Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen

(„Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“)

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

LEITFADEN

ZUR URSACHENSUCHE UND SANIERUNG BEI SCHIMMELPILZWACHSTUM IN INNENRÄUMEN („SCHIMMELPILZ-SANIERUNGSLEITFADEN“)

Erstellt durch die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Vorsitz: **Dr. Bernd Seifert**, Umweltbundesamt, Berlin

Mitglieder:

Prof. Dr. Heidrun Behrendt, ZAUM – Technische Universität München

PD Dr. Dr. Wolfgang Bischof, Universitätsklinikum Jena, Raumklimatologie

Prof. Dr. Martin Exner, Hygiene-Institut der Universität Bonn

Dr. Birger Heinzow, Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit des Landes Schleswig-Holstein,

Prof. Dr. Olf Herbarth, UFZ-Umweltforschungszentrum, Leipzig-Halle GmbH

Dr. Caroline Herr, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Universität Gießen

Dr. Hermann Kruse, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Institut für Experimentelle Toxikologie

Dr. Inge Mangelsdorf, Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin, Hannover

Dipl.-Chem. Wolfgang Misch, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT), Berlin

Helene Neumann, Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen

Prof. Dr. Henning Rüden, Institut für Hygiene und Umweltmedizin Campus Benjamin Franklin, Charité-Universitätsmedizin Berlin

Dr. Helmut Sagunski, Behörde für Wissenschaft und Gesundheit der Freien Hansestadt Hamburg

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Valley

Dr. Jürgen Wuthe, Regierungspräsidium Stuttgart, Landesgesundheitsamt

Als weitere Sachverständige haben mitgewirkt:

Dipl.-Ing. Günter Dahmen, Aachener Institut für Bauschadensforschung

Dr. Ludwig Dinkloh, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

Dr. Steffen Engelhart, Hygiene-Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Dr. Norbert Englert, Umweltbundesamt, Berlin

Dipl.-Ing. (FH) Torsten Fenske, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin

Dr. Thomas Gabrio, Regierungspräsidium Stuttgart, Landesgesundheitsamt

Dr. Thomas Hartmann, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden GmbH

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin

Dr. Heinz-Jörn Moriske, Umweltbundesamt, Berlin

Dr. Wolfgang Plehn, Umweltbundesamt, Berlin

Dr. Oliver Polanz, Bau-Berufsgenossenschaft, Wuppertal

Prof. Dr. Wolfgang Richter, Technische Universität Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung

Dr. Regine Szewzyk, Umweltbundesamt, Berlin

Dr. Christian Trautmann, Umweltmykologie GbR, Berlin

Dr. Detlef Ullrich, Umweltbundesamt, Berlin

Impressum:

Herausgeber und Redaktion:
Umweltbundesamt
Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
Tel.: 0340 - 21 03 - 0
Fax: 0340 - 21 03 - 22 85
http://www.umweltbundesamt.de

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

Gesamtherstellung:
Druckerei RUPA-DRUCK, Dessau

Diese Broschüre ist kostenlos zu beziehen von:
GVP Gemeinnützige Werkstätten Bonn
In den Wiesen 1-3, 53227 Bonn
Tel.: 0228 9753 - 209 oder - 210

Bestellungen per Email bitte ausschließlich über: uba@broschuerenversand.de

© 2005 Umweltbundesamt Dessau

1	**Einleitung**	1
2	**Ursachen für Schimmelpilzwachstum in Gebäuden**	2
2.1	Allgemeine Grundlagen	3
2.1.1	Feuchtigkeit	3
2.1.2	Temperatur und Nährstoffe	4
2.1.3	pH-Wert	5
2.2	Bauliche und nutzungsbedingte Einflussgrößen	7
2.2.1	Unzureichende Wärmedämmung, geringe Wärmespeicherung	9
2.2.2	Wärmebrücken	9
2.2.3	Erhöhte Wärmeübergangswiderstände	10
2.2.4	Unzureichende oder unsachgemäße Beheizung	10
2.2.5	Erhöhte Feuchteproduktion im Innenraum	11
2.2.6	Unzureichendes oder unsachgemäßes Lüften	13
2.2.7	Schlechte Feuchtepufferung der Baumaterialien	13
2.2.8	Feuchtigkeit in der Baukonstruktion	15
2.3	Bestehende Normvorgaben	15
2.4	Lüftungskonzepte und -techniken	17
2.4.1	Freie Lüftung	17
2.4.2	Mechanische Lüftung	18
2.4.2.1	Abluftanlagen	18
2.4.2.2	Zu- und Abluftanlagen	19
2.4.2.3	Dezentrale Lüftungsgeräte	20
2.4.2.4	Wartung	20
2.5	Möglichkeiten zur Ermittlung der Befallsursachen	24
3	**Vom Raumnutzer selbst durchzuführende Maßnahmen**	30
3.1	Beseitigung des Befalls kleinerer Flächen	30
3.2	Sofortmaßnahmen vor einer Sanierung bei größerem Befall	33
4	**Vorbereitung der Sanierung**	34
4.1	Gefährdungsbeurteilung	35
4.1.1	Beurteilung aus hygienischer Sicht	35
4.1.2	Beurteilung der Dringlichkeit der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen	35
4.1.3	Beurteilung der Gefährdung bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen	36
4.1.3.1	Gefährdung für die Arbeitnehmer durch biologische Arbeitsstoffe	36
4.1.3.2	Gefährdung für die Arbeitnehmer durch verwendete Chemikalien	38
4.1.3.3	Gefährdung für die Raumnutzer	38

4.2 Schutzmaßnahmen bei der Sanierung 38
4.2.1 Arbeitsschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Belastung mit mikrobiologischen Schadstoffen 38
4.2.1.1 Technische und bauliche Maßnahmen 39
4.2.1.2 Organisatorische Maßnahmen 39
4.2.1.3 Persönliche Schutzausrüstung 40
4.2.1.4 Arbeitsmedizinische Vorsorge 41
4.2.2 Arbeitsschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Belastung mit chemischen Schadstoffen 41
4.2.2 Allgemeine Schutzmaßnahmen 41

5 Durchführung der Sanierung 43

5.1 Beseitigung der Befallsursachen 43
5.1.1 Beseitigung von Baumängeln 43
5.1.1.1 Oberflächenfeuchte 43
5.1.1.2 Feuchtigkeit im Bauteil 44

5.2 Reinigung und Entfernung der mit Schimmelpilzen befallenen Materialien 45

5.3 Technische Trocknungsmaßnahmen 48

5.4 Bauliche Maßnahmen nach Sanierung 50

5.5 Gebäudereinigung nach Sanierung 51

6 Kontrolle des Sanierungserfolges/Abnahme des Bauwerks 52

7 Kasuistiken (Fallbeispiele aus der Praxis) 53

7.1 Schimmelpilzsanierung im Dachbereich 53

7.2 Neubau Einfamilienhaus 54

8 Weiterführende Literatur 58

9 Glossar 60

ANHANG
Aktualisierte Beurteilungskriterien zum Schimmelpilz-Leitfaden vom Dez. 2002

1 Einleitung

Das Umweltbundesamt hat nach Beratung in der Innenraumlufthygiene-Kommission im Dezember 2002 den „Leitfaden für die Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen“[1] veröffentlicht. Zum ersten Mal ist es damit gelungen, bundesweit einheitliche Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen zu geben. Der Schwerpunkt dieses (ersten) Leitfadens liegt bei der Beschreibung der möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Schimmelpilzen, der Vorgehensweise bei der Erfassung von Schimmelpilzbefall sowie bei der Bewertung von Messergebnissen zum Nachweis von Schimmelpilzen.

Bei der praktischen Umsetzung der Empfehlungen aus dem „Schimmelpilz-Leitfaden“ – der nach wie vor in der Öffentlichkeit auf großes Interesse stößt – hat sich gezeigt, dass der Leitfaden zwar für die Erfassung und Beurteilung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen eine große Hilfestellung bietet, aber nur in allgemeiner Form auf Sanierungsmaßnahmen eingeht.

Dies hat in der Praxis zu uneinheitlichen Vorgehensweisen hinsichtlich des notwendigen Sanierungsumfangs in betroffenen Gebäuden geführt. Eine Konkretisierung der Sanierungsempfehlungen aus dem „Schimmelpilz-Leitfaden“ war daher geboten.

Mit dem vorliegenden ergänzenden „Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden“ soll diese Lücke geschlossen werden. In diesem Leitfaden werden die Ursachen für das Auftreten von Schimmelpilzbefall dargestellt sowie mögliche Sanierungsmaßnahmen ausführlich beschrieben.

Der „Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden“ soll den bisherigen „Schimmelpilz-Leitfaden“ nicht ersetzen. Die damals gegebenen Empfehlungen und aufgezeigten Verfahrensschritte haben weiterhin Gültigkeit. Jedoch sollen einzelne Aussagen im Hinblick auf die Sanierung präzisiert und – wo erforderlich – den praktischen Gegebenheiten und Erfordernissen angepasst werden. Falls eine Empfehlung im Sanierungsleitfaden aufgrund neuer Erkenntnisse von der ursprünglichen Vorgabe im „Schimmelpilz-Leitfaden“ abweicht, wird dies dem Leser kenntlich gemacht und begründet.

Der vorliegende Leitfaden wendet sich an Fachleute, die mit der Sanierung von Schimmelpilzbefall in Gebäuden befasst sind (Sanierungsfirmen, Sachverständige). Er wendet sich zudem an Wohnungsunternehmen und örtliche Behörden (Gesundheits-, Umwelt-, Bauämter), die solche Sanierungsmaßnahmen empfehlen, begleiten oder den Sanierungserfolg kontrollieren.

Auch der betroffene Gebäudenutzer wird darin wertvolle Hinweise finden, zum Beispiel wie durch richtiges Lüften und Heizen Schimmelpilzbefall vermieden werden kann oder was man zur Beseitigung von Schimmelpilzbefall selbst tun kann.

Da die primär behandelten Gebäude Wohngebäude sind, wird auf die Funktionsweise und möglichen mikrobiellen Probleme beim Betrieb raumlufttechnischer Anlagen (RLT-Anlagen) in Bürogebäuden nur am Rande eingegangen. Bereits in früheren Empfehlungen des Umweltbundesamtes ist auf die regelmäßige Wartung und Kontrolle von RLT-Anlagen hingewiesen worden.

