigung oder Separierung befallener Möbel und Gegenstände sein (siehe Kap. 6.3.2).

Bei der Sanierung sind unbedingt die Arbeitsschutzbestimmungen zu beachten (siehe Kap. 6.3.1). Der Ablauf einer Sanierung eines großen Schimmelbefalls umfasst folgende Schritte:

- Gegebenenfalls Sofortmaßnahmen (siehe Kap. 6.3.2)
- Ermittlung des Schadensausmaßes des Schimmelbefalls, möglichst durch unabhängige Fachleute (siehe Kap. 6.3.3)
- Ermittlung der Ursache/n für die erhöhte Feuchte und den Schimmelbefall (siehe Kap. 6.3.4)
- Beseitigung der Ursache/n des Befalls (siehe Kap. 6.3.4)
- Durchführung der Schimmelsanierung
  - Entfernung der mit Schimmel befallenen Materialien (siehe Kap. 6.3.5)
  - gegebenenfalls Trocknung feuchter Bausubstanz (siehe Kap. 6.3.6)
  - Reinigung des Objektes nach Rückbau zur Beseitigung kontaminierter Stäube (auch Feinreinigung genannt, siehe Kap. 6.3.7)
- Erfolgskontrolle durch unabhängige Fachleute (siehe Kap. 6.3.8)
- Wiederaufbau (siehe Kap. 6.5)
- Kontrolle und ggf. Reinigung der in den Raum einzubringenden Gegenstände, ggf. nochmalige Reinigung des Objektes nach Beendigung aller Maßnahmen (siehe Kap. 6.6)

Die Reihenfolge kann variieren und ist nicht zwingend einzuhalten. Vor Beginn der Sanierung ist zu prüfen, ob ein Umgang mit kontaminiertem Material oder eine Tätigkeit mit erhöhter Schimmelexposition zu erwarten ist. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind dann die erforderlichen Schutzmaßnahmen festzulegen.

Bei Schimmelbefall in der Nutzungsklasse III werden die Punkte Schadensausmaß (siehe Kap. 6.3.3) und Ursachenklärung (siehe Kap. 6.3.4) wie bei Nutzungsklasse II behandelt. Die weiteren Punkte (Sofortmaßnahmen, Beseitigung der Ursachen, Durchführung der Schimmelsanierung bis hin zur Kontrolle) können je nach Raumnutzung abgestuft behandelt werden (siehe entsprechende Kapitel).

6.3.1 Arbeitsschutz

Beim Entfernen schimmelbelasteter Materialien mit staubenden Arbeitsverfahren wie z. B. Abstemmen von Putz mit einem Stemmmeißel 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 Biostoffe 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. Bei der Schimmelsanierung liegt in der Regel keine erhöhte Infektionsgefährdung für die Beschäftigten vor, eine gesundheitliche Gefährdung geht insbesondere von den sensibilisierenden und toxischen Wirkungen der Biostoffe aus. 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 Kap. 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:

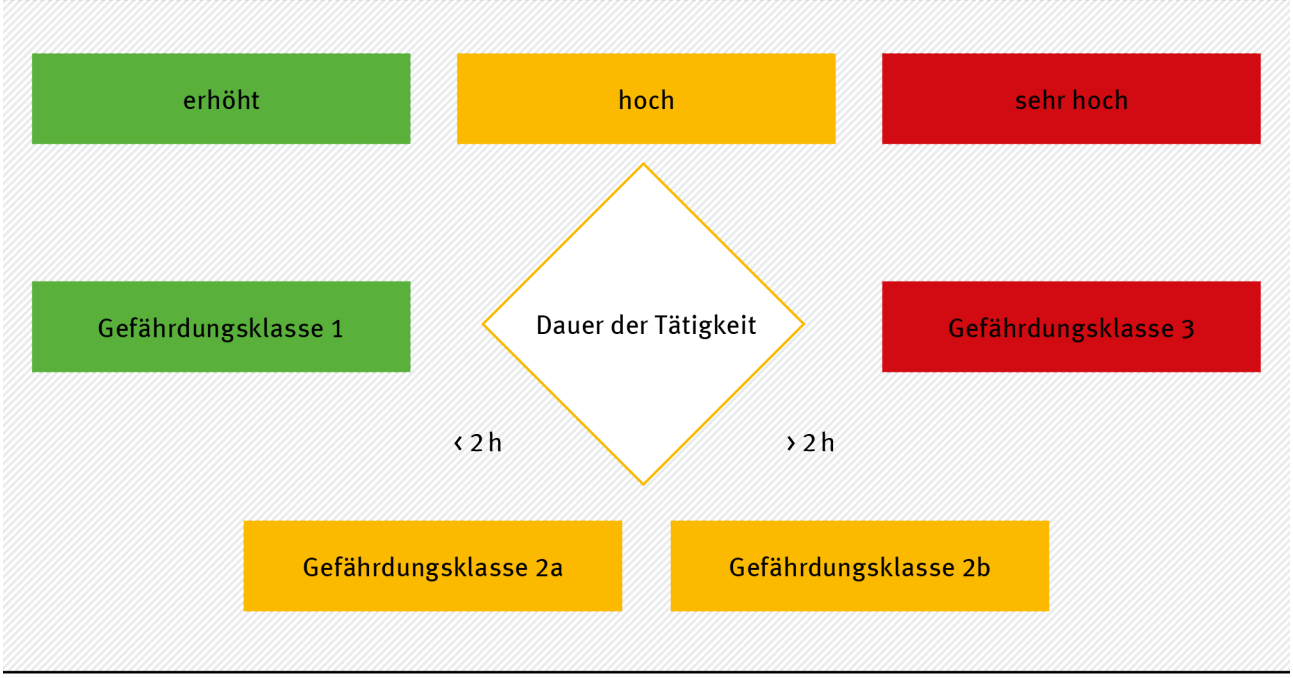
- Biostoffe (Schimmelpilze, Bakterien und ggf. Krankheitserreger aus Abwasser), deren Infektionspotential sowie mögliche sensibilisierende und toxische Wirkungen, Aufnahmepfade der Stoffe in den Körper Ursache, Größe und Tiefe des Schimmelbefalls
- durchzuführende Tätigkeiten unter Berücksichtigung des 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 Biostoffe bei der Schimmelpilzsanierung“ (DGUV-Information 201-028), die im Internet abrufbar ist.

Die Handlungsanleitung liefert für typische Tätigkeiten bei der Schimmelsanierung Informationen über die zu erwartenden Sporenkonzentration am Arbeitsplatz. Abhängig von der Exposition und der Dauer der Tätigkeiten werden die Tätigkeiten einer Gefährdungsklasse zugeordnet (siehe Abb. 24). Eine Messung der Konzentration der Schimmelpilze und Bakterien oder eine Artbestimmung ist für eine Gefährdungsabschätzung auf Grundlage der DGUV-Information in der Regel nicht notwendig.

Abbildung 24

Zuordnung der Tätigkeiten zu einer Gefährdungsklasse in Abhängigkeit von der zu erwartenden Exposition und der Dauer der Tätigkeit



Quelle: DGUV-Information 201-028, BG Bau 2016

Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen:
Die erforderlichen Schutzmaßnahmen richten sich nach der ermittelten Gefährdungsklasse (siehe Abb. 24).

Bei den Tätigkeiten 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
- Raumlufttechnische Maßnahmen
- Einsatz von Industriestaubsaugern der Staubklasse H

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

Tabelle 12

Abhängig von der ermittelten Gefährdungsklasse werden folgende Schutzmaßnahmen erforderlich (nach DGUV-Information 201-028, BG Bau 2016)

Maßnahmen	Gefährdungsklasse 1	Gefährdungsklasse 2	Gefährdungsklasse 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		

6.3.2 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. In Räumen der Nutzungsklasse III ist die Notwendigkeit von Sofortmaßnahmen je nach Nutzung deutlich geringer als in Räumen der Nutzungsklasse II. 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 Maßnahmen durchführen.

Sofortmaßnahmen können sein:

- Betroffene informieren
- Aufenthaltsdauer beschränken
- Nutzung aussetzen und kontaminierte Räume abschotten, Fugen an Türen mit Klebeband abkleben (Kennzeichnen der Räume mit „Zutritt verboten“)
- Verschleppen mikrobieller Partikel und Stäube vermeiden und daher befallene Gegenstände vor Ort belassen oder verpackt entsorgen
- Befall abschotten durch (vorübergehende) dichte Abdeckung mit Folie; Kondensat unter der Abschottung vermeiden
- Befall binden (Überstreichen mit Farben/Lacken als Übergangsmaßnahme)
- verunreinigte, nicht mikrobiell befallene Gegenstände, die aus den Räumen geholt werden, reinigen.

- Luftreiniger betreiben oder Lüftungsmaßnahmen durchführen, dabei ist eine Verschleppung von mikrobiellen Bestandteilen in andere nicht befallene Bereiche und die Gefährdung Dritter zu vermeiden

6.3.3 Erfassung des Schadensausmaßes

Grundlagen einer fachgerechten Sanierung sowohl in Nutzungsklasse II als auch in Nutzungsklasse III sind die Untersuchung des Objektes (fachgerechte Ortsbegehung, siehe Kap.5.1.1) und die zweifelsfreie Kenntnis der Befallsursache und des gesamten Schadensausmaßes (sowohl in räumlicher Ausdehnung als auch in Bezug auf die Intensität). Wird ein Feuchte- 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 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 Luftfeuchte oberhalb von ca. 70 % reicht für xerophile Schimmelpilzarten bei sonst optimalen Bedingungen aus, um zu wachsen (siehe Kap. 1 und 3).

6.3.4 Beseitigung der Schadensursachen

Die Ursachen für die erhöhte Feuchte müssen erkannt und behoben werden. Baumängel bzw. Bauschäden sind zu beseitigen. Feuchteschäden aus Havarien (Überschwemmung, Leckstellen) sind schnellstmöglich zu trocknen, um Schimmelbefall vorzubeugen. Leitungswasserschäden sind zu lokalisieren und fachgerecht instand zu setzen.

Eine Schimmelsanierung beginnt immer mit der Klärung und Beseitigung der Ursachen für die Entstehung des Schimmelbefalls.

Bei sichtbarem und bekanntem Schimmelbefall sollte dieser möglichst vor der technischen Trocknung beseitigt werden, damit die Bioaerosole nicht durch den Betrieb von Trocknungsgeräten verbreitet werden. Die Vorgehensweise bei Wassereintritt in Fußböden wird in der Handlungsempfehlung für Feuchteschäden in Fußböden (siehe Anlage 6) beschrieben.

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

Oberflächenfeuchte:
Oberflächenfeuchte tritt auf, wenn die Luftfeuchte zu hoch und/oder die Oberflächen zu kalt sind. Wurde bei der Ursachensuche eine zu hohe Oberflächenfeuchte von Wänden 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 vorzubeugen.

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 von Schimmelbefall spezielle lüftungstechnische Maßnahmen hilfreich, bei denen das Lüften mit Hilfe von die absolute Feuchte erfassenden Feuchtesensoren geregelt wird. Zusätzlich können Luftentfeuchtungsgeräte erforderlich sein. Dies gilt vor allem für Räume der Nutzungsklasse II. Bei Räumen in Nutzungsklasse III ist es sinnvoll, die Lüftung entsprechend in die frühen Morgenstunden oder spät nachts zu verlegen, um erhöhte Kondensationsfeuchte an den Wänden im Sommer zu vermeiden.

Bauteilfeuchte:
Je nach Ursache der Wanddurchfeuchtung ergeben sich nachfolgende idealisierte Feuchteprofile im Außenwandbereich (siehe Abb. 25).

Durch geeignete Bauwerksdiagnostik ist anhand der Feuchteprofile und durch Untersuchung des Konstruktionsaufbaus zu ermitteln, welche Feuchtezufuhr an dem zu untersuchenden Bauteil vorliegt (siehe WTA Merkblatt 4-11, 2016). In der Praxis stellt sich ein Untersuchungsergebnis nicht unbedingt so eindeutig wie in Abb. 25 dar. Es können Mischfälle vorliegen, bei denen sich mehrere Feuchteprofile überlagern. Die Ursache der Feuchtezufuhr 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 erhöhter Bauteilfeuchte beitragen:

- Einbau einer nachträglichen Horizontalsperre bei aufsteigender Feuchte durch Bohrlochinjektions-Verfahren oder mechanische Verfahren. Gegebenenfalls muss ein für den Einbau einer Horizontalsperre ein Austausch von Mauerwerk durchgeführt werden. Die Verfahren zum Einbringen einer nachträglichen Horizontalsperre sind z. B. in den WTA-Merkblättern 4-7-15/D und 4-10-15/D (siehe Anlage 4) beschrieben. Das WTA-Merkblatt 4-6-14/D liefert Informationen zum nachträglichen Abdichten erdberührter Bauteile.

- Innenabdichtung: Anbringen eines mehrlagigen Innenabdichtungssystems mittels starrer und flexibler Dichtungsschlämme auf der Wandinnenseite gemäß WTA-Merkblatt 4-6-14/D. Bei diesen Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass in der Wand vorhandene Feuchte weiter aufsteigen kann, wenn dies nicht durch eine horizontale Abdichtung verhindert wird.

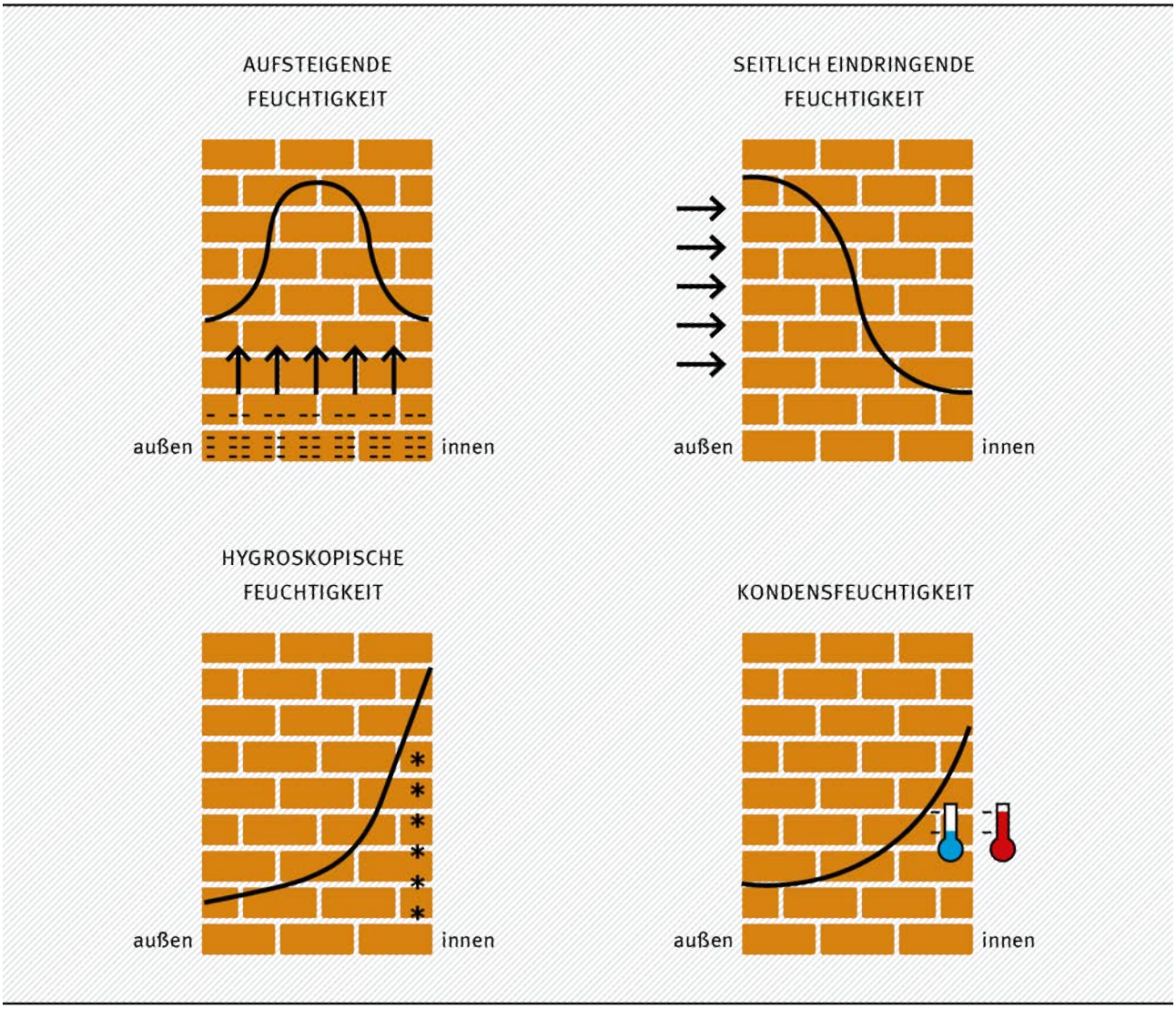
- Verpressen von Arbeitsfugen und Rissen in Betonbauteilen: Die Rissinjektion wird mit Harzen (z. B. dauerelastischen Kunstharzen auf Polyurethanbasis) ausgeführt, um Risse oder undichten Fugen mit einem hohen Druck formschlüssig zu verpressen.

Zu weiteren technischen Vorgaben bezüglich Bauwerkstrockenlegung und -prüfung siehe auch WTA-Merkblatt 4-12-16D (siehe Anlage 4).

Bei Räumen der Nutzungsklasse III muss je nach Art der Nutzung entschieden werden, ob und welche Maßnahmen notwendig sind. Bei Lagerräumen für feuchteunempfindliche Gegenstände, die selten betreten werden, sind in der Regel keine Maßnahmen notwendig. Werden die Räume häufiger betreten oder sollen sie zur Lagerung von feuchteempfindlichen Materialien genutzt werden, so sind auch hier ggf. bauliche oder lüftungstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Situation erforderlich.

Abbildung 25

Feuchteprofile in der Wand



Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, IBP

6.3.5 Entfernung befallener Materialien

Sowohl die Dringlichkeit der Sanierung als auch die zu ergreifenden Maßnahmen bei der Sanierung selbst hängen entscheidend von der Art und Häufigkeit der Raumnutzung ab. Bei der Frage, ob befallene Materialien und Bauteile entfernt werden sollen oder Abhilfe durch andere Maßnahmen wie Abschotten oder Abdichten geschaffen wird, ist daher immer die Nutzungsklasse zu berücksichtigen.

Bevor der Abbruch bzw. Ausbau der geschädigten Bausubstanz erfolgen kann, müssen die zuvor beschriebenen Arbeits- und Umgebungsschutzmaßnahmen durchgeführt werden (siehe Kap. 6.3.1). 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 können größere Mengen an Staub, Schimmelpilzsporen sowie weitere biogene Partikel und Substanzen freigesetzt werden. Um die Staubentwicklung so gering wie möglich zu halten, können diese Materialien vor und während der Abbrucharbeiten befeuchtet oder mit einem Sporenbindemittel ohne Biozidzusatz behandelt werden. Eine Behandlung mit Bioziden ist in der Regel nicht sinnvoll, da die Materialien ohnehin entfernt werden (gilt für alle Nutzungsklassen).

- Sind Leichtbauwände, Vorbauwandkonstruktionen und Installationswände (meist aus Gipswerkstoffplatten) von Schimmel befallen, sind diese rückzubauen. In der Regel ist auch der Ausbau der dort verbauten Dämmmaterialien (z. B. KMF-Dämmung) erforderlich, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls befallen 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 Feuchtehorizont hinaus erfolgen. In Nutzungsklasse III ist das Entfernen je nach Raumnutzung und Materialschädigung nicht immer erforderlich. Dort ist lediglich sicherzustellen, dass die Dämmwolle nach der Sanierung (wieder) bestimmungsgemäß trocken ist.

- 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 (gilt für alle Nutzungsklassen).

- Wenn aufgrund lang anhaltender und eingeschlossener Feuchteeinwirkung bereits eine Zerstörung des Putzgefüges an den Wänden eingetreten ist (Aussalzungen, Zermürbung, Verseifung, Aufweichung), bleibt nur die Durchführung einer partiellen Putzentfernung bzw. mechanischer Abtragung unter gleichzeitiger HEPA-gefilterter Absaugung.

- Freigelegte Mauerwerke und ggf. vorhandene Betonflächen sollten zunächst sorgfältig abgesaugt werden und können – soweit es aus Brandschutzgründen möglich ist – zur Beseitigung anhaftender organischer und mikrobieller Partikel fachgerecht abgeflämmt werden (gilt für alle Nutzungsklassen).

- Zur Beseitigung eines oberflächlichen Schimmelbefalls an massiven Bauteilen z. B. Wandputz eignen sich unter anderem Fräsen oder Schleifgeräte mit integrierter Staubabsaugung und nachgeschalteter Filtration (HEPA-Filter). Bei tiefgehendem Befall in Wand- und Deckenputzen sind die Putze zu entfernen. In Räumen der Nutzungsklasse III ist je nach Raumnutzung zu entscheiden, ob und wieweit der Putz entfernt werden muss.

- Schimmelbefall auf massivem Holz (z. B. Dachsparren) kann durch abrasive Verfahren (u. a. Abhobeln) entfernt werden. Empfehlungen hierzu gibt auch das DHBV-Merkblatt 02-15/S[1]. In Nutzungsklasse III reicht je nach Raumnutzung ein oberflächliches Absaugen/Abwischen aus.

- Sämtliches entferntes kontaminiertes Material soll, wenn es den geschützten Arbeitsbereich verlässt, in Behältern oder luftdicht verpackten Säcken auf dem kürzesten Wege aus dem Gebäude in möglichst geschlossene Container gebracht werden (gilt für alle Nutzungsklassen).

Mikrobiell eindeutig befallene Materialien, die problemlos und somit meist wirtschaftlich demontiert werden können, wie Gipskartonplatten, Holzwerkstoffplatten oder Dämmmaterialien sollten nicht im Gebäude belassen werden. Bei Räumen der Nutzungsklasse III kann je nach Art der Raumnutzung und Schädigung des Materials entschieden werden, ob eine Belassung der Materialien oder eine oberflächliche Entfernung des Befalls durch Reinigen möglich und ausreichend ist.

Die Vorgehensweise bei Schimmelbefall in Dämmschichten von Fußbodenkonstruktionen in Räumen der Nutzungsklasse II wird in der UBA Handlungsempfehlung für Feuchteschäden in Fußböden beschrieben (siehe Anlage 6). Bei Schimmelbefall in Fußbodenkonstruktionen in Räumen der Nutzungsklasse III kann je nach Art der Raumnutzung entschieden werden, ob auch bei eindeutigem Befall die befallenen Materialien belassen werden können oder andere Alternativen wie geeignete Abdichtungsmaßnahmen möglich sind.

1 DHBV-Merkblatt 02-15/S: Deutscher Holz- und Bautenschutzverband: Schimmelpilzbefall an Holz- und Holzwerkstoffen in Dachstühlen

6.3.6 Trocknungsmaßnahmen

In allen Fällen, in denen Feuchteschäden in Gebäuden so umfassend sind, dass sie nicht mehr nur durch Lüften und Heizen allein getrocknet werden können, ist eine Trocknung mit technischen Hilfsmitteln vorzunehmen. In Räumen der Nutzungsklasse III kann es bei nur gelegentlicher Nutzung und bei Lagerung feuchteunempfindlicher Gegenstände ausreichen, vermehrt zu lüften. Für eine technische Bautrocknung ist eine besondere Sachkunde erforderlich. Die Sachkunde ist plausibel zu belegen.

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 eingetragen. Während der Trocknung ist daher die Innenraumhygiene zu berücksichtigen und es dürfen keine Stäube, Fasern und Schimmelbestandteile freigesetzt und verteilt werden.

Mit der Trocknung soll so schnell wie möglich nach Auftreten des Feuchteschadens begonnen werden, damit sich kein Schimmel bilden 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 Kontamination;
- Art der Nutzung (siehe Kap. 6.1);
- Gesundheitszustand der Nutzer (wenn während der Trocknung anwesend)
- Art der Trocknung.

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

Für die unterschiedlichsten Schadensfälle stehen verschiedene Geräte, Verfahren und Methoden zur Trocknung zur Verfügung (u. a. Kondensationstrockner, Absorptionstrockner, Wärmeplatten, Infrarotstrahlen, siehe WTA 6-15-13/D).

Sind die Bauteile von Schimmel befallen, muss darauf geachtet werden, dass bei der Trocknung keine mikrobiellen Bestandteile freigesetzt und verteilt werden. Es sind Verfahren einzusetzen, die eine Freisetzung von Schimmelpilzsporen, Fasern von Dämmstoffen und sonstigen Partikeln verhindern (Saug- oder Saug-Druckverfahren). Wenn nötig, sind die Räume während der Trocknung von nicht betroffenen Räumen abzuschotten.

Die Entfernung befallenen Materials ist grundsätzlich vor den Trocknungsmaßnahmen durchzuführen.

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. Bei während der Trocknung genutzten Räumen sind ausschließlich Saug- oder Saugdruckverfahren anzuwenden.

Bei Räumen der Nutzungsklasse III muss je nach Art der Räume und der Raumnutzung entschieden werden, inwieweit eine Trocknung notwendig ist.

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 aufweist.

Der Erfolg der Trocknung ist messtechnisch zu überprüfen (siehe auch WTA Merkblätter 4-11-16/D und 4-12-16/D). Überwacht wird der Trocknungsprozess in der Praxis durch Messung der Temperatur und Luftfeuchte in der zu- und abströmenden Luft. Nimmt die Trocknungsluft keine Feuchte mehr auf, ist eine weitere Trocknung in der Regel nicht sinnvoll. Es können allerdings immer Bereiche verbleiben, die vom Luftstrom des Trocknungsgerätes nicht erfasst wurden. Ob tatsächlich das Trocknungsziel erreicht wurde, kann fachgerecht durch Messung der Ausgleichsfeuchte mittels Sonde im zu trocknenden Bauteil – idealerweise in frisch gebohrten Löchern – kontrolliert werden.

Bei baulich und hygienisch einwandfreiem Zustand kann mit dem Wiederaufbau (bauliche Rekonstruktion, siehe Kap. 6.5) begonnen werden.

INFOBOX 15

Trocknung von Bodenkonstruktionen und Hohlräumen

Sind Bodenkonstruktionen ohne Trittschall- und Wärmedämmschichten, sog. Verbundestriche, stark durchnässt, kann der Feuchteentzug nur 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 (siehe auch Anlage 6).

Bei Fußbodenkonstruktionen mit darunter liegenden Hohlräumen, Dämmschichten und bei nicht zugänglichen Schächten sind spezielle Trocknungsverfahren anzuwenden. Die technische Trocknung von Bodenaufbauten mit Trittschall- und Wärmedämmschichten kann durch drei Verfahren durchgeführt werden (siehe auch WTA Merkblatt 6-15-13/D).

Beim **Saugverfahren** wird feuchte Luft aus dem Dämmmaterial und/oder Hohlraum abgesaugt. Hierdurch entsteht in der Konstruktion ein Unterdruck. Die mittels eines technischen Trocknungsgerätes getrocknete Raumluft strömt über die Randfugen bzw. Öffnungen in den zu trocknenden Hohlraum nach. Diese trockene Luft nimmt beim Hindurchströmen Feuchte aus den feuchten Materialien auf. Die in der abgesaugten Luft vorhandenen mikrobiellen Bestandteile werden direkt nach außen geleitet und/oder über einen nachgeschalteten Filter gefiltert.

Beim **Saug-/Druckverfahren** wird wie beim Saugverfahren die feuchte Luft im zu trocknenden Hohlraum durch Öffnungen abgesaugt. Parallel dazu wird getrocknete Luft unter Druck in die die Trittschall- oder Wärmedämmung bzw. den Hohlraum eingeblasen. Der Saug-Volumenstrom muss bei diesem Verfahren größer sein als der Druck-Volumenstrom.

Beim **Druckverfahren** wird die über ein technisches Trocknungsgerät getrocknete Luft über Einblasöffnungen (z. B. über Randfugen oder Bohrungen im Estrich) unter den Estrich in die Trittschall- oder Wärmedämmung bzw. den Hohlraum eingeblasen. Die trockene Luft reichert sich mit Feuchte aus den Baumaterialien an, gelangt über Austrittsöffnungen in den Raum und muss anschließend dort abgeführt werden. Bei Schimmelbefall erfolgt eine unkontrollierte Freisetzung von mikrobiellen Bestandteilen in die Raumluft. Dieses Verfahren sollte daher bei Schimmelbefall nur dann angewendet werden, wenn die Räume nicht genutzt werden (bspw. im Rohbau). Dies gilt nicht nur bei Verdacht auf mikrobiellen Befall sondern auch weil Stäube, Fasern etc. an die Umgebung verteilt werden.

6.3.7 Reinigung nach Rückbau

Durch die Sanierungstätigkeiten werden in der Regel mikrobiell belastete Stäube freigesetzt, die zu einer Kontamination der Raumluft und der Raumoberflächen führen. Daher ist der Sanierungsbereich vor dem Aufheben der Schutzmaßnahmen (Rückbau der Abschottungen und Schleusen) gründlich und sorgfältig zu reinigen, um eine Exposition bei nachfolgenden Arbeiten bzw. der Nutzer zu vermeiden. Dies gilt auch bei Schimmelsanierungen in Räumen der Nutzungsklasse III.

Die Reinigung nach Rückbau wird auch als Feinreinigung – im Sinne einer sorgfältigen Reinigung bis in Nischen und Ecken – bezeichnet. Ziel der Feinreinigung ist das Entfernen sämtlicher Stäube, Schimmelbestandteile und sonstiger mikrobieller Partikel. Abschottungen, Zugangsbereiche (z. B. Personenschleusen) und ggf. angrenzende Bereiche sind hierbei zu berücksichtigen.

Bei der Feinreinigung ist umsichtig vorzugehen, damit bereits gereinigte Flächen nicht durch aufgewirbeltes Material aus nachfolgenden Reinigungsschritten kontaminiert werden. Der Einsatz von Bioziden ist bei der Feinreinigung nicht erforderlich, da die Schimmelbestandteile durch Absaugen oder Abwischen mechanisch entfernt werden.

Nach dem Rückbau ist eine sorgfältige Reinigung der Oberflächen in den betroffenen Räumen durchzuführen. Der Einsatz von Bioziden zum Abtöten der Mikroorganismen vor dem Rückbau oder vor der Reinigung sowie eine Vernebelung von Bioziden zur Behandlung der Raumluft ist nicht erforderlich (siehe Kap. 6.4).

Wichtige Aspekte für eine erfolgreiche Staubentfernung und Reinigung in den betroffenen Räumen sind:

- Schwer zugängliche oder schwer zu reinigende Gegenstände und Einbauten (z. B. Heizkörperverkleidungen, Akustikdecken, textile Wandbekleidungen) bereits vor Beginn der Rückbauarbeiten staubdicht abkleben.
- Zur Reinigung Industriestaubsauger der Staubklasse H einsetzen. Sauger der Staubklasse M sollten nur dann verwendet werden, wenn die Abluft nach außen abgeführt wird.
- Bei glatten Oberflächen (z. B. Fenster, Türen, Abschottungen aus Folie) eignet sich eine Feuchtreinigung mit einem tensidhaltigen Reinigungsmittel.
- Die Feinreinigung kann durch den Einsatz von Luftreinigungsgeräten mit Filtern der Staubklasse H sinnvoll unterstützt werden, um die Konzentration luftgetragener Schimmelbestandteile und Stäube zu reduzieren.

- Es ist darauf zu achten, dass die Feinreinigung vor Abbau der Abschottungen und Schleusen erfolgt und diese Schutzeinrichtungen ebenfalls gereinigt werden. Erst nach erfolgreicher Reinigung werden die Abschottungen gegen unbelastete Bereiche demontiert, um eine Verschleppung der Kontamination zu vermeiden.

- Der Einsatz von Bioziden (z. B. zur Raumvernebelung) ist nicht sinnvoll und kann eine umfassende Reinigung nicht ersetzen.

- Alle im Raum ggf. vorhandenen Gegenstände, die kontaminiert sein könnten, ebenfalls mit einer entsprechenden Methode reinigen und von Stäuben befreien.

6.3.8 Kontrolle des Sanierungs- und Reinigungserfolgs

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

Die erfolgreiche **Ursachenbeseitigung** muss durch Inspektion festgestellt bzw. bestätigt werden, ggf. durch spezielle Messungen unterstützt. 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 und das Instandsetzen von Rohrleitungen, Dächern oder Fassaden.

Zur Feststellung der erfolgreich durchgeführten **technischen Trocknung** sind Messungen durchzuführen und zu dokumentieren (siehe hierzu Vorgaben im WTA-Merkblatt 4-12-16/D).

Der **Materialrückbau** wird durch Inaugenscheinnahme kontrolliert. Es kann nach der Sanierung zur Überprüfung der beauftragten Leistung nicht das Schadensausmaß ermittelt werden; dieses muss vor Beginn, spätestens während des Rückbaus geschehen. Kontrolliert werden muss, ob der ausführende Sanierungsfachbetrieb das Material laut Auftrag demontiert hat, z. B.: Wurde der Wandputz bis zu einer bestimmten Höhe entfernt? Wurden alle Reste der befallenen Gipskartonplatten in einem Raum entfernt? Wurde die Tapete von der Außenwand entfernt? etc. 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 **Reinigung nach Rückbau** zumindest durch Inaugenscheinnahme (ggf. mit Wischproben, um Staubablagerungen zu erkennen) zu kontrollieren und zu dokumentieren. Ein gutes Instrument, um insbesondere bei größeren Schäden den Reinigungserfolg zu kontrollieren und zu dokumentieren, ist die Vorgehensweise, die im WTA Merkblatt 4-12-16/D beschrieben wird. Die Vorgehensweise beruht auf einer Gesamtsporenmessung gemäß DIN ISO 16000 Teil 20 nach einer Mobilisierung vorhandener Staubablagerungen.

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

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

6.4 Biozideinsatz

Eine Desinfektion ist per Definition eine Maßnahme, bei der Krankheitserreger soweit abgetötet werden, dass sie keine Infektion mehr auslösen können. Desinfektionsmaßnahmen dienen daher zur Verhinderung einer Infektionsgefahr z. B. bei schwer immunsupprimierten Patienten in Krankenhäusern. In solchen Fällen müssen von entsprechenden Experten Produkte, Handlungsanweisungen oder Technologien angewendet werden, welche die dort auftretenden Krankheitserreger (z. B. *Aspergillus fumigatus*, *Nocardia* spp.) nachweislich ausreichend reduzieren. Im Leitfaden wird auf solche speziellen Anforderungen in Räumen der Nutzungsklasse I nicht eingegangen.

Werden bei der Schimmelsanierung in Räumen der Nutzungsklasse II oder III Biozide eingesetzt, so handelt es sich nicht um eine Desinfektion, auch wenn diese Biozide als Desinfektionsmittel gelistet sind. Es geht dabei nicht um eine Infektionsvermeidung, sondern es stehen andere Aspekte wie die Verzögerung des weiteren Schimmelwachstums im Vordergrund.

6.4.1 Wirksamkeit von Bioziden bei Schimmelbefall

Die Wirksamkeit von Bioziden wird meist an definierten, aber praxisfernen Systemen im Labor getestet. Es gibt nur wenige systematische Arbeiten zur Wirkung von Bioziden bei Schimmelbefall unter praxisnahen Bedingungen auf Baumaterialien. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass unter praxisnahen Bedingungen in den meisten Fällen keine oder keine nachhaltige Wirkung durch Biozidbehandlung erreicht werden kann. Auch wenn nach der Biozidbehandlung die Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze reduziert war, traten Wochen später wieder hohe Schimmelpilzkonzentrationen auf/in dem Material auf.

Abhängig von der Schimmelpilz- bzw. Bakterienart, des Mediums bzw. Baustoffes sowie Faktoren wie Feuchtegehalt und Temperatur können bestimmte biozide Stoffe das mikrobielle Wachstum verlangsamen oder reduzieren. Eine signifikante Reduktion bereits vorhandener mikrobiellen Biomasse ist in der Regel aber nicht zu erwarten, da Schimmelbefall durch die Biozidbehandlung nicht entfernt wird.

Eine Ausnahme stellt Wasserstoffperoxid (H_2O_2) in hohen Konzentrationen (> 10 %) dar. Mit dieser Biozidbehandlung kann eine Abtötung von Schimmelpilzen und Bakterien erreicht werden. Dessen Einsatz bei Schimmelwachstum ist jedoch auf Grund der stark oxidierenden Wirkung auf und in den Materialien beschränkt; es können sich empfindliche Oberflächen verfärben.

Von der Verwendung von Essiglösungen ist bei diffusionsoffenen Baustoffen abzuraten, da bei einer möglichen chemischen Reaktion mit Baustoffen der pH-Wert angehoben und ein zusätzliches Nährsubstrat auf die befallenen Stellen aufgebracht wird. Beides kann das Schimmelwachstum fördern statt hemmen.

6.4.2 Einsatz von Bioziden bei Schimmelbefall

Da bei einer Sanierung von Schimmelbefall in Räumen der Nutzungsklasse II und III nicht die Infektionsvermeidung das Ziel ist, ist eine Biozidbehandlung grundsätzlich nicht notwendig.

Eine Biozidbehandlung ist insbesondere **nicht** sinnvoll:

- wenn eine zeitnahe Trocknung des Feuchteschadens möglich ist
- bei sichtbarem Befall an Oberflächen (z. B. Tapeten, Putz), der mit einfachen Mitteln sofort entfernt werden kann
- bei eindeutigem Befall des Baumaterials, da durch biozide Behandlung bestenfalls die Konzentration an koloniebildenden Einheiten sinkt, jedoch nicht die mikrobielle Biomasse und möglicherweise auch nicht die Aktivität
- als Methode, bei der Biozide in der Raumluft (außerhalb unzugänglicher Hohlräume) vor, nach oder anstelle einer Sanierung oder Reinigung vernebelt werden.
- vor Umbau- oder Abbrucharbeiten bei Schimmelbefall (oft fälschlicherweise als „Desinfektion“ bezeichnet)
- wenn die Materialbeständigkeit gegen die Biozide nicht (sicher) gegeben ist.
- als Zusatz von Wandbeschichtungen nach einer Trocknung (schimmelhemmende Wandfarben). Dies gilt nicht für Räume der Nutzungsklasse III.

Ein Fluten von Fußbodenkonstruktionen mit Bioziden (in der Praxis oft fälschlicherweise Desinfektion genannt) ist keine nachhaltige Sanierungsmaßnahme. Das gilt auch für Nutzungsklasse III. Es gibt keine Nachweise, dass damit eine dauerhafte Inaktivierung von Schimmelpilzen und Bakterien erreicht werden kann.

Es gibt nur wenige Ausnahmefälle, bei denen eine Biozidbehandlung bei der Schimmelsanierung sinnvoll sein kann. Wenn das Baumaterial z. B. aus Gründen des Denkmalschutzes nicht entfernt werden soll oder wenn eine schnelle Trocknung nicht möglich ist, ist bei vermutetem Befall zur Verzögerung oder Verlangsamung des Wachstums an schwer zugänglichen Oberflächen eine Biozidbehandlung durch sofort abbauende Präparate im Einzelfall akzeptabel. Ein Beispiel ist das Vernebeln von Wirkstoffen (Wasserstoffperoxid) in unzugänglichen Hohlräumen von Konstruktionen, die aus baulichen Gründen nicht zugänglich gemacht werden können.

Bei einer Biozidbehandlung ist es wichtig sicherzustellen, dass alle Bereiche des befallenen Bauteiles von der Behandlung erreicht werden (sachkundige Inspektion ist im Vorfeld erforderlich) und der Erfolg der Maßnahme kontrolliert wird.

Die Wirksamkeit des anzuwendenden Produkts muss belegt sein. Produkte, die bei der Schimmelsanierung angewendet werden, benötigen für einen legalen Einsatz eine Zulassung nach Biozid-Verordnung in der Hauptgruppe 1, Produktart (PT) 2. Bei Zulassung eines Biozidprodukts wird eine Zulassungsnummer (z. B. DE-1234567-1234) vergeben, die mit dem Zulassungsinhaber auf dem Etikett zugelassener Produkte angegeben wird. Zurzeit ist kein Biozid für die Anwendung bei Schimmelbefall auf Baumaterialien im Innenraum zugelassen. Eine Liste der in Deutschland zugelassenen Biozidprodukte findet sich unter: http://www.baua.de/de/Chemikaliengesetz-Biozidverfahren/Biozide/Produkt/Zugelassene-Biozidprodukte.html.

Produkte, die bestimmte Altwirkstoffe enthalten, können unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen aufgrund von Übergangsregelungen vor Erteilung der Zulassung im Rahmen des Wirkstoffgenehmigungs- bzw. Produktzulassungsverfahren auf dem Markt bereitgestellt und verwendet werden, wenn sie bei der Bundesstelle für Chemikalien gemeldet sind. Diese Produkte erhalten eine Registriernummer (N-xxxxx), die auf dem Etikett angegeben werden muss. Die Registrierung ist von der Zulassung zu unterscheiden und stellt lediglich eine einfache Meldung eines Biozidprodukts dar. Welche Produkte darunter fallen, kann abgerufen werden unter: https://www.biozid-meldeverordnung.de/offen/

Infobox 16

Anwendung von Bioziden bei Schimmelbefall in Räumen der Nutzungsklassen II und III

Bei Sanierung von mikrobiellen Schäden ist eine Biozidbehandlung grundsätzlich nicht notwendig, weil ungeeignet im Sinne einer sachgerechten Beseitigung der Biomasse und der Sanierung der Schadensursache.