Der Leitfaden ist folgendermaßen gegliedert:

[1] Der „Schimmelpilz-Leitfaden“ ist kostenlos beim Zentralen Antwortdienst des Umweltbundesamtes, Postfach 1406, 06813 Dessau, zu beziehen. Der vollständige Text kann darüber hinaus im Internet über die UBA-Homepage (www.umweltbundesamt.de; Rubrik „Publikationen“) abgerufen werden.

Zunächst werden in *Kapitel 2* die Ursachen für Schimmelpilzwachstum in Gebäuden behandelt. Es wird auf allgemeine Grundlagen eingegangen, anschließend werden die baulichen, bauphysikalischen und lüftungstechnischen Erfordernisse und Aspekte beschrieben. Auch auf das Nutzungsverhalten wird eingegangen. Die Beschreibung unterschiedlicher Lüftungsmöglichkeiten nimmt in diesem Kapitel einen breiten Raum ein, da dieses Thema im Zusammenhang mit Schimmelpilzbefall zunehmend eine wichtige Rolle spielt.

Liegt ein Schimmelpilzbefall vor, soll dieser so rasch wie möglich beseitigt werden. Dies kann in einigen Fällen durch die Bewohner selbst erfolgen. Wann dies der Fall ist und welche Anforderungen und Vorsichtsmaßnahmen an selbst durchzuführende Schimmelpilz-Beseitigungsmaßnahmen zu stellen sind, wird in *Kapitel 3* behandelt.

Es folgt die eigentliche Sanierung, die in der Regel durch Fachfirmen durchgeführt wird. In *Kapitel 4* wird beschrieben, wie die Sanierung vorbereitet wird und welche Schutzmaßnahmen für das Sanierungspersonal und die Raumnutzer zu treffen sind.

In *Kapitel 5* folgt eine detaillierte Auflistung der einzelnen Sanierungsschritte bis hin zur Frage der Reinigung des Gebäudes nach Beendigung der Sanierungsmaßnahmen.

In *Kapitel 6* wird beschrieben, wie im Anschluss der Sanierungserfolg kontrolliert wird, bevor die Räumlichkeiten wieder genutzt werden können

Wie in der Praxis vorgegangen wird, wird anhand zweier typischer Schadensfälle in *Kapitel 7* beschrieben.

In *Kapitel 8* findet sich schließlich eine Übersicht über weiterführende Literatur.

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

Anregungen aus der Praxis nehmen wir gerne entgegen und werden sie ggf. bei einer Neuauflage berücksichtigten.

2 Ursachen für Schimmelpilzwachstum in Gebäuden

Schimmelpilze benötigen zum Wachstum Nährstoffe und Feuchtigkeit. Da in Gebäuden Nährstoffe in mehr oder weniger gut verfügbarer Form vorhanden sind, kommt der Feuchtigkeit eine ausschlaggebende Bedeutung zu. Die Temperatur und der pH-Wert spielen eher eine untergeordnete Rolle, da Schimmelpilze in einem weiten Temperatur- und pH-Bereich wachsen können. Je nach Nährstoffen, Temperatur- und pH-Wert wird das Schimmelpilzwachstum langsamer oder schneller ablaufen (siehe 2.1.2 und 2.1.3).

Der wichtigste Faktor für das Wachstum von Schimmelpilzen in Gebäuden ist Feuchtigkeit.

2.1 Allgemeine Grundlagen

2.1.1 Feuchtigkeit

Verschiedene Materialien bieten für Mikroorganismen – auch bei gleichem Wassergehalt – eine unterschiedliche Verfügbarkeit von Feuchtigkeit. Dies wird durch die sogenannte Wasseraktivität (dem a_w-Wert) beschrieben, deren Wert zwischen 0 und 1 liegen kann. Um zu verstehen, warum der gleiche Wassergehalt je nach Material in unterschiedlichem Maße für Mikroorganismen verfügbar ist, sollen im Folgenden die Feuchtespeichervorgänge physikalisch genauer betrachtet werden.

Poröse, hygroskopische Stoffe können in Abhängigkeit von ihrer Porenstruktur und inneren Oberfläche unterschiedliche Mengen Wasser an sich binden. Sie stehen in Austausch mit der Feuchtigkeit der sie umgebenden Luft. Bringt man ein anfangs getrocknetes Material in eine Umgebung konstanter relativer Luftfeuchte, so nimmt dieses solange Feuchtigkeit auf, bis ein physikalisches Gleichgewicht entstanden ist. Bei einer Erhöhung der Luftfeuchte wird vom Material weitere Feuchtigkeit aufgenommen und bei einer Verringerung der Luftfeuchte abgegeben. Das Erreichen eines Gleichgewichts bedeutet, dass der Wasserdampfdruck in den Poren des Materials der gleiche ist wie in der Umgebungsluft. In der Praxis lässt sich die Materialfeuchte daher durch die relative Luftfeuchte im Umgebungsbereich des Materials näherungsweise darstellen.

Der Zusammenhang zwischen der Menge des eingelagerten Wassers und der relativen Luftfeuchte wird bei isothermen Verhältnissen durch die Sorptions-isotherme charakterisiert. *Bild 1* zeigt für drei unterschiedliche Materialien (Beton, Holz und Ziegel) die Sorptionsisothermen, also den Wassergehalt der Materialien in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte oder gleichbedeutend den a_w-Wert. Man erkennt, dass z. B. bei einem a_w-Wert von 0,8 bzw. einer relativen Luftfeuchte von 80 % unterschiedliche Wassergehalte bei verschiedenen Materialien vorliegen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der a_w-Wert eines feuchten Materials (unter Gleichgewichtsbedingungen) nichts anderes darstellt als die an der äußeren und inneren Materialoberfläche vorliegende relative Luftfeuchte. Der Wassergehalt einzelner Baustoffe kann bei gleicher Wasseraktivität (gleicher a_w-Wert) variieren. Im Umkehrschluss bedeutet es, dass z. B. Holz mehr Wasser aufnehmen kann, bis es die gleiche Menge verfügbaren Wassers enthält wie Ziegel oder Beton.

Der Zusammenhang lässt sich in folgender Formel ausdrücken:

$$a_w = \cdot\varphi /100$$

wobei

φ	[%]	relative Luftfeuchte
a_w	[-]	Wasseraktivität.

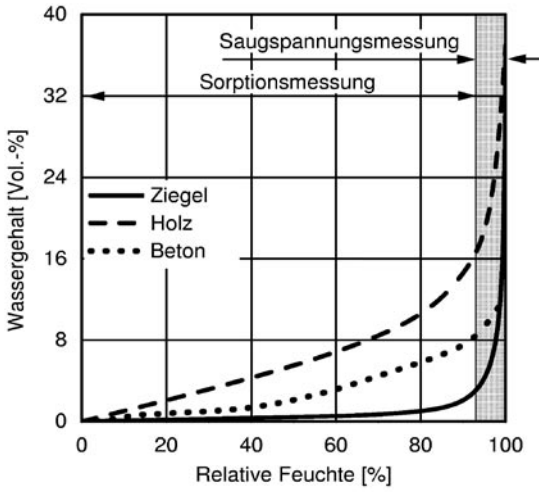


Bild 1: Typische Feuchtespeicherfunktionen für schwach (Ziegel), mäßig (Beton) und stark (Holz) hygroskopische Baustoffe. Die Feuchtespeicherfunktion kann bis 95 % relative Feuchte über Sorptionsmessungen bestimmt werden, darüber wird sie über Saugspannungsmessungen ermittelt (nach Krus 1995)

Das entscheidende Kriterium für Keimung und Wachstum von Mikroorganismen ist das zur Verfügung stehende Wasser. 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, bevor sie vollständig ausgekeimt sind und mit ihrem Myzelwachstum beginnen, die Feuchtigkeit fast vollständig aus der Luft aufnehmen, da sie zunächst keinen Kontakt zum Untergrund, z. B. zu einer verputzten Wand, haben. Erst nach Beginn der biologischen Aktivität, also nach vollendeter Auskeimung, kann das Pilzmyzel auch Feuchtigkeit aus dem Baustoff aufnehmen. Bei Schimmelpilzen kann das Hyphengeflecht mehrere Millimeter in das Porengefüge eines Baustoffs eindringen.

Jede einzelne Pilzspezies besitzt ihren eigenen, charakteristischen Feuchtebereich, der die Intensität des Wachstums bestimmt.

Die Feuchtegrenze, unterhalb derer kein Wachstum von Schimmelpilzen auf Materialien stattfindet, liegt bei ca. 70 % relativer Feuchte an der Oberfläche. Mit zunehmendem Feuchtegehalt steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Schimmelpilzwachstum auftritt. Bei 80 % relativer Feuchte an der Oberfläche sind die Wachstumsbedingungen für fast alle innenraumrelevanten Schimmelpilzarten erreicht.
Bei noch höheren Oberflächenfeuchten können alle Schimmelpilzarten sowie Bakterien wachsen.

2.1.2 Temperatur und Nährstoffe

Auch wenn die Feuchtigkeit der wichtigste Faktor ist, müssen die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen „Feuchtigkeit, Temperatur und Nährstoffe“ über eine bestimmte Zeitperiode simultan vorhanden sein, damit Schimmelpilzsporen auskeimen und anschließend das Myzel wachsen kann.

Die Wachstumsvoraussetzungen, Feuchtigkeit und Temperatur, können im Praxisfall nicht getrennt voneinander betrachtet werden, da sich die Lage der minimalen und optimalen Feuchtigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen verschieben kann.

Kombination von Temperatur und Feuchtigkeit:

Die minimalen Werte der relativen Luftfeuchte, die zur Auskeimung oder zum Myzelwachstum notwendig sind, werden nur bei optimalen Temperaturen erreicht. Sind die Temperaturen nicht optimal, findet Auskeimung oder Myzelwachstum erst bei höheren Luftfeuchten statt. Eine Überlagerung der beiden Einflüsse ergibt, in einem Diagramm aufgetragen, Linien gleichen Wachstums (so genannte Isoplethen). Werden Auskeimungszeiten oder Wachstumsraten in

Abhängigkeit von Feuchtigkeit und Temperatur angegeben, so spricht man von Isoplethensystemen. *Bild 2* zeigt exemplarisch die Isoplethen für das Myzelwachstum von Schimmelpilzen der Gattung *Aspergillus*. Die unterste Kurve kennzeichnet die Bedingungen, unter denen kein Wachstum mehr feststellbar ist.