Vom Vernebeln von Wirkstoffen in die Raumluft – außerhalb von unzugänglichen Hohlräumen – ist in jedem Fall abzuraten.

Im Einzelfall kann eine biozide Behandlung durch sofort abbauende Präparate wie Wasserstoffperoxid bei vermutetem Befall zur Verzögerung oder Verlangsamung des Wachstums an schwer zugänglichen Oberflächen akzeptabel sein.

Schimmelhemmende Wandfarben können nach einer Trocknung in Räumen der Nutzungsklasse III eingesetzt werden.

6.5 Bauliche Rekonstruktion nach dem Rückbau

Die durch den Befall oder durch die Sanierungsmaßnahmen beschädigten Oberflächen oder Bauteile sind anschließend wieder herzustellen. Dies kann nach Abschluss der eigentlichen Schimmelsanierung 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 einer erneuten Schimmelbildung entgegenwirken kann, z. B. durch flankierenden Einsatz von feuchtepuffernden Materialien in Bereichen mit kurzzeitigen Feuchtespitzen (siehe Kap. 4).

Da Schimmelpilze bevorzugt in einem bestimmten pH-Bereich wachsen (siehe Kap. 1), kann durch Silikatfarben, Kalkanstriche und Kalkputze oder andere mineralische Anstriche mit hohem pH-Wert (> 11) erneutem Schimmelbefall vorgebeugt werden bzw. das Wachstum deutlich gehemmt werden. Vor allem in Räumen der Nutzungsklasse III kann dies eine wirksame Alternative zur aufwändigen baulichen Sanierung sein. 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 dauerhaft 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 einer sich bildenden Staubschicht entstehen kann. 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 Schimmelwachstum unterbinden können. In jedem Fall ist abzuklären, ob der Untergrund für die jeweilige Anwendung geeignet ist.

Bei Innenwanddämmungen haben sich dampfdurchlässige Materialien bewährt, die einen nicht zu vernachlässigenden Dämmeffekt erzielen (siehe auch Kap. 3.2.2). Bei der Verwendung ist darauf zu achten, dass die Materialien mineralisch sind und eine möglichst hohe Alkalität aufweisen (bspw. Calcium-Silikatplatten). Dadurch können Sie deutlich schlechter von Schimmel befallen werden.

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 soll 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.

6.6 Maßnahmen nach Abschluss aller Arbeiten

Einrichtungsgegenstände und andere Gegenstände wie Textilien oder Bücher, die während der Sanierungsarbeiten ausgelagert wurden, müssen vor dem Einbringen in den sanierten und nach Rückbau gereinigten Bereich (siehe Kap. 6.3.7) ggf. gereinigt werden, um eine nachträgliche Kontamination durch mikrobiell belastete Stäube zu vermeiden.

Nach Abschluss aller Arbeiten und Einbringen aller (Einrichtungs-) Gegenstände kann nach einer Wartezeit von einigen Tagen eine Luftmessung auf kultivierbare Schimmelpilze nach DIN ISO 16000-16 bis -18 bzw. DIN EN ISO 16000-19 oder auf Gesamtsporenzahl nach DIN ISO 16000-20 durch qualifizierte Untersuchungseinrichtungen erfolgen (siehe Kap. 5.1.3.1). 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 Schimmelpilzkonzentration entstanden ist. Ist dies der Fall, müssen die Räume nochmals gereinigt werden.

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

A

Anlagen

A1

ANLAGE 1

Beispiele aktueller Änderungen in der Nomenklatur für innenraumrelevante Schimmelpilze

Gültiger Name (Stand 2017)	Basionym/Name bis 2012
***Talaromyces* spp.** z. B.: *Talaromyces rugulosus* *Talaromyces variabilis* *Talaromyces funiculosus*	***biverticillate Penicillium* spp.** z. B.: *Penicillium rugulosum* *Penicillium variabile* *Penicillium funiculosum*
***Aspergillus* spp.** z. B.: *Aspergillus glaucus* *Aspergillus rubrobrunneus* *Aspergillus chevalieri*	***Eurotium* spp.** z. B.: *Eurotium herbariorum* *Eurotium rubrum* *Eurotium chevalieri*
***Aspergillus* spp.** z. B.: *Aspergillus nidulans*	***Emericella* spp.** z. B.: *Emericella nidulans*

Internetlink mit weiterführenden Infos zu diesem Thema: http://www.mycobank.org/

A2

ANLAGE 2

Molekularbiologische Techniken zur Identifizierung von Schimmelpilzen

Die Anwendung molekularbiologischer Techniken zur Identifizierung von Schimmelpilzen hat neue Erkenntnisse über die Phylogenie verschiedener Schimmelpilzarten gebracht. So hat sich beispielweise gezeigt, dass viele bisher als eine Art zusammengefasste morphologisch und physiologisch nahezu identische Organismen zwar meistens nah verwandt sind, aber genetisch zu unterschiedlich sind um zu einer Art zu gehören. Zurzeit werden phylogenetisch eng beieinander stehende Arten in Artenkomplexe zusammengefasst (siehe Tabelle).

So konnten beispielsweise molekularbiologisch bisher 15 Arten identifiziert werden, die den morphologischen Merkmalen von „*Aspergillus versicolor*“, einem Indikatororganismus für Feuchteschäden, entsprechen. Molekularbiologisch werden in Innenräumen isolierte Stämme dieses Komplexes überwiegend als *Aspergillus creber* oder als *Aspergillus jensenii* identifiziert.

Eine Identifizierung der Schimmelpilze bis zur Artebene ist bei vielen Komplexen (z. B. *Aspergillus versicolor*-Komplex) nur molekularbiologisch sicher möglich. Morphologisch lassen sich dagegen nicht alle Schimmelpilzarten innerhalb eines Komplexes auf Art-Ebene sicher unterscheiden.

Durch die Erkenntnisse aus molekularbiologischen Untersuchungen ist die Taxonomie der Schimmelpilze derzeit im Umbruch. Die molekularbiologische Identifizierung bis zur Art bringt aus heutiger Sicht in Bezug auf die in diesem Leitfaden behandelte Problematik aber zurzeit kaum einen Erkenntnisgewinn. In Befunden bzw. Gutachten sollten deshalb die unterschiedlichen Arten eines Komplexes zusammengefasst als z. B. „*Aspergillus versicolor*-Komplex“ einschließlich der genutzten Bestimmungskriterien oder der verwendeten Literatur angegeben werden.

Beispiele von Artenkomplexen basierend auf molekulare Analysen

Komplex oder Gruppe	Arten	Molekulare Marker für die Differenzierung
Aspergillus versicolor Komplex	***A. versicolor***, *A. amoenus, A. australafricanus, A. creber, A. cvjetkovicii, A. fructus, A. jensenii, A. protuberus, A. puulaauensis, A. subversicolor, A. tabacinus, A. tennesseensis, A. venatus, A. hongkongiensis*	CaM
Aspergillus niger Komplex	Schwarze Aspergillen, u. a. ***A. niger***, *A. acidus, A. aculeatus, A. brasiliensis and A. tubingensis.*	CaM
Aspergillus fumigatus Komplex	***A. fumigatus***, *A. lentulus, A. novofumigatus, A. fumigatiaffines*	CaM (Hinweis: Kultivierung bei 37 °C; Differenzierung *A. lentulus*)
Fusarium solani Komplex	mind. 50 Fusarium-Arten u. a. ***F. solani***, *F. keratoplasticum, F. petroliphilum, F. lichenicola*	EF-1α, RPβ1 und/oder RPβ2
Penicillium olsonii und *P. brevicompactum* Komplex		ITS und/oder β-tubulin, alternativer Marker BenA

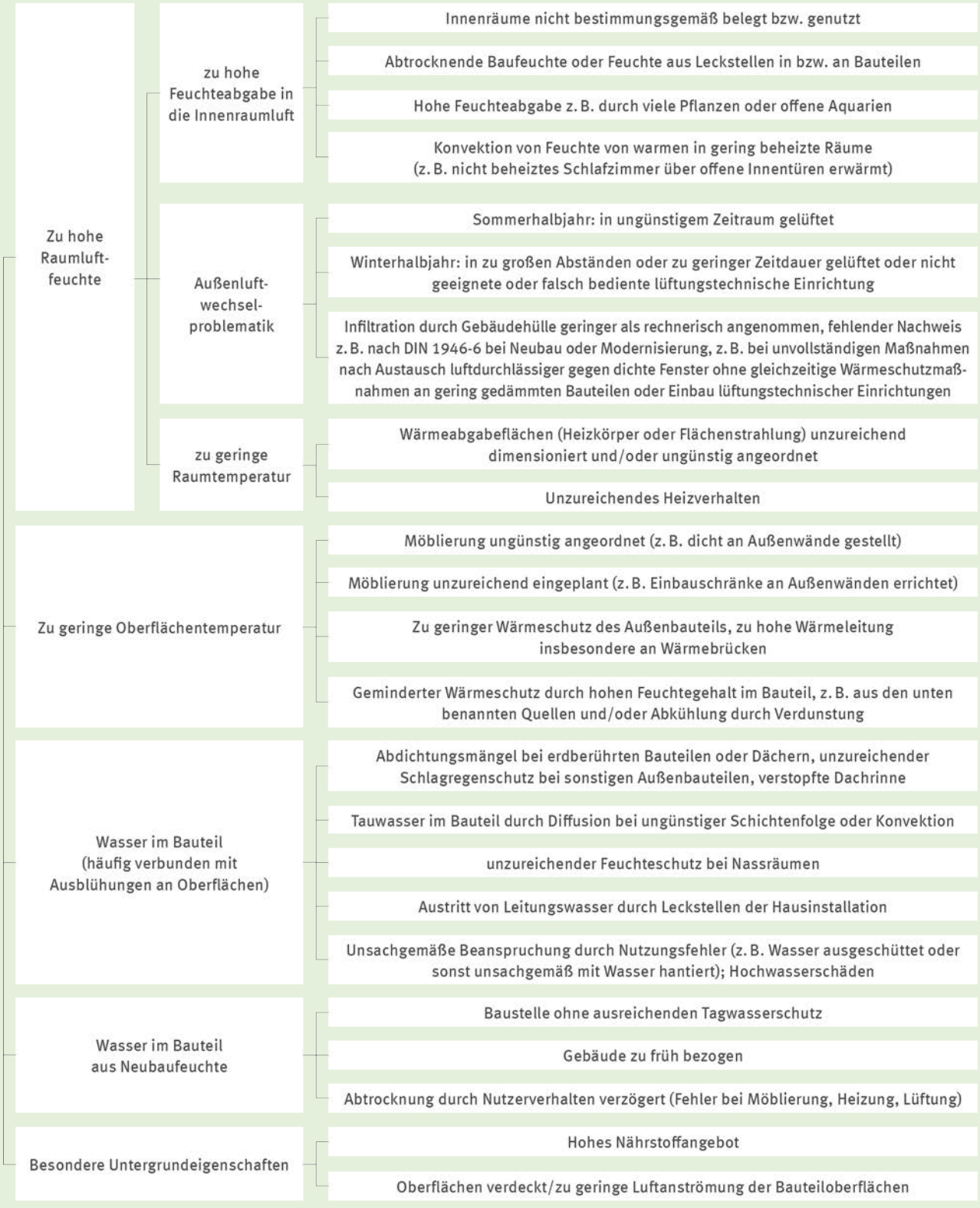
A3

ANLAGE 3

Übersicht über die Ermittlung der Schadensursachen bei Schimmelbelfall

Ursachenbaum für Schimmelbefall auf Bauteilen (nach Oswald 2003, überarbeitet Zöller, Aachener Institut für Bauschadensforschung AIBau 2014)

Auf der linken Seite werden die Situationen aufgeführt, die vorliegen; rechts die möglichen Ursachen.



A4

ANLAGE 4

Normen, technische Merkblätter und Richtlinien zu Feuchte und Schimmel (Auszug)

Quelle	Methodischer Ansatz	Zielsetzung
DIN 4108-2 (2013)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Vermeidung von Tauwasser und Schimmelwachstum
DIN 4108-3 (2014)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Bewertung von Tauwasser in Bauteilen
DIN 4108-7 (2011)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden. Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie – Beispiele	Wärmeschutz und Luftdichtheit
DIN 4108-8 (2010)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden	Vermeidung von Schimmelwachstum
DIN 1946-6 (2009)	Raumlufttechnik: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderung zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung	Lüftung, Raumlufttechnik
DIN EN 15215 (2007)	Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik	Raumklima
DIN EN 13779 (2012)	Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme	Lüftung, Raumlufttechnik
DIN 13788 (2013)	Oberflächentemperaturen, kritische Oberflächenfeuchte	Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren
DIN 68800-1 (2011)	Begrenzung der Holzfeuchte	Vermeidung von mikrobiellem Bewuchs
Anhang 14 DIN 68800	Angabe von Temperatur und Feuchtigkeit	Vermeidung von Schimmelwachstum
DIN ISO 16000-16 (2009)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 16. Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Filtration	Schimmelpilznachweis
DIN ISO 16000-17 (2010)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 17: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren	Schimmelpilznachweis
DIN ISO 16000-18 (2009)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 18: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Impaktion	Schimmelpilznachweis

DIN EN ISO 16000-19 (2012)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 19: Probenahmestrategie für Schimmelpilze	Schimmelpilznachweis
DIN ISO 16000-20 (2014)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 20: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Bestimmung der Gesamtsporenanzahl	Schimmelpilznachweis
VDI 4254-1 (2016)	Bioaerosole und Bioagenzien Messen von Stoffwechselprodukten von Mikroorganismen Messen von MVOC in der Außenluft	MVOC-Messungen
VDI 6022-1 (2017) Entwurf	Raumlufttechnik Raumluftqualität Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln)	Raumlufttechnik
WTA 1-2-05/D	Der Echte Hausschwamm	Ausschluss von Holzschwamm
WTA 2-13-15/D	Wärmedämmverbundsysteme – Wartung, Instandsetzung, Verbesserung	Sachgerechte Ausführung von Wärmedämmungen an Fassaden
WTA 4-6-14/D	Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile	Vermeidung von Feuchteschäden am Gebäude
WTA 4-7-15/D	Nachträgliche mechanische Horizontalsperren	Vermeidung von Feuchteschäden am Gebäude
WTA 4-10-15/D	Injektionsverfahren mit zertifizierten Injektionsstoffen gegen kapillaren Feuchtetransport	Vermeidung von Feuchteschäden am Gebäude
WTA 4-11-16/D	Messung des Wassergehalts bzw. der Feuchte von mineralischen Baustoffen	Feuchtemessung
WTA 4-12-16/D	Schimmelpilzschäden: Ziele und Kontrolle von Schimmelpilzschadensanierungen in Innenräumen	Schimmelsanierung: Überwachung und Kontrolle des Sanierungserfolges
WTA 6-1-01/D	Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen	Hygrothermisches Verhalten von Bauteilen
WTA 6-3-05/D	Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos	Prognoseverfahren für Schimmelwachstum in Innenräumen
WTA 6-4-16/D	Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden	Innendämmmaßnahmen
WTA 6-5-14/D	Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren	Innendämmmaßnahmen
WTA 6-8-16/D	Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulation	Bewertung von Feuchte in Holz
WTA 6-9 bis 11-15/D	Luftdichtheit im Bestand	Planungsgrundlagen, Ausführung, Kontrolle
WTA 6-15-13/D	Technische Trocknung durchfeuchteter Bauteile, Teil 1: Grundlagen	Bauwerkstrocknung
WTA 8-5-08/D	Fachwerksinstandsetzung nach WTA V: Innendämmungen	Innendämmmaßnahmen

A5

ANLAGE 5

Mineralagar nach Gauze für die Anzucht von Aktinomyzeten

Mineral-Agar (Gauze, 1983)	
Lösliche Stärke	20,0 g
KNO_3	1,0 g
K_2HPO_4	0,5 g
$MgSO_4 * 7\ H_2O$	0,5 g
NaCl	0,5 g
$FeSO_4 * 7\ H_2O$	0,01 g
Agar	20,0 g
Aqua dest.	1000 ml

Die Einzelkomponenten werden in 1000 ml Aqua dest. suspendiert. Zu dieser Suspension wird 0,1 g Natamycin (gelöst in 10 ml Ethanol 96 %, reinst) zugegeben. Falls nötig wird der pH-Wert mit 1N HCl oder 1N NaOH eingestellt, sodass er nach dem Autoklavieren bei (121 ± 3)°C für (15 ± 1) min. 7,2 ± 0,1 entspricht.

Die fertig gegossenen Petrischalen können austrocknungsgeschützt bei (5 ± 3 °C) für längstens 4 Wochen aufbewahrt werden.

A6

ANLAGE 6

Handlungsempfehlung zur Beurteilung von Feuchte- und Schimmelschäden in Fußböden

A Vorbemerkung

Diese Empfehlung richtet sich an Sachverständige, die bei der Beurteilung und Sanierungsentscheidung von Feuchteschäden in Fußböden vor der Entscheidung stehen, ob ein Fußboden aus hygienischer Sicht ausgebaut werden muss oder nicht. Sie gibt ferner Verbraucherzentralen und zuständigen Behörden vor Ort wichtige Informationen für die Beratungstätigkeit und enthält nützliche Hinweise für Gebäudenutzer und Gebäudeeigentümer, um gutachterliche Empfehlungen nachvollziehbar zu machen. Die Handlungsempfehlung ersetzt nicht die jeweilige gutachterliche Entscheidung und damit verbundene Verantwortung im Einzelfall.

Die Empfehlung gilt für Innenräume der Nutzungsklasse II des Schimmelleitfadens (siehe Kap. 6.1).

Für nicht dauerhaft genutzte Nebenräume außerhalb von Wohnungen, Büros Schulen, z. B. Kellerräume und Abstellräume ohne direkten Zugang zur Wohnung, sowie Garagen oder Treppenhäuser (Räume der Nutzungsklasse III des Schimmelleitfaden) gilt ein verringertes Anforderungsniveau für Sanierung und Instandsetzung, da hier generell von einer geringeren Exposition ausgegangen werden kann. Bei Schimmelbefall in Fußbodenkonstruktionen in Räumen der Nutzungsklasse III kann je nach Art der Raumnutzung entschieden werden, ob auch bei eindeutigem Befall die befallenen Materialien belassen werden können oder andere Alternativen wie geeignete Abdichtungsmaßnahmen möglich sind.

Die Empfehlung gilt wie der gesamte Schimmelleitfaden nicht für gewerbliche Nassräume wie Großküchen oder Schwimmbäder. In solchen Räumen sind die Fußbodenmaterialien oft oberhalb der abdichtenden Ebene konstruktiv bedingt und unabhängig von einem Wasserschaden dauerhaft durchfeuchtet.

Ebenfalls ausgenommen sind Räume, in denen sich besonders empfindliche Personengruppen aufhalten wie z. B. Krankenhäuser (Nutzungsklasse I, siehe Kap. 6.1). In solchen Bereichen müssen ggf. höhere Anforderungen an die Sanierung und den Umgebungsschutz gestellt werden.

Für die Bewertung von Feuchteschäden in Fußböden spielen nicht nur hygienisch-mikrobiologische sondern auch bauliche Aspekte eine Rolle. So verlieren manche Dämmmaterialien bei Durchfeuchtung und anschließender Trocknung ihre spezifischen Eigenschaften (z. B. Wärmedämmung, Schalldämmung) und müssen daher unabhängig vom mikrobiellen Wachstum bei Feuchteschäden ersetzt werden (siehe Kap. A.2). Auch die Tragfähigkeit einzelner Fußbodenkonstruktionen kann bei massiver Durchfeuchtung leiden.

Fußbodenkonstruktionen sind besonders häufig von Feuchteschäden betroffen. Gleichzeitig bedeutet ein Rückbau von Materialien in der Fußbodenkonstruktion oft einen baulich weitgehenden Eingriff, der finanziell aufwändig ist und Unternehmer wie Raumnutzer vor größere logistische Probleme stellt, besonders wenn die übrigen Räume der Wohnung zeitgleich weiterhin genutzt werden. Die Entscheidung zum Rückbau hat also weit reichende Konsequenzen. Es sollen dabei sowohl der Schutz der Raumnutzer berücksichtigt werden als auch aus innenraumhygienischer Sicht übertriebene Bewertungen und unnötige Rückbaumaßnahmen vermieden werden.