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

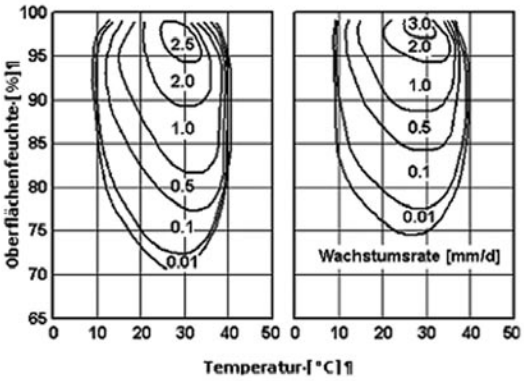


Bild 2: Isoplethensysteme für Myzelwachstum der Schimmelpilze *Aspergillus restrictus* (links) und *Aspergillus versicolor* (rechts) in Abhängigkeit von relativer Oberflächenfeuchte und Temperatur nach Smith et al. (1982). Die Zahlen an den Isoplethen kennzeichnen die Wachstumsraten in Millimeter pro Tag (mm/d).

Einfluss des Nährstoffgehalts:

Der Nährstoffgehalt des Substrats ist neben der Feuchtigkeit und der Temperatur eine weitere wichtige Einflussgröße für Schimmelpilzwachstum. In der Regel sind im Innenraum ausreichend Nährstoffe vorhanden.

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 Isoplethensysteme entwickeln (siehe **Infobox**). Mit Hilfe dieser Isoplethensysteme können für bestimmte Temperaturen und relative Feuchten die Sporenauskeimungszeiten oder das Ausmaß des Myzelwachstum in Abhängigkeit der vorhandenen Nährstoffe geschätzt werden. Die Isoplethen geben Wachstumshinweise, können jedoch nicht alle Bedingungen in der Praxis abbilden.

2.1.3 pH-Wert

Inwieweit ein Substrat von Schimmelpilzen zum Wachstum genutzt werden kann, hängt auch vom pH-Wert ab. Der optimale Wachstumsbereich für Schimmelpilze liegt bei pH-Werten zwischen 5 und 7, insgesamt werden pH-Werte zwischen 2 und 11 von einzelnen Schimmelpilzen toleriert. Die meisten Schimmelpilze wachsen in einem Bereich zwischen pH 3 und 9.

Schimmelpilze können in einem breiten pH-Bereich wachsen. Der optimale Bereich liegt zwischen pH 5 und pH 7.

Tapeten und Anstriche weisen beispielsweise oft einen pH-Wert zwischen 5 (z. B. Raufasertapete) und 8 (z. B. Kunstharz-Dispersionsanstrich) auf. Kalkhaltige Baustoffe, wie zum Beispiel Putzmörtel oder Beton, können pH-Werte von mehr als 12 besitzen. Trotzdem kann auch darauf Schimmelpilzwachstum entstehen, wenn sich z. B. dünne Biofilme auf den Materialien gebildet haben; es kommt nämlich nur auf den pH-Wert des zur Verfügung stehenden Nährbodens an. Dieser Nährboden ist aufgrund von Staubablagerungen etc. in ausreichender Menge auf fast allen Bauteiloberflächen vorhanden.

INFOBOX

Die wechselseitige Abhängigkeit der Faktoren Feuchtigkeit, 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 den Einfluss der Nährstoffe zu berücksichtigen, teilt man die Isoplethensysteme in verschiedene Substratgruppen ein:

Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z. B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme gelten für die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die absolute 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 stets die Substratgruppe I zugrunde gelegt werden.

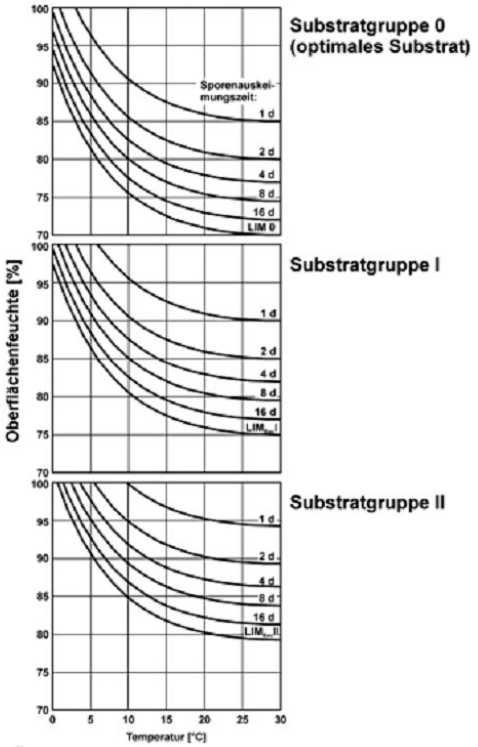


Bild A: Verallgemeinertes Isoplethensystem für die Sporenauskeimung, das für alle in Bauteilen auftretenden Pilze gilt (nach Sedlbauer 2001); Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für Substratgruppe II. Die angegebenen Werte charakterisieren die Zeitdauer, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist. LIM = Lowest Isopleth for Mould = unterste Grenze der Sporenauskeimung

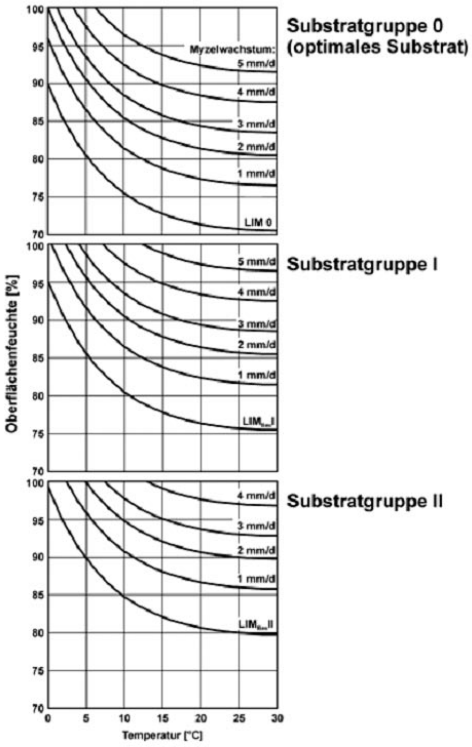


Bild B: Verallgemeinertes Isoplethensystem für das Myzelwachstum, das für alle in Bauteilen auftretenden Pilze gilt (nach Sedlbauer 2001); Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für Substratgruppe II. Die angegebenen Werte in mm/d charakterisieren das zu erwartende Wachstum. LIM bedeutet: Lowest Isopleth for Mould = unterste Wachstumsgrenze

2.2 Bauliche und nutzungsbedingte Einflussgrößen

Grundsätzlich kann Schimmelpilzbildung nur dann auftreten, wenn die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Wachstumsvoraussetzungen erfüllt sind. Feuchtigkeit spielt dabei wie gezeigt die wesentliche Rolle. Die Feuchtigkeit kann aus dem Bauwerk selbst stammen oder vom Raumnutzer eingebracht werden.

Die Einflussgrößen, die für erhöhte Feuchtigkeit im Gebäude verantwortlich sein können, lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Unzureichende Wärmedämmung, geringe Wärmespeicherung;
- Wärmebrücken;
- erhöhte Wärmeübergangswiderstände;
- unzureichende oder unsachgemäße Beheizung;
- erhöhte Feuchteproduktion im Innenraum;
- unzureichendes oder unsachgemäßes Lüften.
- schlechte Feuchtepufferung der Baumaterialien;
- Feuchtigkeit in der Baukonstruktion;

Im Folgenden soll dargestellt werden, in welcher Weise die aufgezählten baulichen und nutzerbedingten Einflussgrößen das Entstehen eines Schimmelpilzbefalls beeinflussen.

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

Als Faustregel kann man sich merken, dass warme Luft – bei gleicher relativer Luftfeuchte – mehr Feuchtigkeit enthält als kalte Luft (siehe Tabelle 1).

Im Winter kann bei niedrigen Außentemperaturen durch Lüften die Raumluft besonders gut getrocknet werden. Die kalte Außenluft wird in der Wohnung erwärmt und nimmt zusätzlich Feuchtigkeit auf, die mit dem Lüften nach außen transportiert wird.
Andererseits kann es an „kalten“ Stellen in der Wohnung durch Abkühlung der Luft kritisch feucht werden. Dies kann zum Beispiel in kühleren Räumen wie Schlafzimmern oder an Wärmebrücken (z. B. Gebäudeecke) der Fall sein.

Tabelle 1: Wassergehalt (absolute Feuchte) in g Wasser/kg trockene Luft* bei verschiedenen Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten (UBA, Schimmelpilz-Leitfaden 2002)

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

* 1 m^3 Luft wiegt ca. 1,2 kg
** Beim Erreichen der maximal aufnehmbaren Wassermenge nennt man die Luft „wasserdampfgesättigt“. Die relative Luftfeuchte beträgt dann 100 %.

Anhand des Zustandsdiagramms von Luft in *Bild 3* lassen sich die an einer kalten Wand ablaufenden Vorgänge genauer erläutern. Dargestellt sind die in Abhängigkeit vom Wassergehalt der Luft (y- Achse) und der Raumlufttemperatur (x-Achse) vorliegenden relativen Raumluftfeuchten (in %).

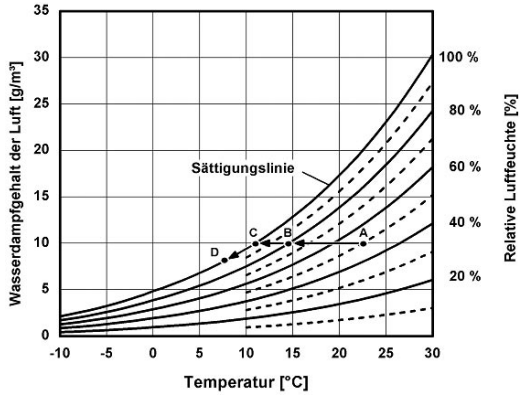


Bild 3: Wasserdampfgehalte der Luft in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte. Weitere Erläuterungen im Text.

Die Luft in einem Raum mit beispielsweise 22 °C und einem Wassergehalt von 10 g/m³ besitzt eine relative Luftfeuchte von 50 % (Punkt A). Ist die Oberfächentemperatur 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 15 °C angenommen), wogegen 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 in Bild 3 dargestellt, parallel zur Abszisse bis zum Punkt B. In Wandnähe liegt somit eine höhere Luftfeuchte von 80 % vor, was ein Schimmelpilzwachstum 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 Tauwasser an der kühlen Oberfläche.