Diese Empfehlung soll dazu beitragen, dass eine einheitliche innenraumhygienische Beurteilung von Feuchteschäden und Schimmelwachstum in Fußbodenkonstruktionen hinsichtlich Erhalt, Rückbau oder alternativer Maßnahmen in der Praxis durchgeführt wird.

In der Praxis angewandte alternative Maßnahmen zum Rückbau bei Schimmelwachstum sind das Fluten der Bodenkonstruktion mit Bioziden und die sog. Randfugensanierung. Im Einzelfall kann auch eine vollflächige Versiegelung (Abdichtung) des Fußbodens in Frage kommen.

Ein Fluten mit Bioziden (in der Praxis oft fälschlicherweise Desinfektion genannt) ist keine nachhaltige Sanierungsmaßnahme. Es gibt keine Nachweise, dass damit eine dauerhafte Inaktivierung von Schimmelpilzen und Bakterien erreicht werden kann (siehe Kap. 6.4).

Die andere häufig gewählte Alternative zur Entfernung von Estrichen, wenn nur der Randbereich mikrobiell befallen ist – was insbesondere bei Schäden aufgrund von Neubaurestfeuchte sehr häufig der Fall ist – oder der Befall in der Bodenkonstruktion sich als gering herausstellt, ist die sog. Randfugensanierung mit Entfernen des Randstreifens und Abdichten der Fuge. Sehr selten werden Schäden mit Diffusionsbremsen (Kunststofffolien) oder Diffusionssperren (Alufolie) abgeschottet.

Erwägt man den Einbau einer dauerhaften Abdichtung, muss der Sachverständige folgende Aspekte prüfen, und bei der Planung berücksichtigen:

- Kann sichergestellt werden, dass die Abdichtung inklusive Randabdichtung komplett dicht ausgeführt wird und dauerhaft dicht bleibt?
- Ist sichergestellt, dass der abgeschottete Bereich unterhalb der Abdichtung trocken bleibt und kein weiteres Schimmelwachstum stattfindet?
- Kann eine wasserdampfundurchlässige Abdichtung zu bautechnischen Nachteilen führen?
- Wie ist sicherzustellen, dass bei späteren handwerklichen Arbeiten das mikrobiell belastete Bauteil nicht unbedacht geöffnet wird, sondern die ausführenden Handwerker rechtzeitig vorher informiert werden, damit diese die gebotene Gefährdungsbeurteilung und die darauf aufbauende Betriebsanweisung laut Biostoffverordnung vornehmen können?

Außerdem sollte der Gebäudeeigentümer und/oder Nutzungsberechtigte über die mit einer Abdichtung verbundenen Konsequenzen und Risiken aufgeklärt werden.

B Einleitung in das Bewertungsschema

Das Bewertungsschema setzt sich aus zwei Stufen zusammen. In der Bewertungsstufe 1 wurden Erfahrungen aus der Praxis berücksichtigt, die es ermöglichen, in vielen Fällen eine schnelle Beurteilung ohne aufwendige Untersuchungen herbeizuführen. So zeigte sich, dass in bestimmten Fällen eine Entscheidung, ob feucht gewordenes Material ausgebaut werden muss, ohne mikrobiologische Analysen getroffen werden kann. Diese Fälle sind in der Bewertungsstufe 1 anhand von vier Szenarien zusammengefasst (siehe Kap. B.1).

In allen anderen Fällen muss eine mikrobiologische Materialanalyse erfolgen, deren Ergebnisse zusammen mit weiteren Aspekten in einer zweiten Bewertungsstufe (Bewertungsstufe 2) zur Beurteilung herangezogen werden (siehe Kap. B.2).

Zur Beurteilung der mikrobiologischen Ergebnisse ist eine fachgerechte Probenahme (siehe Kap. C) und eine standardisierte Aufarbeitung der Proben (siehe Kap. D) erforderlich.

Die beiden Bewertungsstufen 1 und 2 bilden eine Einheit. Die Bewertungsstufe 2 darf nicht ohne vorherige Prüfung nach Bewertungsstufe 1 verwendet werden. Zunächst wird durch Beantwortung der Fragen in der Bewertungsstufe 1 der Feuchteschaden eindeutigen, gut erfassbaren Szenarien zugeordnet. Damit erfolgt eine schnelle Entscheidung, ob weitere Maßnahmen wie z. B. technische Trocknung oder Laboranalytik sinnvoll und notwendig sind. Nur wenn keines dieser Szenarien zutrifft, erfolgt in der Bewertungsstufe 2 eine Beurteilung aufgrund mikrobiologischer Untersuchungsergebnisse und weiterer Aspekte.

Die Beurteilung erfordert sehr viel Sachverstand und sollte nur von qualifizierten Sachverständigen durchgeführt werden, da sonst grobe Fehleinschätzungen in die eine oder andere Richtung möglich sind. Ziel ist es, mit diesem Schema eine einheitliche Beurteilung typischer Schadensfälle zu erreichen. Es wird aber in der Praxis Einzelfälle geben, die nicht mit diesem Schema abgedeckt werden können. Unbedingte Voraussetzung ist daher auf allen Stufen die Erfahrung hinsichtlich Schimmelsanierung von entsprechend geschulten Fachleuten.

Bei den in der Empfehlung beschriebenen Vorgehensweisen werden juristische Aspekte wie werk- und versicherungsvertragliche Verpflichtungen nicht berücksichtigt.

Die einzelnen Bewertungsschritte sind in einem Fließschema nochmals kurz zusammengefasst.

B.1 Bewertungsstufe 1

Die Bewertungsstufe 1 im Rahmen der Beurteilung von Feuchteschäden in Fußböden beinhaltet sowohl mikrobiologische als auch technische Ausschlusskriterien, bei denen aufgrund der Eindeutigkeit des Schadens eine detaillierte gutachterliche Bearbeitung des jeweiligen Schadensfalles und eine mikrobiologische Analyse nicht notwendig sind. In der Bewertungsstufe 1 werden aus der Erfahrung in der Praxis vier eindeutige Szenarien (siehe Kap. B.1.1–B.1.4) beschrieben, bei denen schnell entschieden werden kann, ob ein Rückbau des Fußbodens nach einem Feuchteschaden notwendig ist oder nicht. Für diese Beurteilung muss der Aufbau der Fußbodenkonstruktion bekannt sein.

In allen anderen Schadensfällen, in denen z. B. die Art und Dauer der Durchfeuchtung nicht den genannten Szenarien entsprechen (z. B. Trocknung beendet nach einem Monat und leicht abbaubare Materialien) oder Unsicherheiten hinsichtlich Vorschäden, Dauer des Schadens oder Effektivität der Trocknung bestehen, werden mikrobiologische Untersuchungen und eine weitere gutachterliche Beurteilung entsprechend der Bewertungsstufe 2 (siehe Kap. B.2) empfohlen. Wenn der genaue Eintritt des Schadens nicht bekannt ist, sollte vom ungünstigsten Fall ausgegangen und ggf. weiter nach Bewertungsstufe 2 beurteilt werden.

B.1.1 Szenario: Rückbau nicht erforderlich durch schnelle Trocknung und schwer besiedelbare Materialien

Ein Rückbau von feuchtebelasteten Baustoffen in Fußbodenkonstruktionen ist in der Regel nicht notwendig, wenn ein signifikantes mikrobielles Wachstum auf dem Baustoff nicht zu erwarten ist. Hiervon ist auszugehen, wenn es sich um ein aktuelles, einmaliges, kurzzeitiges Ereignis ohne Vorschaden mit nicht fäkalhaltigem Wasser handelt und die betreffenden Baustoffe aufgrund ihrer mineralischen oder dichten Struktur von Mikroorganismen schwer zu besiedeln sind und eine ausreichende Trocknung innerhalb von ca. einem Monat nach Schadenseintritt sichergestellt werden kann. In diesen Fällen ist eine mikrobiologische Untersuchung nicht erforderlich, kann jedoch aus juristischen Gründen sinnvoll sein.

B.1.2 Szenario: Rückbau aufgrund mikrobiellen Wachstums empfohlen

Ein Rückbau der Fußbodenkonstruktion ist dann zu empfehlen, wenn sich eine Trocknung über einen längeren Zeitraum von über drei Monaten nach Schadenseintritt hinziehen würde bzw. hingezogen hat oder der Feuchteschaden über längere Zeiträume immer wieder aufgetreten ist (mehrmalige Feuchteereignisse) und jeweils Baustoffe vorliegen, die leicht von Mikroorganismen besiedelt werden können und zu einem massiven Wachstum führen können. In diesem Szenario ist ein mikrobieller Befall des Fußbodenaufbaus sehr wahrscheinlich. Auch hier sind mikrobiologische Untersuchungen prinzipiell nicht erforderlich. Im individuellen Bedarfsfall kann aber für eine letztgültige Entscheidung oder aus juristischen Gründen eine mikrobiologische Untersuchung durchgeführt und entsprechend Bewertungsstufe 2 vorgegangen werden.

B.1.3 Szenario: Rückbau aus technischen Gründen empfohlen

Der Rückbau eines Fußbodenaufbaus ist dann zu empfehlen, wenn eine Trocknung aus technischen Gründen nicht möglich oder aus ökonomischen Erwägungen nicht vertretbar ist. Dies trifft insbesondere auf Materialien zu, die durch die Feuchteeinwirkung und/oder beim Trocknen ihre spezifischen funktionsrelevanten Eigenschaften verlieren. Dies ist z. B. der Fall bei Zellulosefasern oder (gealterten) künstlichen Mineralfaser in der Dämmschicht von schwimmenden Estrichen (Materialintegrität nach Sichtprobe beurteilen) sowie bei Materialien, die in dünnen Schichten nur langsam und damit kostenaufwändig und in dicken Schichten meist gar nicht getrocknet werden können wie Sand, Lehm oder Perlite. Auch Holzbalkendecken mit Einschüben von Lehm/Stroh gehören in dieses Szenario.

Bei diesen Materialien ist also nicht der mikrobielle Befall ausschlaggebend für die Entscheidung zum Rückbau, sondern es sprechen technische Gründe gegen eine sinnvolle Trocknung und Weiternutzung.

Daher ist eine mikrobiologische Untersuchung für dieses Szenario nicht notwendig.

Bei nassem Verbundestrich ist die technische Trocknung ebenfalls meist nicht wirtschaftlich und es wird der Rückbau empfohlen.

Ist ein Verbundestrich nicht nass, sondern unterhalb der Materialsättigungsfeuchte durchfeuchtet (Messung mit der Sonde ergibt relative Feuchtewerte unter 100 %), kann man unter bestimmten Bedingungen eine technische Trocknung durchführen, indem man die Bodenbeläge entfernt und den freigelegten Estrich mit technisch getrockneter Raumluft spült. Die technische Trocknung sollte sicherstellen, dass die Trocknung kurzzeitig erreicht wird (max. 4 Wochen). Außerdem darf es während und nach der Trocknung zu keiner Geruchsbelästigung kommen und es ist zu prüfen, ob Wände im Anschlussbereich zum Fußboden feucht und dann ggf. mit Schimmel befallen sind.

Bei durchfeuchtetem Verbundestrich mit im Mörtelbett verlegten Fliesen ist der Rückbau der Fliesen ohne Entfernen des Estrichs technisch nicht sinnvoll, da der Estrich hierbei beschädigt wird und ausgebessert werden muss.

Estriche auf Trennlage werden nach Stufe 2 (mit mikrobiologischer Untersuchung) beurteilt.

B.1.4 Szenario: Rückbau aufgrund von Geruchsbildung empfohlen

Der Rückbau eines Fußbodenaufbaus ist dann zu empfehlen, wenn sich eine auffällige Geruchsbildung einstellt und auch nach der Sanierung mit einer bleibenden Geruchsbildung zu rechnen ist. Der Geruch kann durch Zersetzungsprozesse in feuchten Materialien oder durch den Eintrag von verunreinigtem Wasser (Abwasser oder fäkalhaltiges Hochwasser) verursacht werden.

Der Sachverständige muss prüfen, ob er den Geruch begründbar dem Feuchteschaden zuordnen kann. Eine Untersuchung auf mikrobielle Belastungen (u. a. Fäkalbakterien bei Feuchteschäden mit fäkal belastetem Wasser) ist dabei nicht erforderlich, da nicht die vermeintliche Infektionsgefahr sondern die Geruchsbildung sowie der Eintrag von Nährstoffen und Biomasse hier entscheidend für die Empfehlung zum Rückbau ist.

Geruchsbildung kann auch nach einer Behandlung mit Bioziden aber ohne Beseitigung der betroffenen Materialien auftreten. Geruchsbinder stellen keine nachhaltige Lösung dar.

Beim Umgang mit fäkalbelasteten Wasser oder Baumaterialien sind Maßnahmen zur Infektionsvermeidung notwendig (Schutzkleidung, ggf. Desinfektion).

Weitere Empfehlungen zu Abwasserschäden finden sich im VDB Informationsblatt[1].

B.2 BEWERTUNGSSTUFE 2

Wenn keines der vier Szenarien der Bewertungsstufe 1 (siehe Kap. B.1) zutrifft, wird eine mikrobiologische Untersuchung (Kriterium I) empfohlen. Zusätzlich sollten weitere Aspekte (Kriterien II–VII, siehe Kap. B.2.1) einbezogen werden, um eine Entscheidung über notwendige Maßnahmen treffen zu können (siehe Kap. B.2.2).

B.2.1 Erläuterung der Kriterien

Zunächst werden die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen (Kriterium I) herangezogen. Zusätzlich zu berücksichtigende Kriterien sind die Durchlässigkeit des Fußbodens (Kriterium II), die Feuchte in der Fußbodenkonstruktion (III), die Art der Materialien in der Fußbodenkonstruktion (IV), Nährstoffeintrag (V) und das Alter des Schadens (VI). Im Folgenden werden die Kriterien näher erläutert.

Kriterium I

Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen

Die Materialproben für die mikrobiologische Untersuchung müssen unter Beachtung der Probenahmeanleitung (siehe Kap. C) genommen und nach einer einheitlichen Methode (siehe Kap. D) im Labor aufgearbeitet werden, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

Bisher liegen für die Bewertung des Vorkommens kultivierbarer Schimmelpilze in Materialien nur für die

1 Informationsblatt zur Beurteilung und Sanierung von Fäkalschäden im Hochbau Hrsg. VDB 2010

Dämmstoffe Polystyrol und Mineralfaser ausreichend Daten vor, um anhand der festgestellten Konzentrationsbereiche eindeutig auf einen Befall schließen zu können (siehe Kap. D.2). Neuere Untersuchungen zeigen, dass diese Konzentrationsbereiche auch für andere Materialien wie Polyurethanschaum oder Putz angewendet werden können[2].

Das Vorkommen von Schimmelpilzarten oder -gattungen, die typisch für Feuchteschäden sind (Feuchteindikatoren, siehe Kap. 1.2.2, Tab. 2), ist neben der Konzentration ein wichtiger Hinweis auf einen Befall des Materials.

Die Mikroskopie ist zusätzlich zur Kultivierung notwendig, um einen Befall von einer Verunreinigung zu unterscheiden (siehe auch Kap. 1.1). Werden in der Mikroskopie nur mäßig viele Sporen ohne Myzel oder Sporenträger festgestellt, handelt es sich wahrscheinlich nicht um einen Befall sondern um eine Verunreinigung des Materials aus einem angrenzenden Schimmelbefall oder aus der Luft. Wird dagegen viel oder sehr viel Myzel mit Sporenträgern nachgewiesen, hat ein Wachstum im Material stattgefunden und es liegt ein Schimmelbefall vor (siehe auch Kap. D, Tab. 6.2 und 6.3).

Ist der Fußbodenaufbau sehr stark durchnässt, haben Bakterien einen Wachstumsvorteil gegenüber Schimmelpilzen. Ergänzende Messungen zu Bakterien/Aktinomyzeten oder ATP im Material können hier zusätzliche Informationen liefern. Diese Methoden sind aber noch keine anerkannten Regeln der Technik (siehe Kap. 5.1.2). Für Bakterien können noch keine allgemein gültigen Konzentrationen entsprechend der nachfolgenden Bewertung angegeben werden (siehe Kap.D). Erfahrungsgemäß liegt deren Konzentration um ca. eine Log-Stufe (etwa das 10-fache) über der Konzentration der Schimmelpilze.

Ein Nachweis für einen eindeutigen Befall mit Mikroorganismen liegt bei einer Materialprobe (Polystyrol, Mineralfaser) vor, wenn:

- eine Schimmelpilzkonzentration über 10^5 KBE/g nachweisbar ist und/oder
- mikroskopisch ein eindeutiges Wachstum mit Bakterien oder Schimmelpilzen mit viel oder sehr viel Myzel, Sporenträgern und dazugehörenden Sporen erkennbar ist.

Ein Nachweis für einen geringen Befall mit Mikroorganismen liegt bei einer Materialprobe (Polystyrol, Mineralfaser) vor, wenn:

- eine Schimmelpilzkonzentration zwischen 10^4 KBE/g und 10^5 KBE/g nachweisbar ist und/oder
- mikroskopisch ein geringes Wachstum von Bakterien oder Schimmelpilze mit mäßig viel Myzel, Sporenträger und mäßig vielen Sporen erkennbar sind.

Ein Nachweis für einen geringen Befall mit Mikroorganismen liegt bei einer Materialprobe (Polystyrol, Mineralfaser) auch dann vor, wenn:

- eine Schimmelpilzkonzentration über 10^5 KBE/g nachweisbar ist und/oder
- mikroskopisch ein geringes Wachstum von Bakterien oder Schimmelpilzen mit mäßig viel Myzel, Sporenträger und mäßig vielen Sporen erkennbar sind.

Kein Nachweis für einen Befall mit Mikroorganismen liegt bei einer Materialprobe (Polystyrol, Mineralfaser) vor, wenn:

- eine Schimmelpilzkonzentration unterhalb von 10^4 KBE/g nachweisbar ist und
- mikroskopisch nur vereinzelt Bakterien oder Sporen und nur vereinzelt oder keine Sporenträger oder Schimmelpilzmyzel erkennbar sind.

Wird durch die Mikroskopie ein eindeutiges Wachstum festgestellt, ist der Nachweis kultivierbarer Schimmelpilze nicht notwendig.

Wird durch die Mikroskopie ein geringes Wachstum festgestellt, kann eine Kultivierung zusätzliche Informationen liefern, da bei einigen Materialien ein geringes Wachstum mikroskopisch nicht leicht zu erkennen ist. Dies gilt auch für abgetrocknete alte Schäden,

2 Hintergrundwerte von Schimmelpilzen und Bakterien auf Baumaterialien, 3. Deutscher Schimmelpilztag in Neuss, 03.+04.02.2017

bei denen das Myzel und die Sporenträger im Material häufig nur mit einem erhöhten mikroskopischen Aufwand erkannt werden können, weil die Myzelien reduziert wurden. Wird bei der Kultivierung eine hohe Konzentration an Schimmelpilzen festgestellt, sollte eine nochmalige, besonders sorgfältige Mikroskopie erfolgen, um einen eindeutigen Befall auszuschließen.

Ergibt die Mikroskopie keinen Nachweis für einen Befall ist, wie die Praxis zeigt, die Bestimmung der kultivierbaren Schimmelpilze notwendig, um falsch negative Ergebnisse auszuschließen.

Die Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze kann durch Stresseinflüsse wie Biozidanwendung oder technische Trocknung reduziert sein. Dies sollte bei der Beurteilung mikrobiologischer Untersuchungen berücksichtigt werden.

Die Beurteilungskriterien können nicht für Baustoffe verwendet werden, die von Natur aus Mikroorganismen in höheren Konzentrationen enthalten (z. B. Lehm).

Kriterium II

Durchlässigkeit der Bodenbeläge und Wandanschlüsse und daraus resultierendes Expositionsrisiko

Findet ein Schimmelwachstum in der Trittschall- und Wärmedämmung im Fußbodenaufbau statt, beeinflusst die Dichtigkeit des Bodenaufbaus und der Wandanschlüsse die Exposition der Raumnutzer über die Raumluft. Außerdem haben auch andere offene Verbindungen mit dem Fußbodenaufbau (Risse, Steckdosen, Heizverteiler) einen Einfluss auf die Exposition der Raumnutzer.

Die **Durchlässigkeit** wird als **hoch** eingestuft bei Holzfußböden (z. B. Dielenböden, genagelte Parkettböden) bei denen durch das Fugenbild ggf. biogene Partikel wie Schimmelpilzsporen aus der Bodenkonstruktion in die Raumluft gelangen können. Teppichböden auf solchen Böden lassen in der Regel bei einem diffusionsoffenen Trägermaterial Gerüche und andere biogene Substanzen sowie je nach Engmaschigkeit auch Partikel in die Raumluft übergehen.