Um zu sehen, ob die Taupunkttemperatur an der Wandoberfläche erreicht oder unterschritten werden kann, sollte die Oberflächentemperatur bei Ortsbegehungen gemessen werden.

INFOBOX

Messung von Oberflächentemperatur und Oberflächenfeuchte

Wird die Oberflächentemperatur an den Wänden gemessen, sollte dies – z. B. mittels PT100®-Messfühler, Infrarot-Thermometer oder Infrarot-Kamera – möglichst an verschiedenen Stellen und bei unterschiedlichen Raumklimasituationen erfolgen, da eine einmalige Messung noch keinen Rückschluss auf eventuell vorhandene Wärmebrücken und andere bauliche Mängel zulässt.

Da die Messung der Oberflächenfeuchte an Innenseiten von Außenwänden in der Regel nicht einfach durchzuführen ist, verfährt man sinnvollerweise wie folgt:

Man ermittelt an einzelnen Stellen die Oberflächentemperatur und bestimmt die relative Raumluftfeuchte und die Raumlufttemperatur. Da der Wasserdampfpartialdruck an der Oberfläche und in der Raumluft der gleiche ist, kann auf die relative Feuchte an der Oberfläche (Oberflächenfeuchte) umgerechnet werden. Dazu kann auch Bild 3 verwendet werden.

Zur Eigenkontrollmessung der relativen Raumluftfeuchte eignen sich einfache Haarhygrometer, die in jedem Baumarkt erhältlich sind. Allerdings sind die damit gemessenen Feuchtewerte nur annähernd genau.

Im Folgenden werden die Einflussgrößen, die für erhöhte Feuchtigkeit im Gebäude verantwortlich sein können, näher erläutert.

2.2.1 Unzureichende Wärmedämmung, geringe Wärmespeicherung

Das Auftreten von Schimmelpilzen an der Innenseite von Außenwänden und -decken hängt von der Oberflächentemperatur und -feuchte ab. Diese werden wiederum beeinflusst vom Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und dem Wärmeübergangswiderstand (R-Wert) sowie von der Raumlufttemperatur und -feuchte. Unter stationären Bedingungen kann die Oberflächentemperatur wie folgt berechnet werden:

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

Θ_{si}	[°C]	Oberflächentemperatur
Θ_i	[°C]	Raumlufttemperatur
Θ_e	[°C]	Außenlufttemperatur
U	[W/(m² K)][1)]	Wärmedurchgangskoeffizient
R_{si}	[(m² K)/W]	Wärmeübergangswiderstand, innen

[1)] Watt pro Quadratmeter und Kelvin

Das Dämmniveau einer Außenwand, das mit Hilfe des U-Wertes charakterisiert wird, beeinflusst maßgeblich die Oberflächentemperatur an der Innenwand und damit die dort vorliegende Oberflächenfeuchte.

Eine schlechte Außenwanddämmung bzw. ein hoher U-Wert bewirkt niedrige Oberflächentemperaturen auf der Wandinnenseite und damit ein erhöhtes Risiko für Tauwasser und Schimmelpilzbefall.

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 auch 2.2.7). Entscheidend für die Vermeidung von Schimmelpilzbefall ist jedoch eine ausreichende Dämmung sowie ein sachgerechtes Lüften und Heizen.

2.2.2 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen in den Umfassungsflächen (Wände, Decken, Fußböden) eines Gebäudes, durch die ein erhöhter Wärmeabfluss nach außen stattfindet. Dies führt zu einer Erniedrigung der raumseitigen Oberflächentemperatur von Bauteilen. Wärmebrücken können durch die geometrischen Verhältnisse bedingt sein (z. B. Ecken, siehe *Bilder 4 und 5*) oder durch die Aneinanderreihung von Baustoffen unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit (z. B. Tragpfeiler in einer Wand, siehe *Bild 4)*.

Die Folgen von Wärmebrücken im Winter sind – neben höheren Energieverlusten – ein Absinken der raumseitigen Oberflächentemperaturen der betroffenen Bauteile, eine Erhöhung der Oberflächenfeuchte und die Gefahr einer Schimmelpilzbildung.

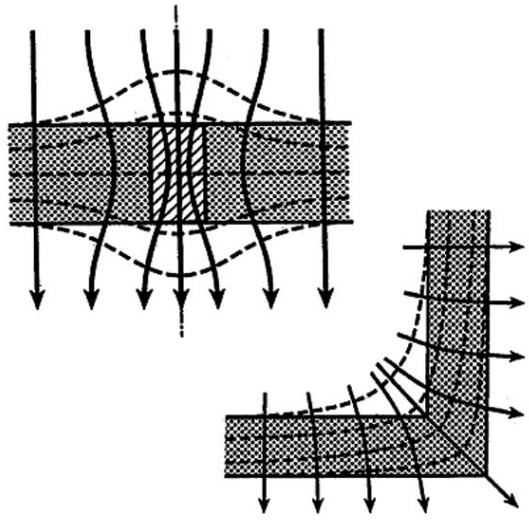


Bild 4: Schematische Darstellung zweier Wärmebrücken mit Angabe der Wärmeströme (Adiabaten; durchgezogene Linien) und Isothermen (gestrichelte Linien). Wärmebrücken zeichnen sich physikalisch durch verstärkten Wärmefluss mit Verdichtung der Adiabaten und Wölbung der Isothermen aus (nach Gertis et al. 2001)

2.2.3 Erhöhte Wärmeübergangswiderstände

Möbel, Gardinen und dergleichen stellen kaum einen Widerstand für Raumluftfeuchtigkeit dar, d. h. die Raumluftfeuchte dringt bis hinter die Möbel an die Wände. Gleichzeitig gelangt die Wärme im Raum durch verringerten konvektiven und strahlungsbedingten Wärmeübergang nur unzureichend hinter Möbel und Gardinen. Dadurch wird entlang solcher Wandbereiche die relative Raumluftfeuchte erhöht (siehe *Bild 5*) und es kann zu Schimmelpilzwachstum kommen.

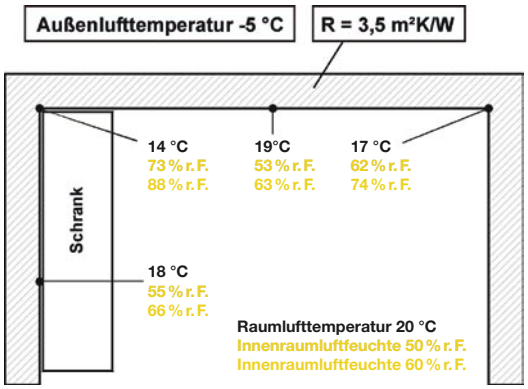


Bild 5: Darstellung der Auswirkung von Außenecken (Wärmebrücken) und Möblierungen auf die Wandtemperatur und die relative Feuchte an der Oberfläche (Oberflächenfeuchte) der Innenwand, bei zwei ausgewählten Raumluftfeuchten (50 % und 60 %). Durch den vorgebauten Schrank wird die Wandtemperatur in diesem Bereich nochmals gegenüber der nicht verstellten Raumecke erniedrigt.

Richtig Einrichten

(Diese Tipps sind nicht dazu gedacht, Baufehler zu kompensieren. Baufehler müssen entsprechend Kapitel 5 behoben werden)

Bei der Anordnung von Möbeln an die Vermeidung von Schimmelpilzwachstum denken.

Bei älteren, weniger gedämmten Wohngebäuden und immer dann, wenn die Wandoberflächentemperaturen auf der Raumseite niedrig sind (die Wand fühlt sich sehr kalt an), empfiehlt es sich, an die Außenwände und vor allem in Außenwandecken möglichst keine großen Möbel (z. B. Schrankwände) zu stellen, damit es dahinter nicht zu erhöhter Luftfeuchtigkeit kommt.
Werden dennoch Möbel aufgestellt, sollte ein Abstand von 5, besser 10 Zentimeter zwischen den Möbeln und der Außenwand eingehalten werden. Sinnvoll kann es auch sein, Möbelsockel und obere Wandanschlussleisten mit Schlitzen bzw. Lüftungsgittern zu versehen, damit die Luft dahinter senkrecht zirkulieren kann.

Auch bei Wandverkleidungen und Vorhängen auf eine „Hinterlüftung“ achten.

Vorhänge und Gardinen sollten nicht ganz bis zum Fußboden reichen und auch oben einen Luftspalt besitzen. Hinter einer Wandverkleidung sind Schlitze zur senkrechten Belüftung empfehlenswert.

2.2.4 Unzureichende oder unsachgemäße Beheizung

Eine Erhöhung der Raumlufttemperatur durch Heizen bewirkt – bei gleichem absoluten Wassergehalt der Luft – eine Verringerung der relativen Raumluftfeuchte (siehe Bild 3). Außerdem wird durch eine Beheizung des Raumes auch die Oberflächentemperatur der Innenwände erhöht. Beide Effekte tragen zu einer Verringerung der Gefahr eines Schimmelpilzwachstums

bei. Werden einzelne Räume wenig oder gar nicht beheizt, erhöht sich im Umkehrschluss die Gefahr von Schimmelpilzbildung. Dies trifft besonders für Räume zu, die – wie z. B. Schlafzimmer – intensiv d. h. über viele Stunden hinweg genutzt werden. Dabei wird viel Feuchtigkeit produziert; es erhöht sich die Luftfeuchtigkeit und bei kalten Wänden die Gefahr der Tauwasserbildung (siehe 2.2.5).

Richtig Heizen

Alle Räume ausreichend heizen.

Kalte Raumluft kann weniger Wasser aufnehmen als wärmere!

Schlafräume:
Pro Nacht gibt jede Person etwa ¼ Liter Wasser an die Raumluft ab. Deshalb sollte die Raumlufttemperatur in Schlafräumen (sofern die Fenster nicht die ganze Nacht geöffnet sind) möglichst nicht unter 16 °C sinken (siehe *Bild 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 getragen. Wenn sich die Luft dann abkühlt, steigt die relative Raumluftfeuchte und es besteht Gefahr, dass Schimmelpilze wachsen.