Eine **mittlere Durchlässigkeit** wird angenommen bei undurchlässigen Bodenbelägen mit dichten Fugen, wie elastischen Oberböden, Fliesen oder verklebtem Parkett, die aber keine fachgerecht dichten Randanschlüsse angebracht haben. An den Randanschlüssen kann es daher zu Einträgen aus der Fußbodenkonstruktion in die Raumluft kommen.

Eine **geringe Durchlässigkeit** wird angenommen bei undurchlässigen Bodenbelägen wie Fliesen und elastischen Oberböden (z. B. PVC, Linoleum) mit dichten Fugen und dichten Randanschlüssen. Es ist davon auszugehen, dass Partikel wie z. B. Schimmelpilzsporen, aber auch Gerüche deutlich schlechter in die Raumluft gelangen können.

Kriterium III

Feuchte im Fußbodenaufbau

Quantitative Messwerte, die eine Abschätzung erlauben, ob in der Fußbodenkonstruktion erhöhte Feuchte vorliegt, die ein mikrobielles Wachstum ermöglicht, erhält man nur mittels hygrothermischer Sondenmessung. Diese Messungen werden oft auch als „Ausgleichsfeuchtemessungen“ bezeichnet, wobei jedoch nicht die Materialausgleichsfeuchte bezogen auf die Masse gemeint ist (siehe auch Kap. C.4).

Ergänzend kann mit gravimetrischer Messung (sog. Darr-Wäge-Methode) überprüft werden, ob die Materialfeuchte des Estrichs im Bereich der Materialausgleichsfeuchte liegt. Gravimetrische Feuchteanalysen der Dämmmaterialien sind aber technisch nicht möglich, da auch bei hoher relativer Feuchte nur geringe Wassermengen im Material vorhanden sind und daher sehr große Mengen an Material gewogen werden müssten.

Erhöhte Feuchte ist zwar eine notwendige Voraussetzung, dass ein mikrobielles Wachstum stattfinden kann. Es kann aber vorkommen, dass die Bewertung des Fußbodenaufbaus stattfindet, wenn – z. B. nach einer Trocknung – bereits keine erhöhte Feuchte mehr vorliegt. In diesem Fall kann kein weiteres mikrobielles Wachstum stattfinden. Trotzdem können aus einer vorhergegangenen Wachstumsphase hohe Konzentrationen an Schimmelpilzen oder Bakterien vorhanden sein. Sind Zeichen ehemaliger Feuchte vorhanden (Wasserflecken, Rostflecken, Salze), ist dies bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

Nässe oder stark erhöhte Feuchte
Nässe, d. h. flüssiges Wasser ist visuell zu erkennen (ggf. kann man aus den Materialien, z. B. der Trittschalldämmung durch „Drücken“ Wassertröpfchen auspressen) und im Gegensatz zu Feuchte aufgrund gasförmigen Wassers auch zu fühlen.

Stark erhöhte Feuchte
hygrothermische Sondenmessungen bei Temperaturen von 19 °C bis 21 °C ergeben Feuchtewerte von 80 % oder höher (entspricht Wasseraktivität $a_w \geq 0{,}8$). Mikrobielles Wachstum ist möglich.

Erhöhte Feuchte
Hygrothermische Sondenmessungen bei Temperaturen von 19 °C bis 21 °C ergeben Feuchtewerte zwischen 70 % und 80 % (entspricht Wasseraktivität a_w = 0,7–0,8). Mikrobielles Wachstum ist weniger wahrscheinlich.

Keine erhöhte Feuchte
Hygrothermische Sondenmessungen bei Temperaturen von 19 °C bis 21 °C ergeben Feuchtewerte unter 70 % (entspricht Wasseraktivität $a_w < 0{,}7$). Mikrobielles Wachstum tritt in der Regel nicht auf.

Die relative Feuchte steigt aber mit Absenken der Temperatur an, so dass sich im Falle einer Auskühlung der Materialien hohe Feuchtewerte einstellen können. Sinkt z. B. die Bauteiltemperatur auf Werte unter 18 °C und weist das Material damit eine höhere relative Feuchte auf, ist ein mikrobieller Befall auch bei Feuchtewerten von 70 % bei 20 °C möglich.

Kriterium IV
Material im Fußbodenaufbau
Zur Beurteilung ist die Kenntnis der Konstruktion des Fußbodenaufbaus notwendig, selbst wenn dies – bei unbekanntem Aufbau – bauteilzerstörende Maßnahmen erforderlich macht.

In der Regel findet sich das eingetragene Wasser zwischen Oberkante der Rohbetondecke bzw. Bodenplatte und der Trittschall- und Wärmedämmung. Die Trittschall- und Wärmedämmung ist damit das Material, welches bei Feuchteeintrag am ehesten besiedelt wird. Je nach Nährstoffgehalt dieser Materialien findet schnell oder weniger schnell ein mikrobieller Befall statt.

Bei manchen Materialien – z. B. bei Holzwerkstoffplatten – macht sich mikrobielles Wachstum relativ häufig durch Geruchsbelastungen bemerkbar. Liegt ein typischer Geruch vor, sind Proben für die mikrobiologische Analyse nicht erforderlich, um das Sanierungserfordernis festzustellen. Bei einigen Materialien – z. B. bei Polystyrol – tritt auch bei starkem mikrobiellen Wachstum kein oder nur ein für Mikroorganismen untypischer Geruch auf.

Die nachfolgend aufgeführten Materialien sind Beispiele, um die Abstufung zu verdeutlichen und schließen andere Materialien nicht aus. Auch kann es innerhalb einer Baustoffart mehr oder weniger anfällige Mischungen und Produktvarianten geben. So sind z. B. ungepresste, nicht behandelte Weichholzfaserplatten sehr leicht besiedelbar während gepresste und bituminierte Weichholzfaserplatten deutlich schlechter besiedelt werden.

Leicht zu besiedelnde Materialien
Dazu zählen Baustoffe wie Kokosdämmplatten oder Sisalkonstruktionen. Diese Materialien nehmen viel Feuchte auf und enthalten zusätzlich Nährstoffe. Durch diese Eigenschaften besteht bei Feuchteschäden die Gefahr eines schnellen Schimmelwachstums.

In einigen älteren Fußbodenkonstruktionen befinden sich zwischen Rohbetondecke bzw. Bodenplatte und Estrich Trennlagen aus Pappe, Papier oder getränktem Ölpapier sowohl in Estrichaufbauten mit als auch ohne Dämmung. Diese „zellulosehaltigen“ Trennlagen sind bei Feuchteschäden sehr anfällig für mikrobielles Wachstum, enthalten aber aufgrund der geringen Schichtdicke bei Schimmelbefall nur relativ wenig mikrobielle Biomasse. Kabelkanäle, die mit organischem Dämmmaterial gefüllt sind, sowie Bitumenabdichtungen auf der Geschossdecke unter dem Estrich oder der Trittschalldämmung zählen ebenfalls zu den leicht besiedelbaren Materialien.

Auch an den Fußboden angrenzende Trockenbauelemente wie Gipskarton, Gipsfaserplatte, Weichholzfaserplatten, Weichfasermatten können Feuchte gut aufnehmen und ein Schimmelwachstum kann innerhalb kürzester Zeit stattfinden.

Weniger gut zu besiedelnde Materialien
Dazu zählen Dämmstoffe wie künstliche Mineralfasern, Polyurethan, XPS (Extrudierter Polystyrol-Hartschaum), EPS (Expandierter Polystyrol-Hartschaum). Diese Materialien nehmen Feuchte vergleichsweise schlechter auf. Die Praxis zeigt, dass diese Materialien viel schlechter mit Schimmelpilzen bewachsen werden können, als die Materialien aus der Gruppe „leicht zu besiedelndes Material". Mit einem relevanten Schimmelwachstum in solch einer Trittschall- und Wärmedämmung ist erst nach einigen Monaten zu rechnen.

Holzwerkstoffe wie Spanplatten, OSB-Platten sind im Vergleich zu Gipskarton oder ähnlichen Trockenbauelementen weniger gut zu besiedeln. Je nach Art des Holzwerkstoffes, der Menge des Wassers und der Einwirkzeit kann ein Befall mit Mikroorganismen trotzdem verhältnismäßig schnell erfolgen.

Schwer zu besiedelnde Materialien
Diese Materialien zeichnen sich durch einen hohen Anteil an anorganischen Bestandteilen aus. In der Praxis hat sich gezeigt, dass Baustoffe wie Gussasphalt, Zementestrich, Anhydrit- oder Calciumsulfat-Estrich schlecht besiedelt werden, bzw. dass die Mikroorganismen einen sehr langen Zeitraum für einen Befall benötigen.

Kriterium V
Nährstoffeintrag
Um die Sanierungsdringlichkeit zu beurteilen, ist es notwendig die Schadensursachen festzustellen. Dabei wird insbesondere die Qualität des beteiligten Wassers berücksichtigt. Größere Schäden mit Abwasser in der Baukonstruktion werden bereits in der Bewertungsstufe 1 abgehandelt (4. Szenario) und sind daher nachfolgend nicht mehr berücksichtigt.

Hoher Nährstoffeintrag durch Regen- oder Grauwasser
Diese Art von Einträgen zeigt eine hohe mikrobielle Verschmutzung und zusätzlich kann durch die eingetragenen Nährstoffe ein mikrobielles Wachstum begünstigt werden.

Geringer Nährstoffeintrag durch Trinkwasser- oder Grundwasserschäden
Solche Schäden gehen in der Regel mit höheren Wassermengen einher. Ursachen für diese Wasserschäden können u. a. undichte wasserführende Leitungen oder Abdichtungsmängel sein. Das Wasser ist aber mikrobiologisch nicht oder nicht stark kontaminiert.

Auch bei **bauphysikalischen Ursachen** ist das Wasser in der Regel nicht mikrobiologisch kontaminiert. Bei Kondensation im Baumaterial ist der Eintrag von Feuchte meist eher zeitweise und in der Regel niedriger als bei den o. g. Eintragspfaden.

Kriterium VI
Schadensalter
Je länger ein Schaden nicht entdeckt bzw. nicht getrocknet wird und je häufiger ein Feuchteschaden eintritt (mehrmaliges Ereignis), desto höher ist das Risiko eines mikrobiellen Wachstums. Die in den beiden Kategorien gewählten 3 Monate als Unterscheidungsmerkmal sind nicht als absolute Grenze zu verstehen, sondern stellen nur eine Größenordnung für die Abschätzung des Schadensalters dar. In vielen Fällen ist das Alter des Schadens nicht genau bekannt, so dass eine weitere Unterteilung nicht als sinnvoll angesehen wird.

Älter als 3 Monate oder mehrmaliges Ereignis
Die Wahrscheinlichkeit, dass sich unabhängig vom Baumaterial (dieser Faktor wird bereits im Kriterium IV berücksichtigt) Schimmelpilzwachstum gebildet hat, wird höher eingestuft als bei kürzeren oder einmaligen Ereignissen.

Einmaliges Schadensereignis und max. 3 Monate alt
Unabhängig vom Baumaterial, (dieser Faktor wird bereits im Kriterium IV berücksichtigt), ist die Wahrscheinlichkeit für Schimmelwachstum bei schnell entdeckten und schnell getrockneten Schäden geringer.

B.2.2 Beurteilung anhand der Kriterien

In der Bewertungsstufe 2 werden zunächst die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung (I) herangezogen (siehe Kap. D.3).

Wird ein eindeutiger Befall bei einem Fußboden festgestellt wird ein Rückbau unabhängig von der Durchlässigkeit des Fußbodens empfohlen.

Eine Exposition der Raumnutzer ist bei einer geringen Durchlässigkeit des Fußbodens (siehe B.2.1, Kriterium II) zwar unwahrscheinlich, bei einer Öffnung des Fußbodens oder einer Änderung des Fußbodenbelags kann sich aber eine Exposition ergeben. Erfolgt kein Rückbau, muss durch andere Maßnahmen (z. B. Aufklärung) sichergestellt werden, dass es nicht später (z. B. durch einen Handwerker bei Reparatur- oder Erweiterungsbaumaßnahmen) zu einer Exposition kommt.

Bei keinem oder geringem mikrobiellen Befall müssen weitere Kriterien (II–VI) berücksichtigt werden, um eine Entscheidung über Erhalt, Rückbau oder alternative Maßnahmen (z. B. vollflächige Abdichtung, Randfugensanierung) treffen zu können.

Bei dieser Beurteilung wird eingeschätzt wie viele Kriterien dafür sprechen, dass aufgrund der Gegebenheiten später mit einem verstärkten mikrobiellen Wachstum und einer Exposition der Raumnutzer gerechnet werden muss.

In einem Ampelsystem kann dargestellt werden, bei welchen Eigenschaften der Kriterien das Risiko für ein späteres Schimmelwachstum und ggf. eine Exposition der Raumnutzer nicht gegeben (Kategorie: grün), erhöht (Kategorie: gelb) oder stark erhöht (Kategorie: rot) ist (siehe Tab. 6.1).

Wenn mindestens drei der Kriterien II–VI in der Kategorie grün liegen, ist ein Rückbau in der Regel nicht erforderlich. Bei erhöhter Feuchte muss aber in jedem Fall eine unverzügliche Trocknung erfolgen.

Bei Vorliegen von erhöhter oder stark erhöhter Feuchte (Kriterium III) kann je nach Vorliegen anderer ungünstiger Kriterien ein Schimmelwachstum stattfinden. Je mehr Kriterien in Kategorie rot beurteilt werden, desto eher spricht dies daher für einen Rückbau des Fußbodens.

Kriterien, die in die Kategorie gelb eingestuft werden, sprechen insbesondere bei Vorliegen weiterer ungünstiger Faktoren für einen Rückbau. So kann sich eine bereits erhöhte Feuchte im Bauteil bei absinkender Temperatur nochmals erhöhen (siehe VI) und weniger gut zu besiedelnde Materialien können bei länger anhaltender Feuchte zu mikrobiellem Wachstum führen (siehe III und IV).

Tabelle 6.1:

Beurteilung der Kriterien

Kriterien	Beurteilung (Kategorie) grün	gelb	rot
II Durchlässigkeit der Bodenbeläge	gering	mittel	hoch
III Feuchte im Fußbodenaufbau	gering	mittel	hoch
IV Material im Fußbodenaufbau	schwer zu besiedeln	weniger gut zu besiedeln	leicht zu besiedeln
V Nährstoffeintrag	gering	mittel	hoch
VI Schadensalter	Einmaliges Ereignis und ‹ 3 Monat		Mehrmaliges Ereignis oder › 3 Mon

C PROBENAHME

C.1 Grundsätzliches

Die Untersuchung mikrobieller Schäden mittels Materialproben kann nicht auf Basis eines starren Schemas erfolgen. Sowohl die Aufgabenstellungen als auch die Schäden selbst können extrem unterschiedlich sein. In den folgenden Empfehlungen werden Hilfestellungen für eine fachgerechte Probenahme zur mikrobiologischen Analyse gegeben und Mindestqualitätsstandards formuliert. Die Empfehlungen stellen aber keine allgemeingültige Bedienungsanleitung dar, sondern müssen je nach Gegebenheiten angepasst werden. Für viele Fragestellungen, wie z. B. die Ursachensuche, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung bei der Untersuchung mikrobieller Schäden ist unbedingt die Erfahrung entsprechend qualifizierter und in der Praxis erprobter Fachleute einzubeziehen. Mindestens müssen die in Kapitel B.2.1 genannten Kriterien erfasst und dokumentiert werden.

Für fachlich fundierte Aussagen zum Zustand des Fußbodenaufbaus müssen in der Regel mehrere Proben entnommen werden. Wird nur eine Probe entnommen, besteht die Gefahr, dass das Ergebnis nicht repräsentativ ist, sondern den Zustand nur einer sehr kleinen, vom Ausmaß her möglicherweise nicht relevanten Stelle wiedergibt und die daraus abgeleiteten Sanierungsempfehlungen daher nicht angemessen sind.

Bei der Probenahme ist sorgsam darauf zu achten, dass die Entnahme mit gereinigtem, desinfiziertem Werkzeug erfolgt und kein verstaubtes oder verschmutztes Material entnommen wird. Bei einer der Probenahme folgenden Analyse mittels Kultivierung von Mikroorganismen kann eine Verunreinigung mit lose an den Oberflächen anhaftenden Sporen ein Wachstum von Schimmelpilzen vortäuschen.

Zusätzlich muss beachtet werden, dass über offene Randfugen Schimmelpilze von einem Schimmelschaden an der Wand oder über Hausstaub in die Bodenkonstruktion eingetragen werden können und dort in oberen Schichten am Rand ein Schimmelpilzwachstum in der Fußbodenkonstruktion vortäuschen können. Proben zur Beurteilung der Fußbodenkonstruktion in der Fläche müssen daher in deutlichem Abstand von den Wandflächen entnommen werden.

Bei der Probenahme sind Maßnahmen zum Umgebungsschutz und zum Arbeitsschutz erforderlich (siehe auch Kap. 6.3.1).

C.2 Strategie bei der Untersuchung mikrobieller Schäden

In der Regel werden Materialproben entnommen und analysiert, um zwei Fragen zu klären:

- Liegt ein relevanter mikrobieller Befall im Material vor?
- Wie groß ist das Schadensausmaß?

Um das Ausmaß eines Schadens abzuschätzen, ist eine fachgerechte Probenahme hinsichtlich Probenahmestellen, beprobtem Material und Anzahl der Proben eine grundlegende Voraussetzung. Dabei muss sowohl die Ausdehnung des Schadens in der Fläche als auch in der Tiefe berücksichtigt werden. Außerdem müssen die Schadensart mit Ursache (siehe Kap. C.3) und das Schadensalter (siehe Kap. B.2.1 Kriterium VI) sowie das betroffene Material (siehe Kap. B.2.1 Kriterium IV) berücksichtigt werden. Bei aktuellen Feuchteschäden wird das Ausmaß des Schadens über Feuchtemessungen (siehe Kap. C.4) festgestellt. Ist der Schaden bereits länger abgetrocknet, kann das Ausmaß höchstens noch aufgrund der Ursache, des Schadensalters und anhand baulicher Kriterien abgeschätzt werden.

Wenn bei mehreren, aus dem vermuteten Zentrum des Schadens entnommenen Proben unterschiedliche Ergebnisse für die Konzentration an Schimmelpilzen erhalten werden, muss geprüft werden, ob der Schadensbereich richtig eingeschätzt wurde oder ob es Ursachen für ein ungleichmäßiges Wachstum im Schadensbereich gibt und z. B. unterschiedliche Feuchtegehalte im Material vorliegen. Für die endgültige Beurteilung muss diese Unsicherheit berücksichtigt werden. Gegebenenfalls müssen weitere Proben analysiert werden.

Weitere Hinweise zur Probenahmestrategie finden sich in der Norm DIN EN ISO 16000-19.

C.3 Schadensursachen

Die Ursachen können im Hinblick auf die Ausdehnung des Schadens in drei Gruppen eingeteilt werden: Baufeuchte, Havarien (Leckagen, Überschwemmung, Löschwasser etc.) und hygrothermische Schäden.

Bei Feuchteschäden durch Baufeuchte handelt es sich in der Regel um ausgedehnte Bereiche. Zu geringe Trocknungszeiten während der Bauphase oder unzureichende Lüftung können zu einer hohen Baufeuchte führen. Eine Diffusion dieser Feuchte aus dem Bauteil kann z. B. durch dampfdichte Oberflächenbeläge oder fehlende Raumlüftung behindert werden. Mit zunehmender Dauer der Feuchte im Bauteil erhöht sich das Risiko, dass ausgedehntes mikrobielles Wachstum auftritt. Das Ausmaß des Wachstums kann nicht sicher vorhergesagt werden und hängt vor allem von der Restfeuchte, den verbauten Materialien, der anfänglichen Belastung der Materialien mit Mikroorganismen und der Zeit ab. Erfahrungsgemäß ist in den ersten Monaten nach Errichtung eines Gebäudes nach den anerkannten Regeln der Technik kein relevantes mikrobielles Wachstum durch Baufeuchte zu erwarten. Größere Mengen an Staub oder Schmutz auf oder unter Dämmlagen können aber relativ schnell zu einem flächigen oder punktuellen mikrobiellen Wachstum führen.

Bei Havarien kann oft nach Kenntnis der Ursache der Wasserverlauf und die Wasserverteilung abgeschätzt werden. Es kann sich, je nach Menge an ausgetretenem Wasser und dessen Verbreitungsmöglichkeit (sowohl als flüssiges Wasser als auch als Wasserdampf), um sehr weit ausgedehnte Schäden, aber auch um lokal eingrenzbare Schäden handeln.

Bei hygrothermischen Schäden aufgrund von erhöhter Raumluftfeuchte oder zu kühler raumseitiger Oberflächen handelt es sich meist um lokal begrenzte Schäden ohne mikrobielles Wachstum in tieferen Schichten. In tieferen Schichten bzw. in der Konstruktion treten hygrothermische Schäden mit Bauteildurchfeuchtung z. B. bei unsachgemäßer Innendämmung oder undichter Dampfsperre auf.

C.4 Feuchtemessungen

Feuchtemessungen werden zum einen durchgeführt, um das Ausmaß eines Schadens festzustellen. Zum anderen wird die Feuchte im Material bestimmt, um zu entscheiden, ob ein Wachstum von Mikroorganismen möglich ist.

Zur ersten orientierenden Messung und einer Übersicht über die Verteilung der Feuchte im Objekt ist der Einsatz von leitfähigkeitsbasierten oder kapazitiven Messgeräten hilfreich, die zerstörungsfrei und ohne besonderen Zeitaufwand durchführbar sind. Mit diesen Methoden kann abgeschätzt werden, in welchen Bereichen eine erhöhte Feuchte vorliegt. Hierbei erhält man aussagekräftige qualitative Vergleichswerte zwischen trockenem und feuchtem Bereich. Allerdings erhält man wegen der nicht unerheblichen Materialeinflüsse auf den Messwert keinen verwertbaren quantitativen Wert für die Materialfeuchte. Daher ist die Einschätzung, ob mikrobielles Wachstum stattfinden kann, mit dieser Messmethode außer bei sehr feuchten Materialien nicht sicher möglich.

Hinsichtlich mikrobiologischer Fragestellungen bezieht man sich auf die Luftfeuchte in der Gasphase unmittelbar an den äußeren und inneren Grenzflächen Material/Luft. Diese „Grenzflächenfeuchte“, in der Praxis häufig auch nicht ganz korrekt als „Ausgleichsfeuchte“ bezeichnet, wird in % angegeben und entspricht dem hundertfachen a_w-Wert.

Dieser „Ausgleichswert“ der Gasphase darf nicht mit dem Ausgleichwert der Materialfeuchte (Gehalt an flüssigem und gasförmigem Wasser im Material bezogen auf dessen Masse oder Volumen; Darr-Methode) verwechselt werden, denn die Materialausgleichsfeuchte ist stark materialabhängig und korreliert nicht zwingend mit der Feuchte an der Materialgrenzfläche. Die Bestimmung der Materialausgleichsfeuchte durch gravimetrische Messung (Darr-Methode) oder die Calciumcarbidmethode sind daher hinsichtlich mikrobiologischer Fragestellungen in der Praxis ungeeignet, da für eine Beurteilung die baustoffspezifischen Feuchtekennwerte (Sorptionsisotherme/spezifische Wassergehalte) berücksichtigt werden müssen.

Schimmelpilze können bei Raumtemperatur (ca. 20 °C) je nach Substratangebot und Schimmelpilzart ab einer permanenten Feuchte von 70 %–80 %

relativer Materialfeuchte wachsen. Um in Fußböden oder Wänden messtechnisch festzustellen, ob dieser kritische Wert erreicht oder überschritten wurde, müssen Sondenmessungen mit Messelektroden zur Erfassung der Luftfeuchte in der Konstruktion bzw. in der Dämmschicht (hygrometrische Messverfahren) vorgenommen werden. Für die Messungen müssen Bohrungen in den Fußboden eingebracht werden, die dem Durchmesser der Sonde zur Messung der Luftfeuchte entsprechen, d. h. diese Messungen sind nicht zerstörungsfrei.

Mittels geeigneter Abdichtung ist sicherzustellen, dass zwischen Bohrloch und Umgebung kein Luftaustausch stattfindet. Um einen Schaden mit diesen Messungen aussagekräftig erfassen zu können, sind mehrere Messungen an verschiedenen Stellen erforderlich. Messungen in Bohrlöchern die zur Trocknung verwendet wurden sind nicht sinnvoll, da es Wochen dauern kann bis reale Feuchtewerte erfasst werden können. Bei frischgebohrten Löcher ist sorgfältig darauf zu achten, dass die durch das Bohren eingebrachte Wärme zum Zeitpunkt der Messwerterfassung komplett abgeklungen ist.

Bei der Interpretation der Messwerte ist darauf zu achten, dass die relative Feuchte von der vorliegenden Temperatur abhängig ist. Aus diesem Grund muss bei Temperaturen, die deutlich über 20 °C liegen, mittels des aus den Messwerten abgeleiteten absoluten Feuchtewertes die für 20 °C geltende relative Feuchte ermittelt und als Maßstab benutzt werden. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Messwerte bei Temperaturen unter 10 °C sehr ungenau sind und die Messungen ggf. bei höheren Temperaturen wiederholt werden müssen.

Zum Erkennen von deutlich feuchten Bereichen der Dämmschicht können auch einfache halbquantitative Widerstandsmessungen mittels langer Einstechelektroden an den Randfugen durchgeführt werden.

Um die Feuchte direkt an Oberflächen (z. B. Wänden) zu erfassen, sind Messgeräte mit externen Fühlern geeignet.

Feuchtemessungen und deren Bewertung erfordern viel Sachverstand und sollten nur durch entsprechend geschulte Fachleute mit bauphysikalischen Kenntnissen durchgeführt werden, da es sonst leicht zu Fehlinterpretationen kommen kann.

C.5 Anzahl der Proben

Wenn eine Probenahme für notwendig erachtet wird, ist es wichtig, eine ausreichende Anzahl an Proben zu nehmen, um ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Dabei muss meist ein Kompromiss zwischen wirtschaftlichen Aspekten und Repräsentativität gefunden werden.

Für normale Wohnräume (bis ca. 20 m²) werden mindestens 2 Proben aus dem Schadensbereich, möglichst weit voneinander entfernt entnommen.

Falls technisch eine Teilsanierung sinnvoll ist, dann sollten Proben vom Rand (mit ausreichendem Abstand zum Randstreifen), Mitte und halber Strecke zwischen Rand und Mitte genommen werden, um den Sanierungsbereich einzugrenzen.

Sind größere Räume (> 20 m²) oder mehrere Räume betroffen, muss durch die Anzahl der Proben sichergestellt werden, dass die Ergebnisse repräsentativ sind.

Der/die Sachverständige muss dann eine gründliche Planung zur Probenahme aufgrund der Gegebenheiten vor Ort und der Schadensart vornehmen. Dabei muss die Anzahl der Proben auf Basis der Schadensursache, der Gebäudekonstruktion, der Fragestellung und der Raumaufteilung im Einzelfall festgelegt werden. Bei bekannter Ursache und gleicher Baukonstruktion der betroffenen Bereiche, ist es auch bei großen Schäden ausreichend, wenige repräsentative Räume zu beproben. Bei unbekannter Ursache oder unterschiedlicher Baukonstruktion müssen entsprechend mehr Proben genommen werden.

Referenzproben können zur Ursachenklärung sehr wichtig sein, aber auch zur Klärung, ob sich zwei Ursachen überlagert haben und ob bereits eine Vorbelastung vorlag. Hierzu ist es erforderlich aus einem mit Sicherheit nicht vom aktuellen Schaden betroffenen Bereich Referenzproben zu entnehmen. Die Anzahl der Referenzproben richtet sich nach der Größe des Schadens, wobei 2 bis 3 Referenzproben in der Regel ausreichen; bei sehr kleinen Schäden ggf. auch eine Probe.

C.6 Durchführung der Probenahme

Die Probenahme sowie der Transport und die Lagerung der Proben erfolgt gemäß DIN ISO 16000-21 Kapitel 7.2 (Materialtiefenbeprobung) unter Berücksichtigung der Probenahmestrategie entsprechend DIN EN ISO 16000-19.

In den folgenden Abschnitten werden zusätzliche Hinweise aus der Praxis zusammengefasst.

Die Proben sollten aus dem Teil der Fußbodenkonstruktion entnommen werden, in dem erhöhte Feuchte feststellbar ist oder bekanntermaßen vorlag. Es ist hierbei darauf zu achten, dass diejenigen Stellen beprobt werden, wo die höchste relative Feuchte vermutet wird, z. B. die Unterseite von Dämmlagen in Fußböden.

Außerdem ist darauf zu achten, dass bei Aufbauten das Material entnommen wird, welches mikrobiell besiedelt werden kann, d. h. die Dämmmaterialien und nicht die Estriche oder der Beton.

Um den Eingriff auf den Fußbodenaufbau bei der Probenahme so gering wie möglich zu halten, bietet sich ggf. eine Zusammenlegung der Probenahme mit der Installation für die Trocknung an.

Die Größe der Probe ist von der angestrebten Analytik und dem Material abhängig.

Für die Kultivierung und insbesondere für die Mikroskopie ist eine möglichst zusammenhängende Materialprobe mit einem Durchmesser von mindestens 5 cm erforderlich.

Werden die Proben mittels elektrischem Gerät entnommen, z. B. Bohrmaschine mit Kernbohrer, dann ist wegen der möglichen Staubfreisetzung besonders auf den Umgebungsschutz zu achten (Geräte mit Absaugung einsetzen). Außerdem darf durch das Bohren das Probenmaterial nicht stark erwärmt werden. Direkt an der Kontaktfläche zwischen Bohrer und Material können hohe Temperaturen auftreten, die zu einem Absterben der Mikroorganismen führen. Bei Bohrkernen sollte deshalb ein Kern von mindestens 3 cm, wenn möglich von 5 cm Durchmesser genommen werden; ggf. muss durch langsamere Bohrgeschwindigkeit eine zu starke Materialerhitzung vermieden werden.

Bei der Probenahme von Polystyrol aus der Trittschall- und Wärmedämmung ist darauf zu achten, dass das Polystyrol nicht durch den sich über der Dämmung befindlichen Estrich verunreinigt wird. Dazu ist z. B. mit einem Kernbohrer mit Absaugung die Estrichschicht bis zur Trennfolie zu durchbohren und zu entfernen. Das entstandene Bohrloch ist staubfrei zu saugen. Danach wird die Trennfolie mit einem Paketmesser durchtrennt und entfernt. Anschließend wird mit einem geeigneten desinfizierten Werkzeug ein Bohrkern (Durchmesser 3–5 cm) aus der Trittschall- und Wärmedämmung entnommen. Die Oberseite des Materialkerns wird deutlich erkennbar markiert und der gesamte Bohrkern wird als Probe ins Labor geschickt.

In der Regel ist bei eingedrungener Feuchte die Bohrkernunterseite am stärksten von Mikroorganismen besiedelt. Im Labor wird daher meist der unterste 1 cm des Bohrkerns für die Kultivierungsanalysen verwendet. Für die Mikroskopie werden dann Proben direkt von der Oberfläche der Bohrkernunterseite verwendet.

Es kann aber auch zu einem Befall der Bohrkernoberseite (Oberseite Folie) kommen, die dann in die Untersuchung einbezogen werden muss.

Bei der Bewertung der Analysenergebnisse von Materialproben ist genau anzugeben, an welcher Stelle die Materialprobe entnommen wurde, welche Stärke der Bohrkern hatte und welcher Teil des Bohrkerns untersucht wurde.

Bei Mineralwolle sollte versucht werden, ein zusammenhängendes Materialstück von mindestens 5 cm^3 zu erhalten. Auch hier sollte die Oberseite z. B. mit einem Aufkleber markiert werden. Bei dünnen Schichten Mineralwolle wird das gesamte Materialstück analysiert, bei dickeren Lagen nur der unterste erste Zentimeter, da dort die Feuchte primär auftritt.

Wird ein Befall an anderer Stelle vermutet, sollten die Proben von diesen Stellen genommen werden und beim Ergebnis die genaue Lage der für die Untersuchung verwendeten Teilproben angegeben werden.

D MIKROBIOLOGISCHE ANALYSE

Schimmelpilze und Bakterien werden in Materialproben sowohl durch Kultivierung (siehe Kap. D.1) als auch durch Mikroskopie (siehe Kap. D.2) untersucht.

Nur durch die mikroskopische Untersuchung kann zwischen einer Verunreinigung und einem Befall unterschieden werden (siehe auch Kap. 1.1).

In Ringversuchen zur Bestimmung der Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze in Materialien hat sich gezeigt, dass reproduzierbare Ergebnisse nur erzielt werden, wenn die vorgegebene Methodenvorschrift (siehe Kap. D.1) genau eingehalten wird.

Weitere Untersuchungen wie Gesamtzellzahl-Bestimmung oder ATP-Messungen können zusätzliche Informationen liefern, sind aber nicht standardisiert und in der Praxis noch nicht ausreichend validiert.

Bisher liegen nur für kultivierbare Schimmelpilze in Polystyrolproben und eingeschränkt auch für Mineralfasern ausreichend Daten vor, um Konzentrationsbereiche für die Bewertungskategorien (siehe Kap. D.3) angeben zu können.

Ein Problem bei der Bewertung ist das Fehlen von allgemein anerkannten Hintergrundkonzentrationen als Grundlage für die Beurteilung von mikrobiellem Wachstum in Baustoffen. Um die Konzentration von Schimmelpilzen und Bakterien in Materialproben zu bewerten, liegt eine Reihe von Veröffentlichungen vor, die auf statistischen Auswertungen einzelner Laboratorien beruhen. Systematisch erhobene Hintergrundwerte zur Beurteilung von mikrobiellem Wachstum in Baumaterialien fehlen bislang aber.

Das Umweltbundesamt hat in einem Forschungsvorhaben orientierende Untersuchungen zu Hintergrundwerten in Baumaterialien durchgeführt. In dem Vorhaben wurden auch 20 Materialproben aus Fußbodenaufbauten untersucht. Für Polystyrolproben aus dem Rohbau/Neubau lag der Median für die Konzentration an kultivierbaren Schimmelpilzen bei 150 KBE/g Material, das 75. Perzentil bei ca. 1 x 10^3 KBE/g Material und das 95. Perzentil bei ca. 4 x 10^4 KBE/g Material. Dies zeigt, dass es im Neubau trotz Baufeuchte in der Regel nicht zu einem relevanten Schimmelwachstum kommt. Da keine Proben aus Fußböden in Altbauten untersucht wurden, kann zu Polystyrolproben aus Fußböden im Altbau keine Aussage gemacht werden.

Für Bakterien auf CASO-Agar wurden in Polystyrolproben aus dem Rohbau/Neubau höhere Hintergrundkonzentrationen nachgewiesen. Der Median lag bei ca. 1,7 x 10^4 KBE/g Material, das 75. Perzentil bei 6 x 10^4 KBE/g Material und das 95. Perzentil bei 2 x 10^5 KBE/g Material.

Aufgrund der geringen Anzahl untersuchter Proben können diese Hintergrundkonzentrationen nur als erste Orientierung dienen.

D.1 Bestimmung kultivierbarer Schimmelpilze und Bakterien

Die Aufarbeitung der Materialproben erfolgt entsprechend dem Suspensionsverfahren nach DIN ISO 16000-21.

Die Kultivierung der Schimmelpilze erfolgt gemäß DIN ISO 16000-17 parallel auf Malzextraktagar und DG-18-Agar. Um reproduzierbare Ergebnisse für die angegebenen Beurteilungskategorien zu erzielen, müssen diese Methodenvorschriften genau befolgt werden.

Nur in Ausnahmefällen ist eine Untersuchung von Materialien auf Bakterien sinnvoll (siehe Kap. 5.1.2 und 5.1.2.4). Für die Erfassung der Bakterien in Materialproben existiert noch kein standardisiertes Verfahren. Die Kultivierung der Bakterien sollte auf CASO- bzw. TSA-Agar mit Natamycin erfolgen. Für Aktinomyzeten wird auf Gauze mit Natamycin meist eine höhere Konzentration und Diversität erfasst, daher sollte dieser Agar für die Kultivierung von Aktinomyzeten zusätzlich verwendet werden (siehe Anlage 5). Bakterien werden routinemäßig nicht differenziert. Es empfiehlt sich wie bei den Schimmelpilzen eine mehrfache Kontrolle während der Inkubationszeit, da viele Bakterien sehr schnell, andere – insbesondere Aktinomyceten – dagegen sehr langsam wachsen

Die Proben werden entsprechend DIN ISO 16000-21 Kapitel 7.5 (Suspension von Material- und

Wischproben) aufgearbeitet. Von den Proben wird dabei im Labor derjenige Bereich untersucht, der dem Feuchteschaden am nächsten gelegen war, d. h. wo ein mikrobielles Wachstum am wahrscheinlichsten aufgetreten ist (siehe auch Kap. C.6).

Dabei folgende Punkte zusätzlich beachten:

- Die Puffermenge richtet sich nach dem verwendeten Material und der Materialmenge. Während nicht schwimmfähige Proben wie z. B. Putz- und Mineralfaserproben vollständig mit Puffer bedeckt werden, ist die Pufferzugabe bei Polystyrolproben so zu wählen, dass beim Schütteln ein gutes Waschergebnis gewährleistet ist. Als Anhaltspunkt gilt 50–100 ml Puffer zu einem Gramm Polystyrol in einem 250-ml-Kolben (Schikanekolben).

- Oft liegen nur kleinere Probenmengen vor. Bei Materialproben < 1g, wie sie z. B. bei Bohrkernen vom Fußbodenaufbau für Polystyrol zu erwarten sind, sollte auch die Puffermenge angepasst werden (z. B. 20 ml).

- Je nach Material sollte der pH-Wert der Ausgangssuspension überprüft werden. Dies ist insbesondere bei Putzproben wichtig. Liegt der pH-Wert im sauren oder alkalischen Bereich, muss die Probe neutralisiert werden.

D.2 Mikroskopische Untersuchung von Materialproben

In den folgenden Kapiteln werden Hinweise für eine sinnvolle mikroskopische Auswertung der Materialproben gegeben, da in der DIN ISO 16000-21 hierzu nur allgemeine Aussagen gemacht werden.

Die Ausführungen beziehen sich auf Klebefilmpräparate (Folienkontaktproben) und Materialdünnschnitte.

Analysenverfahren zum Nachweis der Gesamtzellzahl (Schimmelpilze und Bakterien) aus Materialsuspensionen durch Fluoreszenzfärbung werden nicht berücksichtigt, da sie bisher nur von einzelnen Laboratorien eingesetzt und noch nicht standardisiert sind.

D.2.1 Aufarbeitung der Proben zur mikroskopischen Analyse

Von Materialproben können Klebefilmpräparate, Dünnschnitte oder Zupfpräparate angelegt werden. Das Anlegen von Klebefilmpräparaten ist mit einem geringen Aufwand verbunden und viele Materialproben können mit dieser Methode ausreichend gut beurteilt werden. In Einzelfällen kann die Verwendung von Dünnschnitten notwendig sein. Insbesondere bei sehr feuchten Proben kann die Übertragung von Mikroorganismen vom Material auf den Folienkontakt erschwert sein. Weiterhin kann ein Befall im Lückengefüge von Materialien häufig in Dünnschnitten besser als mit Folienkontakten erfasst werden.

Die Proben werden in Milchsäurebaumwollblau (siehe DIN ISO 16000-21 Kap. 6.6) eingebettet, um vor allem Mikroorganismen blau einzufärben und so den Kontrast im mikroskopischen Bild zu steigern. Der Farbstoff sollte mindestens 10 Minuten einwirken, bevor eine mikroskopische Analyse vorgenommen wird. Bei kalkhaltigen Materialien (z. B. Putz) kommt es auf Grund einer Reaktion der Milchsäure mit Carbonaten zu einer Entwicklung von Gasbläschen. Daher sollte das Deckglas bei solchen Proben erst nach Beendigung dieser Reaktion aufgelegt werden.

Zur Anfertigung von Dünnschnitten werden mit einer Rasierklinge möglichst dünne flächige Materialschnitte angefertigt. Die Schnittdicke muss so gewählt werden, dass die Probe lichttransparent bleibt. Je nach Fragestellung können die Schnitte in unterschiedlichen Materialtiefen durchgeführt werden. Die Materialschnitte werden auf einen Objektträger mit Milchsäurebaumwollblau überführt und mit einem Deckgläschen bedeckt.

Für die Beurteilung von Materialien mit Hilfe von Klebefilmpräparaten werden transparente Klebestreifen auf die Materialprobe gedrückt und anschließend auf einen zuvor mit Milchsäureblau vorbereiteten Objektträger gelegt. In der Regel reicht es aus, die Kontaktfolien mit der klebrigen Seite direkt in die Färbelösung zu legen, sodass ohne zusätzliches Deckgläschen die mikroskopische Bewertung durchgeführt werden kann.

D.2.2 Mikroskopische Analyse

Die Erfassung von Mikroorganismen im mikroskopischen Bild setzt eine ausreichende Auflösung bzw.