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 schon mehrfach erwähnte Zusammenhang mit der Raumluftfeuchte beachtet werden. Beim Vorliegen erhöhter Raumluftfeuchten sollte die Raumlufttemperatur nur abgesenkt werden, wenn ausreichend gelüftet wurde, um die Raumluft zu trocknen.

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.

2.2.5 Erhöhte Feuchteproduktion im Innenraum

Die Oberflächenfeuchte an Innenoberflächen von Außenbauteilen hängt nicht nur von der Raumluftfeuchte, sondern auch von der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Oberfläche ab. Diese wird maßgeblich von der Feuchteproduktion im Wohnraum beeinflusst. Eine hohe Feuchteproduktion führt zu höheren Raumluftfeuchten und damit auch zu höheren Oberflächenfeuchten.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die bei verschiedenen Tätigkeiten und Ausstattungen in Innenräumen anfallenden

Feuchtemengen. Dabei handelt es sich um Erfahrungswerte; im Einzelfall können die Feuchteabgaben auch nach oben und nach unten abweichen.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Feuchteabgabe durch Aktivitäten der Raumnutzer oder Einrichtungsgegenstände in Räumen bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C.

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

[1)] In früheren Publikationen wurden höhere Werte angegeben. Umfangreiche neuere Untersuchungen haben geringere Feuchteabgaben von Pflanzen in Innenräumen ergeben.

[2)] Gramm pro Quadratmeter und Stunde, je nach Umgebungsbedingungen.

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

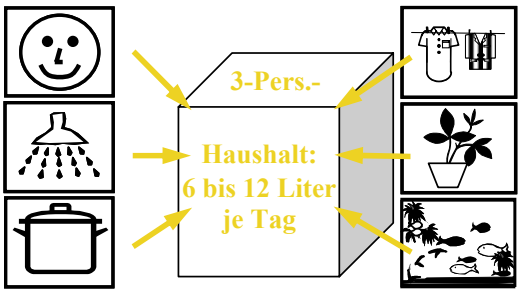


Bild 6: Feuchtequellen in Wohnungen

Weniger Feuchtigkeit produzieren!

Besonders bei Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit zusätzliche Feuchtequellen wie Wäschetrockner, viele Zimmerpflanzen oder einen Zimmerspringbrunnen vermeiden.
Bei erhöhter Feuchteproduktion im Innenraum muss die Feuchtigkeit durch geeignete Lüftungsmaßnahmen entfernt werden (siehe 2.4).

Es verwundert nicht, dass Schimmelpilzbefall oft dann auftreten kann, wenn in alten Gebäuden zwar die Fenster erneuert wurden, aber keine wärmetechnische Fassadensanierung erfolgte. Dabei kommt es durch die Reduktion des Luftwechsels aufgrund höherer Dichtheit der Fenster zu erhöhten Raumluftfeuchten. Dies wird dadurch verstärkt, dass das Lüftungsverhalten (siehe 2.2.6 und 2.4) nicht verändert wird. Gleichzeitig ergeben sich durch die fehlende Fassadendämmung weiterhin niedrige Oberflächentemperaturen an den Innenseiten der Außenwände. Die Kombination von hohen Raumluftfeuchten und kalten Außenwänden bietet eine ideale Voraussetzung für Schimmelpilzwachstum (siehe 2.2).

In Deutschland treten 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 Raumluftfeuchte nicht über die im Winter üblichen Werte (30-55 %, siehe *Bild 7*) steigt, da ansonsten wieder das Schimmelpilzrisiko steigt. Die Luftbefeuchter sollen regelmäßig gereinigt werden.

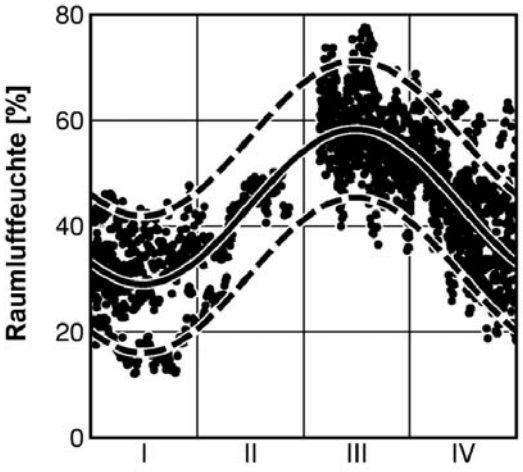


Bild 7: Typischer Jahresgang der relativen Raumluftfeuchte in Gebäuden in Deutschland. Die durchgezogene Linie ist eine an die Messpunkte angepasste Sinuskurve. Die gestrichelten Linien stellen die Streubreite der Messpunkte dar: zwischen diesen beiden Linien liegen 90 % der Messpunkte.

2.2.6 Unzureichendes oder unsachgemäßes Lüften

Die Lüftung stellt das wirksamste Mittel dar, um die vom Raumnutzer selbst produzierte Feuchtigkeit aus der Wohnung zu entfernen (siehe 2.4).

Vor allem im Winter enthält die Außenluft auch bei hoher relativer Luftfeuchte eine geringe absolute Feuchte (siehe Tab.1). Durch Lüften kann man im Winter die Feuchtigkeit im Innenraum daher gut verringern. Charakteristische Größe für den Luftwechsel bildet

die **Luftwechselzahl**[2], welche die Luftmenge, bezogen auf das Raumvolumen, angibt, die pro Stunde ausgetauscht und somit durch Außenluft ersetzt wird.

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

Vor allem nach kurzen Feuchtelastspitzen (Duschen, Kochen etc.) muss durch Fensteröffnen intensiv gelüftet werden, um eine Anreicherung von Feuchtigkeit zu vermeiden.

Ist keine Möglichkeit der Fensterlüftung im Bad vorhanden, sollte regelmäßig überprüft werden, ob die anstelle dessen eingebaute Schachtlüftung einwandfrei funktioniert (es muss eine Sogwirkung vorhanden sein).

Ein Luftaustausch vom Innenraum nach außen über baulich intakte Wände, wie fälschlicherweise manchmal angenommen, gibt es nicht. Der im diesem Zusammenhang gern verwendete Begriff der „**atmenden**“ **Wände** ist lediglich im Zusammenhang mit der Feuchteregulation (Feuchtepufferung, siehe 2.2.7) zu sehen.

2.2.7 Schlechte Feuchtepufferung der Baumaterialien

Bei der Feuchteregulation oder Feuchtepufferung nimmt die Wand durch Sorption je nach Veränderung des Innenraumklimas entweder Wasser auf oder gibt es an die Raumluft ab. Massivbauwände haben meist eine stärkere Pufferwirkung als Leichtbaukonstruktionen. Je nach Raumgröße und -abgeschlossenheit kann dieser Puffer-Vorgang messbar die Klimaverhältnisse im Raum beeinflussen. Bei einer Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte nimmt der Baustoff einen Teil der Raumluftfeuchte auf und leitet sie durch Sorption in die oberflächennahen Schichten des Materials hinein. Bei einer Verringerung der Raumluftfeuchte wird absorbierte Feuchtigkeit an die Raumluft abgegeben, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Die Geschwindigkeit des Ausgleichs für den Sorptionsfeuchtebereich hängt stark von der Porosität sowie der Ab- und Desorption des verwendeten Baustoffes ab.

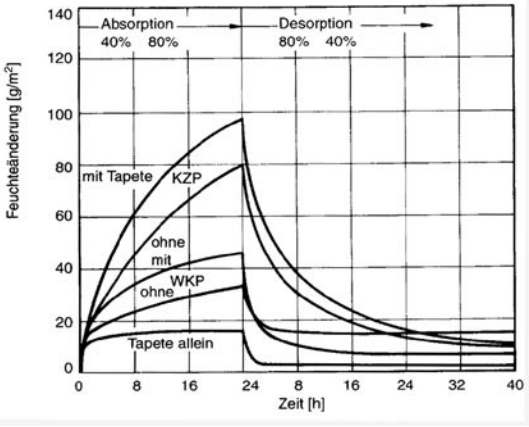
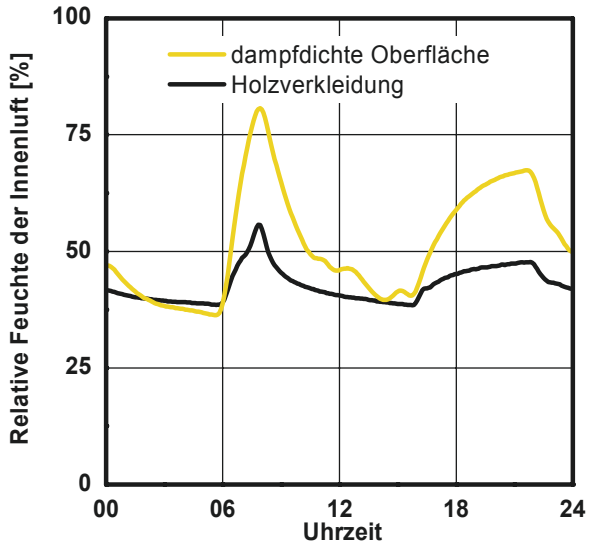


Bild 8: Wasserdampfabsorption von Kalkzementputz (KZP) und Weißkalkputz (WKP) ohne und mit Raufasertapete sowie von der Tapete allein (aufgeklebt auf Metallplatte) bei Änderung der relativen Luftfeuchte von 40 % und 80 % und anschließende Desorption bei Absenken der Luftfeuchte von 80 % auf 40 % (Messung an Proben im Klimaraum)

In *Bild 8* ist die Wasserdampfabsorption unterschiedlicher Oberflächenmaterialien bei Änderung der relativen Luftfeuchte von 40 % auf 80 % und anschließend die Desorption bei Absenken der Luftfeuchte von 80 % auf 40 % dargestellt. Es wird ersichtlich, dass mit Ausnahme der extrem dünnen Tapete trotz geringer Dicken keines der Materialien nach 24 Stunden sein Sorptionsgleichgewicht (kein weiterer Anstieg der Kurve) erreicht hat. In einem normalen Haushalt gibt es keine konstant hohe Feuchtigkeit, sondern es treten mehrmals täglich – aufgrund des morgendlichen Duschens, des mittäglichen Kochens oder des Wäschewaschens – kurze Feuchtespitzen auf. Daher bleibt die Pufferwirkung oft auf eine Tiefe von wenigen Millimetern des Bauteiles beschränkt.