Gesamtvergrößerung voraus. Während ausgedehnte Pilzmyzelien und Aggregate von Mikroorganismen bereits bei der Auflösung mit dem 20fach-Objektiv erkennbar sind, ist die Erfassung von einzelnen Pilzsporen oder Bakterien nur mit deutlich höherer Auflösung möglich. Einzelbakterien haben z. T. eine Größe von weniger als einem µm und können daher nur mit der maximalen lichtmikroskopischen Auflösung (1000fache–1250fache Vergrößerung) sicher erfasst werden. Je größer die mikroskopische Auflösung ist, desto kleiner ist allerdings das mikroskopische Sichtfeld. Für eine lückenlose Auswertung von einem Quadratzentimeter Materialfläche müssten mit einem 100fach-Objektiv ca. 3.000 mikroskopische Gesichtsfelder ausgewertet werden, während mit einem 20fach-Objektiv lediglich 130 mikroskopische Gesichtsfelder ausgewertet werden müssten.

Eine lückenlose Auswertung von Materialproben ist aufgrund der hohen mikroskopischen Auflösung nicht möglich und auch nicht notwendig. Typische Klebefilmpräparate haben eine Größe von ca. 6 cm x 1,5 cm. Eine Klärung, ob ein Befall vorliegt und ob dieser ggf. gleichmäßig oder verstärkt in einzelnen Bereichen vorliegt, kann durch das mehrfache Durchmustern (ca. 100 Gesichtsfelder) der Probe mit dem 20er Objektiv erreicht werden. Bei dieser Erstauswertung wird deutlich, ob Pilzmyzel und Aggregate von Mikroorganismen vorliegen und ob diese sich ggf. auf bestimmte Bereiche beschränken. Anschließend erfolgt eine mikroskopische Analyse mit maximaler Auflösung (100er Objektiv), entweder über die gesamte Probe verteilt oder in bereits als auffällig ermittelten Probenbereichen. Abgesehen von stärker belasteten Proben, bei denen bereits durch die Auswertung weniger Gesichtsfelder eine entsprechende Belastung sicher festzustellen ist, müssen Proben mit einer geringen Belastung intensiver analysiert werden. Für eine abgesicherte Analyse sollten ca. 200–300 Gesichtsfelder – möglichst mit Zählgitter – analysiert werden.

D.2.3. Qualitative Auswertung der mikroskopischen Analyse

Im Vordergrund der qualitativen Analyse steht die Frage, ob die Proben von Mikroorganismen bewachsen oder nur verunreinigt sind. Bei einem Befall können in der Regel zusammenhängende Pilzmyzelien, Aktinomyzetenfilamente oder typisch angeordnete Bakterienaggregate erkannt werden. Häufig können neben charakteristischen Sporen auch noch weitere Strukturen erkannt werden, die eine grobe systematische Einordnung der Pilzarten ermöglichen. Oft ist es sogar möglich, die Gattung der am Material entwickelten Pilzart zu ermitteln oder einzugrenzen. Diese qualitative Analyse von Materialproben zusammen mit den Ergebnissen der Kultivierung kann z. B. bei der Einschätzung helfen, ob parallel ermittelte Raumluftbelastungen mit den untersuchten Materialien in Verbindung gebracht werden können.

Verunreinigte Materialien können ggf. erhöhte Sporenkonzentrationen aufweisen, enthalten aber keine oder nur geringe Myzelmengen bzw. Bakterienaggregate. Typische Verunreinigungen durch Außenlufteinfluss können in der Regel aufgrund der heterogenen Sporenzusammensetzung sowie dem hohen Anteil an Sporen von Basidiomyceten, Cladosporienarten sowie Ascomyceten erkannt werden, während Sporen der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium* in geringeren Konzentrationen auftreten. Sporenverunreinigungen durch Feuchteschäden zeichnen sich dagegen durch einen hohen Anteil von Sporen aus, die von Indikatoren für Feuchteschäden stammen. Sehr häufig haben in diesen Proben wenige Sporentypen der Gattungen *Aspergillus, Penicillium, Scopulariopsis* einen besonders hohen Anteil.

Durch eine anhaltende Verstaubung können Materialien zunehmend mit Sporen sowie kurzen Myzelbruchstücken verunreinigt werden. Stark verstaubte Materialien können viele diverse außenlufttypische Pilzsporen sowie vereinzelt bis mäßig viele kurze melanine Myzelbruchstücke enthalten.

An fabrikneuen mineralischen Materialien bzw. Kunststoffen können in der Regel mit der mikroskopischen Untersuchung aufgrund der hohen Nachweisgrenze der Methode keine Myzelien oder Sporen festgestellt werden.

An organischen Materialien aus Holz- bzw. Zellulosefasern sowie Kork und vergleichbaren Materialien werden oft vereinzelt bis mäßig viele Myzelien und Sporen festgestellt. Diese sind oft bereits mechanisch gestört und resultieren aus Belastungen, die bereits an den Rohstoffen vor der Materialfertigung gewachsen sind.

D.2.4. Quantitative Auswertung der mikroskopischen Analyse

Zusätzlich zur qualitativen Analyse erfolgt eine grobe Einschätzung über die Konzentration der Mikroorganismen am bzw. im Material. Diese Konzentrationseinschätzung kann nur grob durchgeführt werden, da z. B. bei einer Folienkontaktuntersuchung methodenbedingt nur ein Teil der auf der Materialoberfläche vorliegenden Myzelien und Sporen auf den Folienkontakt übertragen wird. Weiterhin liegen die Mikroorganismen selten homogen, sondern häufig clusterartig am Material vor, sodass für statistisch abgesicherte Auswertung (niedrige Standardabweichung) ein unökonomisch hoher Aufwand betrieben werden müsste.

Die verschiedenen Schimmelpilzbestandteile (Sporen, Sporenträger, Myzelien) werden ausgewertet und wie folgt bewertet:

- Bei vereinzelten Sporen, Sporenträger- und Myzelbruchstücken in der Material- oder Kontaktprobe wird diese mit „kein Befall“ oder „Hintergrundbelastung“ bewertet.

  Nicht befallene Materialien enthalten normalerweise keine Myzelien. Einzelne Myzelbruchstücke können aber durch Sedimentation auch an unbelasteten Materialien auftreten.

- Bei mäßig vielen Sporen, zusammenhängenden Myzelien und Sporenträgern in der Material- oder Kontaktprobe wird die Bewertung der Probe mit „geringer Befall“ angegeben.

  Mäßig viele Myzelbeobachtungen lassen bereits auf eine beginnende mikrobielle Entwicklung schließen. Mäßig viele Sporen werden dagegen auch bei einer starken Verstaubung oder bei einer Verunreinigung durch einen angrenzenden Feuchteschaden beobachtet.

- Bei vielen oder sehr vielen Sporen, zusammenhängenden Myzelien und Sporenträgern in der Material- oder Kontaktprobe wird die Probe als „eindeutiger Befall“ bewertet. Viele oder sehr viele Sporen sprechen auch dann für einen Befall, wenn nur vereinzelt Myzel festgestellt wird, da insbesondere feine Myzelien bei älteren Schimmelschäden zerfallen und schlecht nachweisbar sind.

Für Bakterien können entsprechende Kategorien mit einer Zehnerpotenz höheren Konzentrationen verwendet werden (siehe Tab. 6.2).

Tabelle 6.2

Mikroskopische Bewertung von Polystyrol-Materialproben* für kleine, gut flugfähige Schimmelsporen (z. B. *Penicillium, Aspergillus*), Myzelien und Bakterien**

Bewertung	Pilze Myzel/cm²	Pilze Sporen/cm²	Bakterien/cm²
vereinzelt	≤ 50	≤ 150	≤ 1.500
mäßig viel	› 50–300	› 150–3.000	› 1.500–30.000
viel	› 300–6.000	› 3.000–60.000	› 30.000–600.000
sehr viel	› 6.000	› 60.000	› 600.000

* Die Tabelle bezieht sich auf eine Auswertung von 100 Gesichtsfelder (entspricht ca. 100 mm²) mit dem 20er Objektiv (200x) zur Erfassung wie heterogen die Probe belastet ist und einer Detailauswertung mit dem 100er Objektiv von 200–300 Gesichtsfeldern (entspricht ca. 7–10 mm²).

** Beim Auftreten von Pilzen mit großen oder schlecht flugfähigen Sporen (z. B. Stachybotrys, Alternaria oder Epicoccum) für die Kategorie „mäßig viel“ und höher nur ein Fünftel der in der Tabelle angegebenen Sporenkonzentrationen ansetzen.

D.3 Beurteilung der Ergebnisse

Die erhaltenen Konzentrationen an Schimmelpilzen werden zusammen mit den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung unter Berücksichtigung von Feuchteindikatoren den Beurteilungskategorien zugeordnet (siehe auch Kap. B.2.1, Kriterium I für weitere Hinweise zur Beurteilung und Tabelle 6.3.).

Bei Schimmelpilzkonzentrationen von 10^4 KBE/g–10^5 KBE/g ist das häufige Vorkommen von Schimmelpilzarten oder -gattungen, die oft bei Feuchteschäden nachgewiesen werden (sog. Feuchteindikatoren; siehe Kap. 1.2.2, Tab. 2), ein Hinweis darauf, dass es sich um einen Befall und nicht um eine Verunreinigung handelt. Materialien mit Verschmutzungen, können bei der Kultivierung hohe Konzentrationen an Schimmelpilzen ergeben und so einen Befall vortäuschen.

Die angegebenen Konzentrationsbereiche kultivierbarer Schimmelpilze beziehen sich primär auf Polystyrolmaterialien und auf Mineralwolle. Neuere Untersuchungen zeigen, dass diese Konzentrationsbereiche auch für andere Materialien wie Polyurethanschaum oder Putz angewendet werden können[3].

Bei Schimmelpilzen mit niedriger Sporenbildung (z. B. *Stachybotrys, Chaetomium*) können bereits Konzentrationen von 10^4 KBE/g als eindeutiger Nachweis eines Befalls gewertet werden, wenn Verschleppungen von Sporen z. B. von Estrichrandfugen zur Probenahmestelle auszuschließen sind.

Quantitative Auswertungen bei Materialanalysen sind mit einer hohen Unsicherheit behaftet (siehe auch Kap. D). In Ringversuchen wurde für die Gesamtkonzentration kultivierbarer Schimmelpilze eine Standardabweichung von 30 %–50 % festgestellt. Die Zahlenangaben sind daher als Größenordnungen und nicht als Grenzwerte zu verstehen. So liegt beispielsweise eine Probe mit einer Schimmelpilzkonzentration von 7,8 x 10^4 KBE/g in der gleichen Größenordnung wie eine Probe mit 1,2 x 10^5 KBE/g.

3 Hintergrundwerte von Schimmelpilzen und Bakterien auf Baumaterialien, 3. Deutscher Schimmelpilztag in Neuss, 03.+04.02.2017

Tabelle 6.3

Beurteilung der Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze (KBE/g Material) und Ergebnisse der Mikroskopie für die Materialien Polystyrol und Mineralwolle für die drei Beurteilungskategorien in der Bewertungsstufe 2 sowie für Verunreinigungen

Kein Befall Hintergrundbelastung	**Verunreinigung***	**Geringer Befall**	**Geringer Befall**	**Eindeutiger Befall**
Kultivierung ‹ 10^4 KBE/g	**Kultivierung** 10^4–10^5 KBE/g	**Kultivierung** 10^4–10^5 KBE/g	**Kultivierung** › 10^5 KBE/g ‹ 10^6 KBE/g**	**Kultivierung** › 10^5 KBE/g
und	und/oder***	und/oder***	und/oder***	und/oder***
Mikroskopie vereinzelt oder keine Sporen, Myzel, Sporenträger	**Mikroskopie** mäßig viele Sporen ohne Myzel und Sporenträger	**Mikroskopie** mäßig viele Sporen, Myzel, Sporenträger	**Mikroskopie** mäßig viele Sporen, Myzel, Sporenträger	**Mikroskopie** viele/sehr viele Sporen, Myzel Sporenträger

* in Fußbodenkonstruktionen werden Kontaminationen von › 10^5 KBE/g ohne Wachstum aufgrund der schlechten Zugänglichkeit der Materialien in der Regel nicht erreicht

** Bei Konzentrationen von › 10^6 KBE/g muss unabhängig von der Mikroskopie von einem eindeutigen Befall ausgegangen werden

*** und/oder heißt: Kultivierung und Mikroskopie oder ausschließlich Mikroskopie

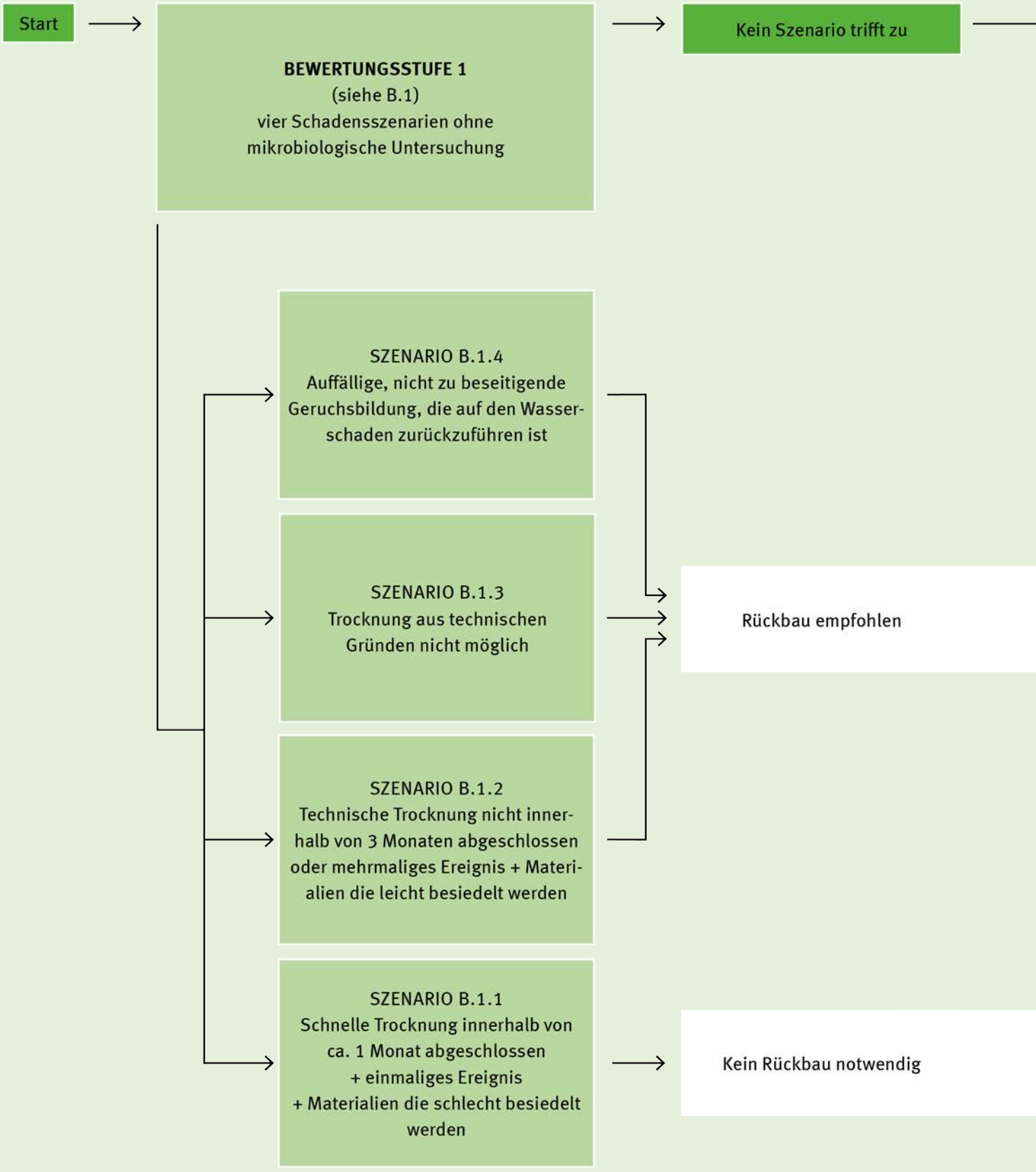
Die mikroskopischen Ergebnisse liefern wichtige Hinweise auf einen möglichen Befall des Materials mit Schimmelpilzen. Mit mikroskopischen Untersuchungen kann auch ein eingetrockneter bzw. abgetöteter Befall erkannt werden, bei denen die Mikroorganismen nicht mehr wachstumsfähig sind. Anhand von am Material gewachsenem Schimmelpilzmyzel und Sporenträgern oder dichten Bakterienbelägen können mikrobielle Schäden eindeutig erkannt werden, während der Nachweis von Sporen allein auch durch eine Verunreinigung des Materials erfolgt sein kann. Auch bei einer starken Verunreinigung des Materials ohne Wachstum sollte die Ursache – meist benachbarte Schäden – geklärt und beseitigt werden. Ggf. ist eine Reinigung oder Entfernung des betroffenen Materials z. B. in Randfugen bei Schäden an den Wänden notwendig.

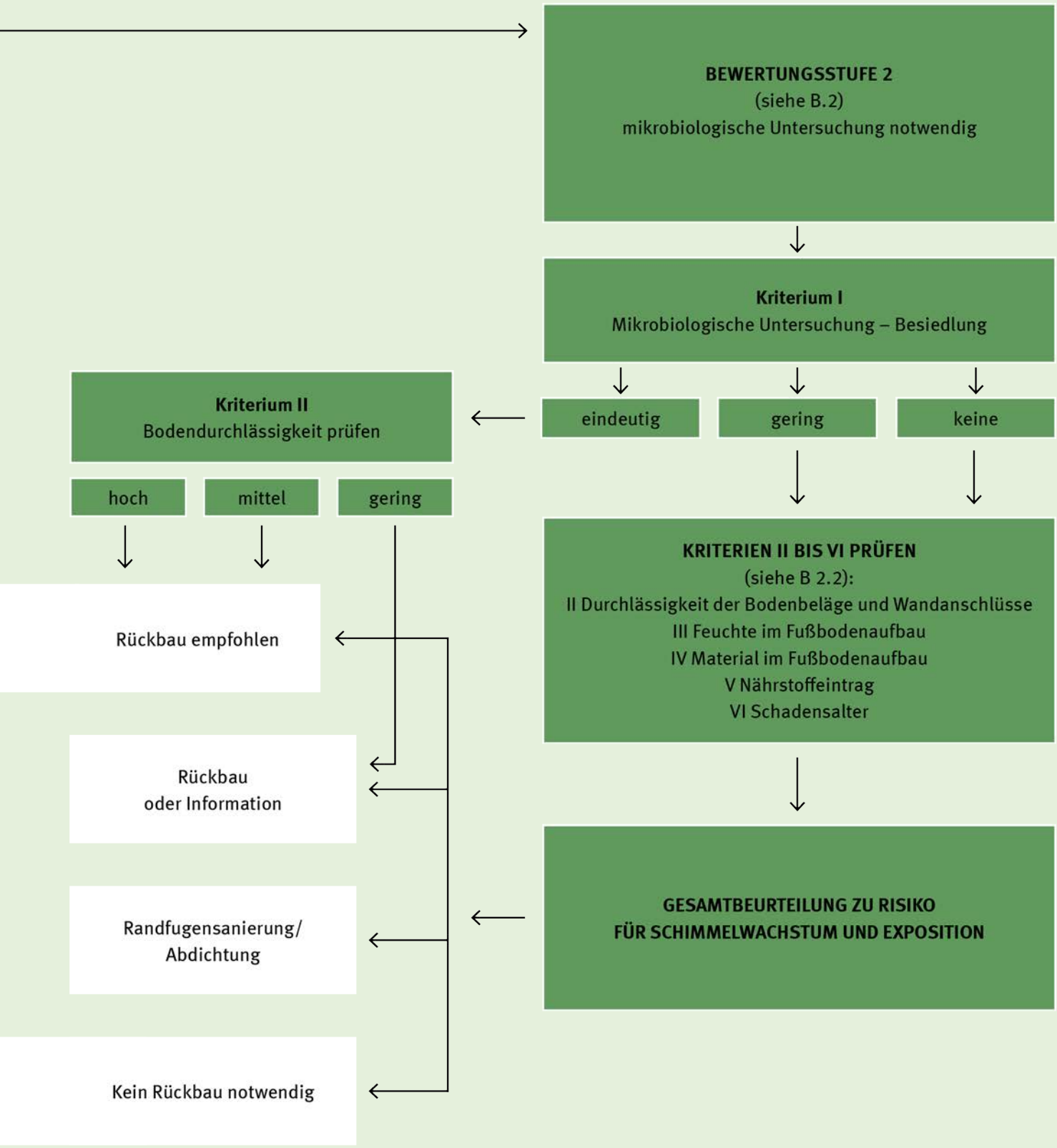
Für kultivierbare Bakterien können noch keine allgemein gültigen Konzentrationsbereiche für die Beurteilungskategorien angegeben werden. Erfahrungswerte einzelner Laboratorien zeigen, dass die Konzentrationen in den drei Beurteilungskategorien um ca. eine Zehnerpotenz höher liegen als die Konzentrationen von Schimmelpilzen, d. h. dass ein Befall ab einer Konzentration von 10^6 KBE Bakterien/g Material anzunehmen ist.