NFOBOX

Beispiel für das Feuchtepufferungsverhalten von Baumaterialien: Einfluss einer Holzverkleidung



Aus dem im Bild dargestellten Vergleich des gemessenen täglichen Luftfeuchteverlaufs in einem Testraum mit dampfdichter Oberfläche und mit Holzverkleidung wird die feuchtepuffernde Wirkung sorptiver Wandmaterialien deutlich. Bei diesen Untersuchungen wurde in etwa die Feuchteproduktion einer Familie mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern in einer 65 m² großen Wohnung nachgestellt. Das bedeutet, dass zwischen 6 und 8 Uhr eine besonders hohe Feuchteproduktion durch Kochen und Duschen stattfindet. Die Bewohner verlassen anschließend das Haus und kehren um 16 Uhr zurück. Die ab diesem Zeitpunkt erhöhte Feuchtelast entsteht erneut durch Waschen, Kochen und durch die Grundfeuchteproduktion der Bewohner. Bei Holzverkleidung wird die Feuchtigkeit in der Raumluft besser abgepuffert als bei einer dampfdichten Wandverkleidung, da Holz eine gute Feuchteaufnahmefähigkeit besitzt.

Neben den Wandmaterialien ist in normal genutzten Wohnräumen eine ganze Reihe zusätzlicher sorptiver Stoffe vorhanden (Polstermöbel, Teppiche, Kleidung, Bücher, Möbel etc.).
Die feuchtepuffernde Wirkung all dieser Materialien zusammen führt zu einer Verringerung der Raumluftfeuchteschwankungen, was der Behaglichkeit zugute kommen kann. Inwiefern dies auch einen Einfluss auf das Schimmelpilzrisiko hat, ist nicht abschließend geklärt. Werden durch die sorptive Wirkung der Wände Feuchtespitzen abgepuffert, die ohne Pufferung zu einem Tauwasserausfall geführt hätten, kann Schimmelpilzbefall verringert werden.

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

2.2.8 Feuchtigkeit in der Baukonstruktion

Feuchtigkeit gelangt auf verschiedenen Wegen in die Baukonstruktion. Durch Schlagregen kann Feuchtigkeit über die Außenwände, sofern diese nicht ausreichend gegenüber Regenwassereintritt geschützt sind, in das Bauwerk gelangen. Typische Bauschadensfälle, bei denen Feuchtigkeit in das Gebäude gelangt, sind undichte Fensterlaibungen und -rahmen, Undichtigkeiten im Dachbereich, aufsteigende Feuchtigkeit über undichte Fundamente und Kellerwände. Daneben spielt Wassereintritt durch Leitungswasserschäden, geplatzte Waschmaschinenschläuche o.ä. sowie Neubaufeuchte eine Rolle.

Bei allen Feuchteschadensfällen in der Baukonstruktion ist es erforderlich, die Ursachen des Feuchteeintritts umgehend zu beseitigen und die betroffenen Gebäudebereiche intensiv zu trocknen, um das Entstehen von sichtbaren und verdeckten Schimmelpilzschäden zu vermeiden (siehe auch Kapitel 5).

2.3 Bestehende Normvorgaben

Normative Hinweise zur Schimmelpilzproblematik in Gebäuden findet man in den neuen Regelwerken zum Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau. Ausgearbeitete, speziell auf die Schimmelpilzproblematik ausgerichtete Normen gibt es derzeit in Deutschland noch nicht. Es existiert jedoch ein entsprechender DIN-Arbeitskreis, der einen weiteren Teil zur DIN 4108 mit dem Thema „Schimmel“ vorbereitet. Im Folgenden werden einschlägige Normen bzw. Richtlinien hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung kurz vorgestellt. Tabelle 3 zeigt dazu eine Zusammenstellung mit Bewertung.

Um Holzbauteile vor tierischen und pflanzlichen Schädlingen – Insekten und Pilze – oder zu hoher Feuchtigkeit zu schützen, gibt DIN 68 800 Anforderungen an den vorbeugenden baulichen und chemischen Holzschutz vor.

Danach wird eine Holzfeuchte kleiner 20 Massenprozent (bezogen auf das Trockengewicht) gefordert. Bei eingebautem, baufeuchtem Holz mit mehr als 20 Massenprozent muss die überschüssige Feuchtigkeit innerhalb eines Zeitraums von 6 Monaten abgeführt sein.

Der neue Teil 2 der DIN 4108 schreibt gegenüber der Fassung von 1981 erhöhte Werte für den Mindest-Wärmedurchlasswiderstand (R-Wert bei Wänden und Dächern mindestens 1,20 m^2K/W) vor und beinhaltet erstmals Anforderungen bzgl. Schimmelpilzbildung. Bei Einhaltung der neuen Mindestwerte des Wärmeschutzes werden bei Raumlufttemperaturen und relativen Raumluftfeuchten, wie sie sich in nicht klimatisier-

ten Aufenthaltsräumen bei üblicher Nutzung einstellen, Schäden durch Tauwasser- bzw. Schimmelpilzbildung größtenteils vermieden.

Tabelle 3: Zusammenstellung und Bewertung vorhandener Angaben in deutschen Normen bzw. Richtlinien, die sich auf die Vermeidung von Schimmelpilzbefall beziehen.

Quelle	Methodischer Ansatz	Zielsetzung	Bemerkungen
alte DIN 4108	Teil 2: Mindestwärmeschutz	Vermeidung von Oberflächentauwasser	nicht direkt verwendbar zur Beurteilung der Schimmelpilzbildung [1]
	Teile 3 und 5: Glaser-Verfahren	Bewertung von Tauwasser im Bauteilquerschnitt	
neue DIN 4108	Teil 2: Mindestwärmeschutz	Vermeidung von Tauwasser und Schimmelpilzbildung	als Kriterium für Schimmelpilzbildung wird eine relative Oberflächenfeuchte von 80 % genannt
	Teil 3: klimabedingter Feuchteschutz	Bewertung von Tauwasser im Bauteilquerschnitt	Verweis auf DIN 4108-2
Entwurf DIN 4108-[2]	Angabe von kritischen Feuchten	Vermeidung von Schimmelpilzen	als Kriterium für Schimmelpilzbildung wird eine relative Oberflächenfeuchte von 80 % genannt
DIN EN ISO 13788	Oberflächentemperaturen, kritische Oberflächenfeuchte	Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren	als Kriterium für Schimmelpilzbildung wird eine relative Oberflächenfeuchte von 80 % genannt
DIN 68 800	Begrenzung der Holzfeuchte	Vermeidung von mikrobiellem Bewuchs	Holzfeuchte-Grenzwert von 20 M.-% bezieht sich auf holzzerstörende Pilze
Anhang 14 DIN 68800	Angabe von Temperatur und Feuchtigkeit	Vermeidung von Schimmelpilzen	nur überschlägig verwendbar

[1] Schimmelpilzbildung ist auch ohne Tauwasser möglich

[2] Neuentwurf DIN 4108, Teil „Schimmelpilze“

2.4 Lüftungskonzepte und -techniken

Feuchteprobleme im Innenraum können wie gezeigt zu Schimmelpilzwachstum führen. Es muss regelmäßig gelüftet werden, um die Feuchtigkeit und luftgetragene Verunreinigung aus der Wohnung zu entfernen.

Zur Reduktion der Feuchtigkeit und damit zur Vorbeugung von Schimmelpilzbefall spielt das Lüften eine entscheidende Rolle.

Im Folgenden wird daher näher auf die verschiedenen Lüftungsmöglichkeiten eingegangen.

2.4.1 Freie Lüftung

Das „klassische“ und in Deutschland nach wie vor dominierende Lüftungsprinzip ist die freie Lüftung (Bild 9). Dabei werden zwei Effekte kombiniert: Fensterlüftung und Luftaustausch über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle.

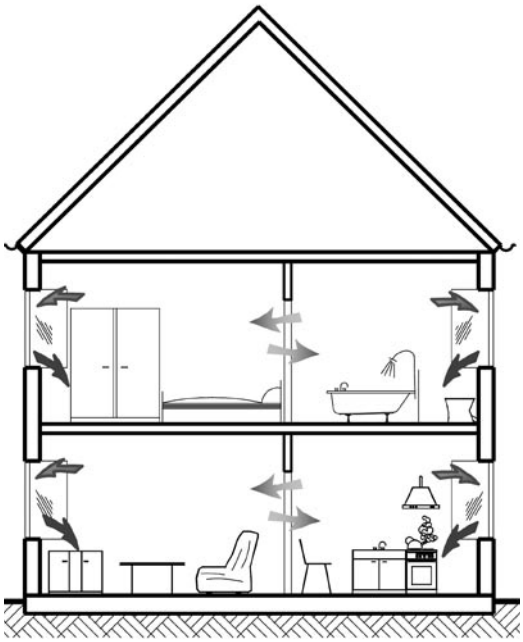


Bild 9: Freie Lüftung – Fensterlüftung (▭ = Abluft; ▭ = Zuluft)

Bei der Fensterlüftung unterscheidet man zwischen **Stoßlüftung** (bei weit geöffneten Fenstern) und **Spaltlüftung** (bei Fenstern in Kippstellung). Bei Stoßlüftung erfolgt ein wesentlich intensiverer Luftaustausch als bei Spaltlüftung. Ein Luftaustausch geschieht außerdem über Undichtheiten in der Gebäudehülle wie z. B. über Fensterfugen und -rahmen, der jedoch zumindest bei modernen Baukonstruktionen nahezu vernachlässigt werden kann. Entscheidend für die Wirksamkeit der freien Lüftung ist das Wetter. Wenn es einen Temperaturunterschied zwischen innen und außen gibt oder Wind weht, findet ein Luftaustausch statt.

Grundsätzlich kann über eine ausreichende Fensterlüftung einer Schimmelpilzbildung vorgebeugt werden. Diese Möglichkeit unterliegt jedoch gewissen Einschränkungen, wenn z. B. bei Lärmbelästigung an verkehrsreichen Straßen eine ausreichende nächtliche Fensterlüftung im Schlafzimmer nicht möglich ist.

Dann muss die Feuchtigkeit am nächsten Tag durch Lüften abgeführt werden, um ein Schimmelpilzwachstum zu vermeiden. In einer Untersuchung (Richter et al., 1999) wurden unterschiedliche Lüftungsmöglichkeiten miteinander verglichen, mit folgendem Ergebnis:
Am effektivsten kann die Feuchtigkeit aus dem Schlafzimmer durch mehrmaliges kurzes (5-10 min, je nach Zahl und Anordnung der Fenster), intensives Lüften im Laufe des Tages entfernt werden. Wird nur morgens nach dem Aufstehen einmal gelüftet, sollte je nach Jahreszeit, Raumgröße, Raumlufttemperatur etc. ca. 30-40 min gelüftet werden. Ungünstig ist es, erst am Abend zu lüften. Dann muss sehr lange gelüftet werden (1 Stunde und länger), da die Feuchtigkeit sich inzwischen in den Wänden und Möbeln festgesetzt hat und nur langsam entweicht.

Diese Zeitangaben sind lediglich als Richtgrößen anzusehen, die im Einzelfall – je nach

Raumgröße und Nutzungssituation – nach unten und oben variieren können. Sie sollen vor allem die unterschiedliche Effektivität der drei Lüftungsmöglichkeiten (mehrmals am Tage, morgens, abends) vor Augen führen.

Aufgrund der heutigen Lebensgewohnheiten und beruflich bedingter Abwesenheiten der Wohnungsnutzer sind derartige Lüftungsmaßnahmen in vielen Fällen nicht realistisch. Bei ungenügender Fensterlüftung kann es – insbesondere bei neuen oder sanierten d. h luftdichteren Gebäuden – zu erhöhten Raumluftfeuchten und damit zu Schimmelpilzwachstum kommen. Um auch in solchen Situationen eine ausreichende Lüftung sicherzustellen und Schimmelpilzwachstum vorzubeugen, können die nachstehend angeführten **nutzerunabhängigen Lösungen** von Vorteil sein:

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass ein dauerhaftes Lüften z. B. über Kippfenster aufgrund der damit verbundenen hohen Heizkosten nicht zu empfehlen ist. Auch von der vermeintlichen Verbesserung der Lüftungssituation durch das Entfernen von Lippendichtungen in neueren, dichten Fenstern ist abzuraten.

Ein ausreichendes, nutzerunabhängiges Lüften kann durch zusätzlich im Gebäude installierte Lüftungselemente erreicht werden. Eine große Bedeutung haben dabei in der Außenwand oder im Fensterrahmen installierte **Außenluftdurchlässe** (kurz „**ALD**“). Durch diese ALD kann die Luft gezielt in die Räume hinein- bzw. herausströmen. Zukünftig nach der Norm DIN EN 13141 geprüfte ALD verfügen über eine Windsicherung, die das Risiko von Zugluft wesentlich vermindert. Besonders effektiv sind solche ALD in Verbindung mit einer Abluftanlage (siehe 2.4.2 und Bild 10).

Heute nur noch selten zum Einsatz kommt die – nicht mechanisch unterstützte – **Schachtlüftung**. Mit einem über das Dach führenden Lüftungsschacht (ohne Ventilator) werden Bäder und Küchen entlüftet. Oft wird dabei allerdings im Winter zu viel und im Sommer zu wenig Luft ausgetauscht.

Wirkungsvoller, aber auch aufwändiger, sind die nachstehend beschriebenen mechanischen Lüftungskonzepte.

2.4.2 Mechanische Lüftung

Bei der ventilatorgestützten oder mechanischen Lüftung unterscheidet man verschiedene Systeme (siehe 2.4.2.1-2.4.2.3).

2.4.2.1 Abluftanlagen

Die in *Bild 10* dargestellten Abluftanlagen sind dadurch gekennzeichnet, dass Raumluft mit „schlechter“ Luftqualität aus den am meisten belasteten „Ablufträumen“ (Küche, Bad, WC) abgesaugt und über einen Luftkanal nach außen (meistens über das Dach) transportiert wird.

Wenn in Küche und Bad Luft aus der Wohnung gesaugt wird, muss auch Luft in die Wohnung hineinströmen können. Bei älteren, undichten Gebäuden strömt die Außenluft über die Undichtheiten in das Gebäude nach. Bei neuen oder sanierten, also luftdichteren Gebäuden, ist der Einbau von Außenluftdurchlässen (ALD) zur Luftnachströmung zu empfehlen.

Außenluftdurchlässe (ALD) bieten in Verbindung mit einer mechanischen Abluftanlage eine gute Möglichkeit zur zielgerichteten Lüftung.

Der Betrieb der Abluftanlagen erfolgt am einfachsten durch Kopplung mit dem Lichtschalter, z. B. bei Bädern ohne Fenster. Besser ist es, wenn ein gewisser Luftwechsel ständig und unabhängig von der Anwesenheit von Personen als Grundlüftung erfolgt.

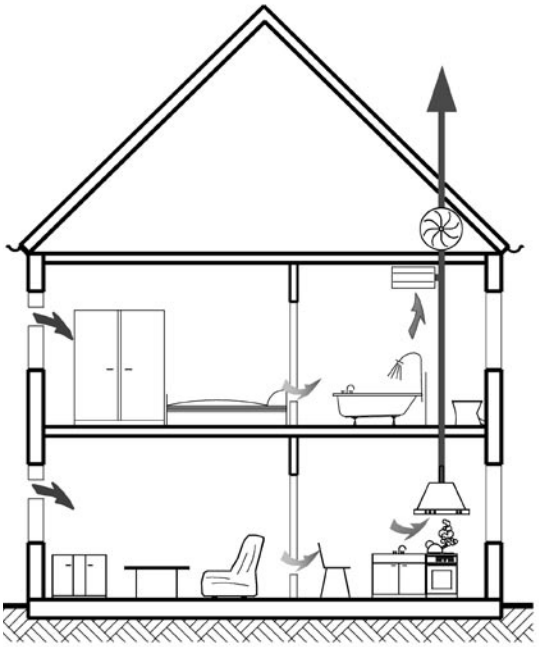


Bild 10: Ventilatorgestützte Lüftung: ALD und Abluftanlage (■ = Abluft; ■ = Zuluft)

Im Küchenbereich gelten zusätzliche Erfordernisse: Die wegen der oft fetthaltigen „Abluft“ vor der Dunstabzugseinheit eingesetzten Filter müssen regelmäßig gesäubert oder ausgetauscht werden. Nicht immer erfolgt der Filterwechsel durch den Vermieter im Rahmen der Wartung der Lüftungsanlage. Oft sind die Mieter selbst dafür verantwortlich!

2.4.2.2 Zu- und Abluftanlagen

Zu- und Abluftanlagen bilden die zweite Gruppe ventilatorgestützter Lüftungssysteme (*Bild 11*). Wie bei den Abluftanlagen wird mit einem Ventilator Raumluft aus Küche, Bad und WC abgesaugt. Die Zuluft wird in einer zentralen Zuluftanlage mit einem zweiten Ventilator über Luftkanäle in die Wohnung geleitet.

Bei fast allen Zu- und Abluftanlagen erfolgt während der Heizperiode eine Wärmerückgewinnung. Bei Zu- und Abluftanlagen kann üblicherweise der Luftaustausch in mehreren Stufen eingestellt werden und wird z. B. über eine Zeitschaltautomatik gesteuert. Wie bei den Abluftanlagen gilt auch hier, dass rund um die Uhr und nutzerunabhängig eine Grundlüftung erfolgen sollte.

Zu- und Abluftanlagen verbinden eine steuerbare, bedarfsgerechte Lüftung mit der Möglichkeit der Wärmerückgewinnung.

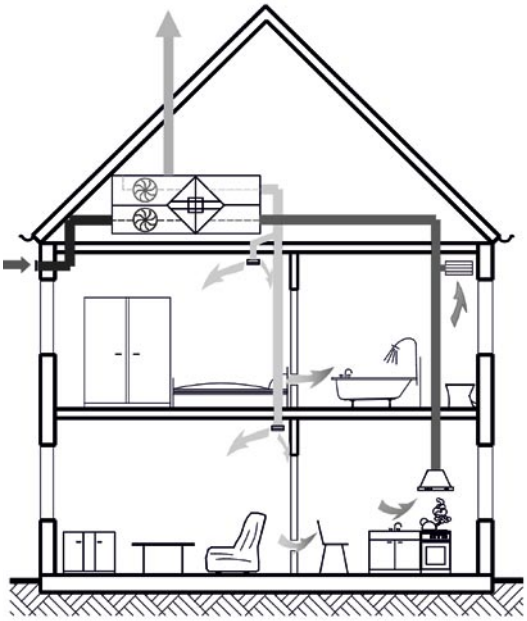


Bild 11: Ventilatorgestützte Lüftung: Zu- und Abluftanlagen (■ und ■ = Abluft; ■ und ■ = Zuluft)

Aufwändigere Lüftungssysteme, die außer einer geregelten Be- und Entlüftung auch eine Befeuchtung – im Sinne von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen, siehe VDI 6022) – der zugeführten Luft ermöglichen, sind in Wohnungen im Allgemeinen überflüssig. Auf solche Anlagen wird in diesem Leitfaden daher nicht näher eingegangen.

2.4.2.3 Dezentrale Lüftungsgeräte

Mit dezentralen Lüftungsgeräten (*Bild 12*) können einzelne Räume belüftet werden. Diese Geräte werden bevorzugt an der Außenwand neben dem Fenster oder im Bereich der Fensterbank montiert. Eine andere Variante besteht in der Kombination des Lüftungsgerätes mit dem Heizkörper unter dem Fenster. Abgesehen von einigen Sonderlösungen handelt es sich um Zu- und Abluftgeräte. Wie bei der zentralen Zu- und Abluftanlage ist der Einsatz eines Wärmeüberträgers sinnvoll.

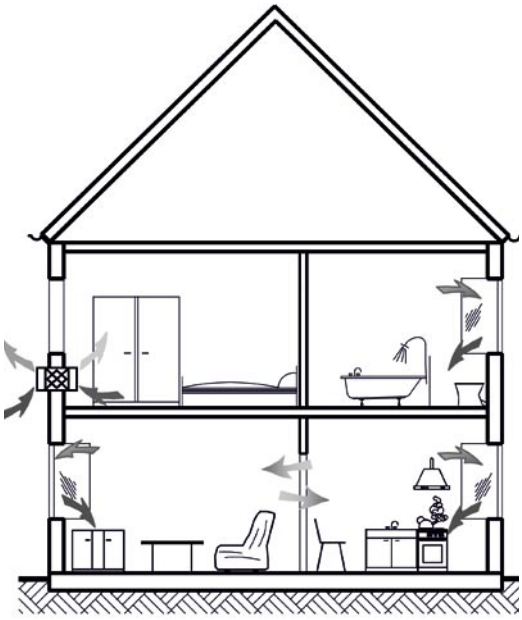


Bild 12: Ventilatorgestützte Lüftung: Dezentrales Lüftungsgerät (■ und ■ = Abluft; ■ und ■ = Zuluft)

Für dezentrale Lösungen sind keine Lüftungskanäle erforderlich. Die Lüftung lässt sich gut – oft auch mit Zeitprogramm – an die Raumnutzung anpassen. Besonders wichtig sind leise Ventilatoren, da besonders in den Schlafräumen Lüftungsgeräusche zurecht als störend empfunden werden.