Ausblick

Ziel der vorgestellten Schemata ist eine einheitliche und auf gemeinsamen Kriterien aufgebaute Beurteilung von Feuchte- und Schimmelschäden in Fußböden. Aufgrund der Komplexität der zu berücksichtigenden Faktoren gibt es sicher Einzelfälle, die nicht durch diese schematische Vorgehensweise beurteilt werden können. Daher muss die Beurteilung durch sachkundige Personen erfolgen. Offene Fragen müssen durch weitere Forschung und Erfahrungen aus der Praxis geklärt werden und die Beurteilungsschemata ggf. beim Vorliegen neuer Erkenntnisse erweitert werden.

Zusammenfassung der Bewertung für Räume der Nutzungsklasse II




BEWERTUNGSSTUFE 2
(siehe B.2)
mikrobiologische Untersuchung notwendig
Kriterium I
Mikrobiologische Untersuchung – Besiedlung
eindeutig
gering
keine
Kriterium II
Bodendurchlässigkeit prüfen
hoch
mittel
gering
KRITERIEN II BIS VI PRÜFEN
(siehe B 2.2):
II Durchlässigkeit der Bodenbeläge und Wandanschlüsse
III Feuchte im Fußbodenaufbau
IV Material im Fußbodenaufbau
V Nährstoffeintrag
VI Schadensalter
Rückbau empfohlen
Rückbau
oder Information
Randfugensanierung/
Abdichtung
Kein Rückbau notwendig
GESAMTBEURTEILUNG ZU RISIKO
FÜR SCHIMMELWACHSTUM UND EXPOSITION

A7

ANLAGE 7

Orientierungskonzentrationen kultivierbarer Schimmelpilze

Orientierungskonzentrationen [KBE/m³] von kultivierbaren Schimmelpilzen in der Innenraumluft und Außenluft im Sommer und im Winter in Deutschland (aus Abschlussbericht UFOPLAN 20161218/07 (2004) Erhebung von Hintergrundkonzentrationen für die Bewertung von Schimmelpilzen im Innenraum).

Orientierungskonzentrationen ausgewählter Schimmelpilzarten in der Außenluft

	Winter			Sommer			Sommer + Winter		
	5. Perzentil	Median	95. Perzentil	5. Perzentil	Median	95. Perzentil	5. Perzentil	Median	95. Perzentil
Alternaria spp.	0	0	10	0	20	80	0	5	60
Cladosporium spp.	5	50	337	0	980	4124	0	100	3288
Aspergillus flavus	0	0	0	0	0	20	0	0	20
Aspergillus fumigatus	0	0	65	0	10	45	0	0	51
Emericella nidulans	0	0	0	0	0	20	0	0	10
Aspergillus niger	0	0	0	0	10	40	0	0	21
Aspergillus ochraceus	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Aspergillus penicillioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aspergillus restrictus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aspergillus sydowii	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aspergillus versicolor	0	0	0	0	0	20	0	0	20
Aspergillus ustus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
andere Aspergillus spp.	0	8	20	0	0	20	0	0	20
Summe Aspergillen	0	10	81	0	35	106	0	15	100

Eurotium amstelodamii	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Eurotium herbariorum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eurotium spp.	0	10	30	0	0	21	0	10	30
Summe Eurotium	0	10	41	0	10	31	0	10	40
Penicillium brevicompactum	0	0	80	0	0	41	0	0	51
Penicillium chrysogenum	0	0	2	0	0	20	0	0	20
Penicillium expansum	0	0	0	0	0	20	0	0	20
Penicillium glabrum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Penicillium olsonii	0	0	0	0	0	42	0	0	40
Penicillium spp.	0	15	50	0	20	82	0	20	80
Summe Penicillien	5	20	217	0	50	160	0	30	160
Mucor spp.	0	0	5	0	0	20	0	0	20
Rhizopus spp.	0	0	5	0	0	20	0	0	20
andere Zygomyceten	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Summe Zygomyceten	0	0	10	0	5	25	0	0	20
Hefen	0	5	115	0	23	2000	0	10	1106
Acremonium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aureobasidium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Botrytis	0	5	20	0	0	20	0	0	20
Chaetomium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fusarium spp.	0	5	40	25	80	200	0	25	160
Paecilomyces spp.,	0	0	0	0	0	10	0	0	5
Phialophora spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scopulariopsis spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stachybotrys chartarum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sterile Myzelien	0	5	80	0	0	20	0	0	41
Tritirachium (Engyodontium) album	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichoderma spp.	0	0	0	0	0	20	0	0	20
Wallemia sebi	0	5	45	0	0	11	0	0	40

Orientierungskonzentrationen ausgewählter Schimmelpilzarten in der Innenraumluft

	Winter			Sommer			Sommer + Winter		
	5. Perzentil	Median	95. Perzentil	5. Perzentil	Median	95. Perzentil	5. Perzentil	Median	95. Perzentil
Alternaria spp.	0	5	40	0	5	40	0	5	40
Cladosporium spp.	0	30	927	0	440	1800	0	70	1588
Aspergillus flavus	0	0	5	0	0	20	0	0	20
Aspergillus fumigatus	0	0	40	0	5	60	0	0	41
Emericella nidulans	0	0	0	0	0	20	0	0	10
Aspergillus niger	0	0	20	0	0	40	0	0	22
Aspergillus ochraceus	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Aspergillus penicillioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aspergillus restrictus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aspergillus sydowii	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aspergillus versicolor	0	0	43	0	0	40	0	0	42
Aspergillus ustus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
andere Aspergillus spp.	0	5	25	0	0	20	0	5	25
Summe Aspergillen	0	18	131	5	25	250	0	25	201
Eurotium amstelodamii	0	0	0	0	0	20	0	0	1
Eurotium herbariorum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eurotium spp.	0	5	20	0	5	40	0	5	20
Summe Eurotium	0	5	20	0	5	40	0	5	40
Penicillium brevicompactum	0	0	40	0	0	40	0	0	40
Penicillium chrysogenum	0	0	63	0	0	20	0	0	40
Penicillium expansum	0	0	20	0	0	20	0	0	20
Penicillium glabrum	0	0	3	0	0	0	0	0	1
Penicillium olsonii	0	0	40	0	0	80	0	0	60
Penicillium spp.	0	20	210	0	20	80	0	20	100
Summe Penicillien	5	50	354	5	60	225	5	55	281

Mucor spp.	0	0	6	0	0	20	0	0	20
Rhizopus spp.	0	0	10	0	0	20	0	0	20
andere Zygomyceten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe Zygomyceten	0	0	20	0	0	30	0	0	20
Hefen	0	10	1150	0	40	2000	0	20	2000
Acremonium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aureobasidium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Botrytis	0	0	5	0	0	10	0	0	5
Chaetomium spp.	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Fusarium spp.	0	5	71	0	40	160	0	10	131
Paecilomyces spp.,	0	0	5	0	0	5	0	0	5
Phialophora spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scopulariopsis spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stachybotrys chartarum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sterile Myzelien	0	0	11	0	0	20	0	0	20
Tritirachium (Engyodontium) album	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichoderma spp.	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Wallemia sebi	0	0	15	0	0	40	0	0	21

A8

ANLAGE 8

Orientierungskonzentrationen für die Gesamtsporenzahl

Orientierungskonzentrationen für die Gesamtsporenzahl [Sporen/Myzel/m³] in der Innenraumluft und Außenluft im Sommer und im Winter in Deutschland (aus Abschlussbericht UFOPLAN 20161218/07 (2004) Erhebung von Hintergrundkonzentrationen für die Bewertung von Schimmelpilzen im Innenraum)

Orientierungskonzentrationen für ausgewählte Sporentypen in der Innenraumluft und Außenluft im Winter und im Sommer

	Median				95. Perzentil			
	IL-W	AL-W	IL-S	AL-S	IL-W	AL-W	IL-S	AL-S
Basidiosporen	889	711	3822	8732	3017	11354	17384	26168
Ascosporen	0	11	178	289	85	151	586	2333
Cladosporium	65	22	2000	3311	195	160	5560	11590
Typ *Alternaria/ Ulocladium*	0	0	5	5	5	5	39	69
Typ *Aspergillus/ Penicillium*, rau	22	0	42	44	139	64	224	255
Typ *Aspergillus/ Penicillium*, glatt	67	22	111	44	560	157	422	322
Typ *Aspergillus restrictus* Gruppe	0	0	0	0	67	42	67	42
Summe Typ Aspergillus/ Penicillium	111	22	178	111	743	235	589	658
sonstige Sporen	22	0	44	44	178	67	244	276
Hyphenstücke	0	0	67	89	67	42	451	539
Stachybotrys chartarum	0	0	0	0	0	0	0	0
Chaetomium	0	0	0	0	1	0	5	5
Typ *Helminthosporium*	0	0	10	24	5	0	87	136
Epicoccum	0	0	5	5	0	0	45	58
Torula	0	0	0	0	0	0	5	10

IL = Innenraumluft, AL = Außenluft, W = Winter, S = Sommer

G

Glossar

A

Abschlussreinigung
Reinigung der sanierten Räume nach der Beendigung des Wiederaufbaus und ggf. der Möblierung

Absolute Luftfeuchte
Masse Wasser in einem Kubikmeter Luft (g/m³)

Aktinobakterien
der deutsche Begriff für die Klasse Actinobacteria, die im Jahr 1997 vorgeschlagen wurde, um die große morphologische Diversität der bis zu diesem Zeitpunkt auch als „Aktinomyzeten" bezeichneten Bakteriengruppe zu berücksichtigen

Heterotrophe, überwiegend aerobe Bakterien, die in ihren morphologischen, physiologischen und zytochemischen Eigenschaften stark variieren

Aktinomyzeten
ein mikrobiologischer Parameter für die Praxis, der die auf der Nähragarplatten leicht zu erkennenden myzelbildende Aktinobakterien umfasst

Allergen
ein körperfremder organischer oder anorganischer Stoff, der im Körper eine Immunantwort auslöst

Altbau
Gebäude, 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

Atopie
Neigung, mit allergischen Reaktionen vom Soforttyp (Typ-I-Allergie) auf den Kontakt mit ansonsten harmlosen Substanzen aus der Umwelt zu reagieren

a_w-Wert (activity of water)
die Wasseraktivität, als Maß für die Verfügbarkeit von „freiem" Wasser in Material. Nimmt Werte zwischen 0 (absolute Trockenheit) und 1 (kondensierende Feuchte) ein. Die Wasseraktivität darf nicht mit dem Wassergehalt (g Wasser / g Substrat) verwechselt werden

B

Baufeuchte durch den Bauprozess, vor allem durch die zwangsläufig nasse Verarbeitung von Baustoffen wie Beton, Putz, Mörtel, Estriche und Farbe sowie durch mangelhafte Lagerung oder Transport der Baumaterialien in ein Bauwerk eingebrachte Feuchte

Befall, mikrobieller
Siehe Schimmelbefall

Bioaerosole
luftgetragene Partikel biologischer Herkunft

Biozid
ein Stoff oder Stoffgemisch, das dazu bestimmt ist, auf andere Art als durch bloße physikalische oder mechanische Einwirkung Schadorganismen zu zerstören, abzuschrecken, unschädlich zu machen, ihre Wirkung zu verhindern oder sie in anderer Weise zu bekämpfen

Bakterien
Einzellige, prokaryotische Mikroorganismen, die sich ungeschlechtlich durch Zellteilung vermehren und deren DNA nicht in einem Zellkern, sondern frei im Cytoplasma vorliegt

D

DG18-Agar
Dichloran-Glycerol 18 %-Agar zur Anzucht xerophiler Schimmelpilze

Desinfektion
eine Maßnahme, bei der die Zahl der Infektionserreger – z. B. auf einer Fläche oder einem Gegenstand – so weit reduziert wird, dass eine Infektion davon nicht mehr ausgehen kann

E

Endotoxin
Bestandteil der Zellwand von gramnegativen Bakterien

Exposition
das Ausgesetztsein gegenüber z. B. einem Krankheitserreger, krankmachenden Partikeln oder Substanzen

F

Fadenpilz
Pilz, der in Form von fadenförmigen Zellsträngen, den so genannten ⇢ Hyphen, wächst [DIN ISO 16000-17]
Anmerung 1: Die Gesamtheit der Hyphen bezeichnet man als Myzel.
Anmerkung 2: Der Begriff „Fadenpilz" grenzt die hyphenbildenden Pilze gegen die Hefen ab.

Filtration (beim Nachweis von Mikroorganismen)
die Abscheidung von Mikroorganismen bzw. Schimmelpilzen aus einem definierten Luftvolumen mit Hilfe von Filtern [DIN ISO 16000-16]

Feuchteindikatoren
Schimmelpilze, die zum Wachstum eine relativ hohe Feuchte benötigen und deshalb häufig bei Feuchteschäden in Innenräumen vorkommen

G

Gesamtbakterien (in der Luft)
alle bei Anzucht auf CASO-Agar wachsenden Bakterien in einer Luftprobe

Gleichgewichtsfeuchte
Ausgleichsfeuchte, die sich im Baustoff unter den jeweiligen Klimabedingungen der Umgebung einstellt

H

Hefen
einzellige Pilze, die sich durch Sprossung vermehren (auch Sprosspilze genannt)

Hyphen
von Schimmelpilzen gebildete Zellfäden, deren Gesamtheit man als ⇢ Myzel bezeichnet

I

Impaktion (beim Nachweis von Mikroorganismen)
Abscheidung von Schwebstaubpartikeln (Sporen, Zellen etc.) durch Massenträgheit auf einer festen Oberfläche (Nährmedium oder adhäsive Beschichtung)

Isoplethen
Verbindungslinien zwischen Orten mit gleichen Zahlenwerten bei grafischen Darstellung

K

Keim
nicht wissenschaftlicher Sammelbegriff für Mikroorganismen und Viren; wird häufig als Synonym für Krankheitserreger verwendet

Kolonie
sichtbare Ansammlungen von Zellen, die bei der Vermehrung von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen auf festen Nährmedien entstehen

Koloniebildende Einheit (KBE)
Einheit, in der die Anzahl der anzüchtbaren Mikroorganismen ausgedrückt wird [EN 13098:2000 [6]]
Anmerkung 1 Eine koloniebildende Einheit kann aus einem einzigen Mikroorganismus, einem Aggregat mehrerer Mikroorganismen oder einem bzw. mehrerer Mikroorganismen entstehen, die an einem Partikel anhaften.
Anmerkung 2 Die Anzahl der Kolonien hängt von den Anzuchtbedingungen ab.

Kontamination
über die allgemeine Hintergrundbelastung hinausgehende Verunreinigung von Oberflächen oder

Materialien durch Mikroorganismen oder biogene Partikel und Stoffe, die nicht durch Wachstum hervorgerufen wird, sondern durch direkten Kontakt mit befallenen Materialien oder über den Luftweg erfolgt

Klimaanlage
raumlufttechnische Anlage, die nicht nur eine Temperierung der Luft über eine Wärmerückgewinnung ermöglicht, sondern auch über zusätzliche Komponenten zur Kühlung/Heizung und/oder zur Be- und Entfeuchtung der Luft verfügt

Kultivierung
Anzucht von zum Wachstum befähigten Mikroorganismen auf/in Nährmedien

Kultivierbare Schimmelpilze
Anteil an der Gesamtzahl von ⇢ Schimmelpilzen, der unter den verwendeten Kultivierungsbedingungen angezüchtet werden kann
Anmerkung: Die Kultivierbarkeit hängt z. B. von der Art des verwendeten Nährmediums und der Inkubationstemperatur ab.

L

Leitorganismus
Organismus, dessen Nachweis wegen seines häufigen Auftretens bei bestimmten Umweltbedingungen als Nachweis eines Schadens ausreicht

Luftwechselzahl, (Einheit 1/h)
der als Frischluft zugeführte Luftvolumenstrom (in m^3/h) dividiert durch das Luftvolumen des Raums (in m^3). Sie gibt an, welche Luftmenge, bezogen auf das Raumvolumen, pro Stunde ausgetauscht und durch Außenluft ersetzt wird
Anmerkung: Beispielsweise bedeutet eine Luftwechselrate von 2/h, dass im Rahmen der Belüftung pro Stunde das Doppelte des Luftvolumens im Raum ausgetauscht wird.

M

Mikroorganismus
Zelluläre oder nichtzelluläre mikrobiologische Einheit, der befähigt ist, sich zu vermehren oder genetisches Material zu übertragen, oder eine Einheit, die diese Eigenschaft verloren hat [DIN EN 13098]

MVOC
von Mikroorganismen gebildete flüchtige organische Verbindungen (microbial volatile organic compounds), z. B. bestimmte Aldehyde, Alkohole, Ester und Ketone

Morphologie
Form, Gestalt und Struktur der Lebewesen und ihrer Bestandteile

Mykotoxine
Produkte des Sekundärstoffwechsels von ⇢ Schimmelpilzen, die für Menschen und Tiere toxisch sind

Myzel
Gesamtheit der ⇢ Hyphen eines Pilzes

N

Nährmedium
Formulierung von Substanzen in flüssiger, halbfester oder fester Form, die natürliche und/oder synthetische Bestandteile zur Unterstützung der Vermehrung (mit oder ohne Hemmung bestimmter Mikroorganismen), Identifizierung oder Konservierung der Lebensfähigkeit von Mikroorganismen enthält

Anmerkung zum Begriff: In Wortverbindungen wird der Begriff oft auf das Wort „Medium“ beschränkt (z. B. Anreicherungsmedium). [ISO 11133]

P

Pathogenität
die Fähigkeit, eine Krankheit auszulösen

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

Phylogenese
die stammesgeschichtliche Entwicklung der Gesamtheit aller Lebewesen sowie bestimmter Verwandtschaftsgruppen auf allen Ebenen der biologischen Systematik

Prädisposition
Die Empfänglichkeit einer Person für eine bestimmte Erkrankung

Q

Querlüften
Lüftung durch weit geöffnete, gegenüber liegende Fenster oder Fenster und Türen („Durchzug“)

R

Referenz
Bezugssystem oder Bezugswert für einen gewissen Messwert

Relative Luftfeuchte
prozentualer Anteil des maximal möglichen Wasserdampfgehaltes in der Luft
Anmerkung: die Wasserdampfmenge, die die Luft aufnehmen kann ist abhängig von der Temperatur. Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte.

Restbaufeuchte
⇢ Baufeuchte

Resistenz
Unempfindlichkeit eines Organismus gegenüber schädlichen äußeren Einwirkungen

S

Schimmel
Mikroorganismen (Schimmelpilze, Hefen, Bakterien), die sich auf oder in einem Material vermehren oder vermehrt haben

Schimmelbefall
ein Schaden mit gegenwärtigem oder in der Vergangenheit liegendem Wachstum von Mikroorganismen (Schimmelpilze, Hefen, Bakterien) an Bauteilen, auf Oberflächen oder in Materialien

Schimmelpilze
fädige Pilze aus unterschiedlichen taxonomischen Gruppen (Ascomyceten, Zygomyceten) und ihre anamorphen Stadien (früher Deuteromyceten oder Fungi imperfecti genannt) die ein ⇢ Myzel und ⇢ Sporen bilden

Sporen
zur Vermehrung und Verbreitung gebildete asexuelle Verbreitungsorgane (Sporangiosporen und Konidien) sowie sexuelle Verbreitungsorgane (Zygosporen, Ascosporen) von ⇢ Schimmelpilzen

In der Praxis werden alle diese Verbreitungsstadien unter dem Überbegriff „Sporen“ zusammengefasst

Schimmelpilz-Mykosen
Infektionen durch Schimmelpilze

Stoßlüften
kurzzeitiges, intensives Lüften durch ein oder mehrere weit geöffnete Fenster

T

Taxonomie
Zweig der Systematik, der sich mit der Einordnung der Lebewesen in systematische Kategorien befasst

Thermografie
ein bildgebendes Verfahren, mit dem Oberflächentemperaturen von Objekten dargestellt werden können. Die Differenzen in der Temperatur von Bauteiloberflächen werden als Farbmuster dargestellt

W

Wasseraktivität
Siehe ⇢ a_w Wert

Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)
das Dämmniveau eines Bauteiles der Außenhülle, z. B. der Außenwand. Ein hoher U-Wert bedeutet einen guten Wärmedurchgang und damit eine schlechte Dämmung

▸ **Diese Broschüre als Download**
http://bit.ly/2dowYYI

www.facebook.com/umweltbundesamt.de
www.twitter.com/umweltbundesamt