Für jedes Lüftungsgerät sind eine Zuluft- und eine Abluftöffnung in der Außenwand erforderlich. Das Aussehen der Gebäudefassade wird dadurch wesentlich beeinflusst. Besonders bei denkmalgeschützten Gebäuden erschweren architektonische Bedenken oft den Einbau.

2.4.2.4 Wartung

Zu- und Abluftanlagen sollten etwa einmal im Jahr gereinigt und kontrolliert werden, um eine Verschmutzung und Verkeimung des Systems zu vermeiden. Zu- und Abluftfilter sind regelmäßig zu wechseln.

Auch bei dezentralen Lüftungsgeräten sind ein regelmäßiger Filterwechsel und Wartungen erforderlich.

Werden zentrale Lüftungsanlagen installiert, ist die sorgfältige Ausführung beim Bau und die einwandfreie Funktion unmittelbar nach der Installation zu überprüfen.

Im Einzelnen müssen die Anforderungen an Dimensionierung, Funktion und Schallschutz kontrolliert und protokolliert werden. Detaillierte Hinweise hierzu finden sich in der DIN 1946 – Teil 6 sowie in der VDI-Richtlinie Nr. 2079.

Zur Instandhaltung gehört auch eine regelmäßige Wartung und Kontrolle während des Gebrauchs.

Dafür sind folgende Punkte wichtig:

- gute Zugänglichkeit
- vorhandene Revisionsöffnungen
- leichte (De)montierbarkeit
- optische Anzeige für Filterwechsel.

INFOBOX – RICHTIG LÜFTEN

Räume abhängig von deren Funktion und Nutzung lüften.
Beim Fensterlüften die Raumluftfeuchte und Geruchsbelastung beachten.

Als Grundregel gilt, dass Feuchtigkeit und Schadstoffe möglichst am Entstehungsort und während oder unmittelbar nach ihrer Entstehung durch Lüften entfernt werden sollten. Im Einzelnen wird empfohlen:

Freie Lüftung:

Schlafräume:
Fenster – wenn möglich und gewünscht – nachts angekippt (oder ganz geöffnet) halten. Das bringt natürlich den größten Luftaustausch. Allerdings ist das, insbesondere im Winter, nicht jedermanns Sache. Ansonsten sollte nach dem Aufstehen eine intensive Stoßlüftung mit weit geöffnetem Fenster erfolgen.
Siehe auch Infobox „Richtig Heizen“ auf Seite 17 und 2.4.1.

Wohnräume:
Auch im Wohnzimmer ist regelmäßiges Lüften erforderlich, um die Feuchtigkeit zu entfernen. Befinden sich im Wohnzimmer sehr viele Pflanzen oder andere Feuchtequellen (Wäsche, Zimmerspringbrunnen), sollten Sie besonderen Wert auf regelmäßiges Lüften legen. Spätestens wenn die Luftqualität als „schlecht“ empfunden wird oder Wassertropfen an den Fensterscheiben zu beobachten sind, sollte eine Stoßlüftung erfolgen.

Küche / Bad: In diesen Räumen kann in kurzer Zeit sehr viel Feuchtigkeit anfallen (Duschen, Baden, Essenkochen). Diese „Feuchtespitzen“ sollten unmittelbar durch intensive Fensterlüftung entfernt werden. Im Bad sollte, insbesondere bei eingeschränkter Lüftungsmöglichkeit, nach dem Duschen das Wasser von Wänden und Boden entfernt werden. Textile Vorhänge sollten im Bad vermieden werden.

Kellerräume: In Kellerräumen weisen die Außenwände oftmals nur niedrige Oberflächentemperaturen zur Raumseite hin auf. In solchen Räumen kann es im Sommer, wenn warme Luft in den Keller gelangt, zu einem Niederschlag von Luftfeuchtigkeit an der kalten Kellerwand und zu Schimmelpilzwachstum kommen. In den Sommermonaten sollte in Kellerräumen daher nicht am Tage, sondern vorzugsweise nachts bzw. in den frühen Morgenstunden gelüftet werden. Selbstverständlich ist auch im Winter in Kellerräumen eine verstärkte Lüftung sinnvoll; im Winter kann sie zu jeder Tageszeit erfolgen.

Insbesondere bei allen vor dem 2. Weltkrieg gebauten Gebäuden, aber auch bei vielen Nachkriegsbauten fehlt eine Abdichtung der Keller und es kommt daher oft zu einer Durchfeuchtung. In solchen Kellern sollten keine Gegenstände des täglichen Bedarfs, die empfindlich gegen Schimmelpilzbefall sind, gelagert werden.

Kellerräume, die zur dauerhaften Nutzung (Wohnzwecke o.ä.) vorgesehen sind, sollten beheizbar sein und über eine Fensterlüftungsmöglichkeit verfügen.

Beim Stoßlüften auf die Innentüren achten.

Beim Stoßlüften auch die Innentüren offen halten. Der Luftwechsel wird dann wesentlich größer, vor allem wenn Fenster an gegenüberliegenden Fassaden geöffnet sind (Durchzugslüftung).

Zur Entfernung der „Feuchtespitzen“ aus Bad oder Küche durch Lüften ist es jedoch sinnvoll, die Bad- bzw. Küchentür zu schließen, da sich sonst Feuchtigkeit und Gerüche in der übrigen Wohnung verteilen. Nur wenn es keine Lüftungsmöglichkeit im Bad gibt (weder Fenster noch Ventilator), sollte die Tür zu anderen geheizten Zimmern geöffnet und vermehrt gelüftet werden.

Türen zu wenig beheizten Räumen geschlossen halten (siehe Infobox „Richtig Heizen“ auf Seite 17).

INFOBOX – RICHTIG LÜFTEN

Ständig angekippte Fenster vermeiden

Es erhöht den Energieverbrauch und die Heizkosten drastisch, wenn Fenster über längere Zeit oder immer angekippt bleiben. Besser ist es, wie bereits erklärt, mit Stoßlüftung nach „Bedarf“ zu lüften. Ein nachts im Schlaf- oder Kinderzimmer (bei gedrosselter Heizung) angekipptes Fenster ist selbstverständlich tagsüber zu schließen.

Auf Baufeuchte durch verstärktes Lüften reagieren.

Baufeuchte kann sowohl im Neubau als auch nach Sanierungen für eine gewisse Zeit auftreten. Entscheidend ist, wie viel Feuchtigkeit beispielsweise bei Putz- und Estricharbeiten in das Gebäude gelangt. Durch die Bauweise bedingt fällt in massiv errichteten Gebäuden mehr Baufeuchte an als in Leichtbauhäusern.

Die Baufeuchte muss durch verstärktes Lüften aller Räume aus dem Gebäude entfernt werden. Man kann davon ausgehen, dass dies im Neubau (Massivbauweise) nach 1 bis 2 Jahren erreicht ist. Für diesen Zeitraum müssen Sie auch mit höheren Heizkosten rechnen.

Lüftungsverhalten nach der Sanierung der Wohnung überprüfen.

Nach einer Sanierung kann eine kritische Feuchtesituation in der Wohnung entstehen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Fenster erneuert werden und die Außenwand nicht wärmegedämmt wird (die Oberflächentemperatur zur Raumseite bleibt dann niedrig).

In dieser Situation muss das Lüftungsverhalten den neuen Bedingungen angepasst werden und häufiger bzw. länger als gewohnt gelüftet werden. Es wird empfohlen, die relative Raumluftfeuchte in der Wohnung mit einem Hygrometer zu überprüfen.

Vermieter sollten ihre Mieter unbedingt über die Folgen von Sanierungsmaßnahmen für das Lüftungsverhalten informieren.

Wenn Wäschetrocknen unvermeidlich ist, mehr lüften.

Grundlegend gilt: Wäsche nach Möglichkeit nicht in der Wohnung trocknen. Wenn Wäscheplätze oder Trockenräume vorhanden sind, sollten diese auch genutzt werden. Bei Wäschetrocknern, bei denen das Wasser aus der Abluft nicht durch Kondensation entfernt wird, sollte der Abluftschlauch ins Freie geführt werden, da sonst die feuchte Abluft im Raum bleibt. Wird Wäsche in der Wohnung getrocknet, sollte unbedingt zusätzlich gelüftet werden. Günstig ist es, in dieser Zeit ein Fenster anzukippen und die Zimmertür geschlossen zu halten. Die Heizung dabei nicht abschalten.

INFOBOX – BELÜFTUNGSANLAGEN

LÜFTUNGSANLAGEN:

ALD als Hilfsmittel zur Schimmelpilzvermeidung sinnvoll.

Bei luftdichter Bauweise können Außenluftdurchlässe (ALD) unabhängig vom Lüftungsverhalten der Raumnutzer einen gewissen Luftaustausch sicherstellen. Damit wird die Entstehung von Schimmelpilz in vielen Fällen verhindert und die Luftqualität verbessert.

Mit der Lüftungsanlage lüften und nicht gegen sie.

Gibt es eine ventilatorgestützte Lüftungsanlage für die gesamte Wohnung, kann auf die Fensterlüftung fast ganz verzichtet werden. Stoßlüftungen sind dann nur noch bei „Feuchtespitzen“ oder hohen Schadstoff- bzw. Geruchsbelastungen erforderlich.
Gibt es nur in bestimmten Räumen Lüftungsanlagen (z.B. ein dezentrales Lüftungsgerät oder ein Abluftventilator im Bad), muss die übrige Wohnung wie gewohnt über die Fenster gelüftet werden.

Lüftungsanlagen mit zusätzlichen Funktionen – wie Variation des Luftwechsels mit einem Zeitprogramm oder eine „Partyschaltung“, d.h. eine einmalige, zeitlich begrenzte Erhöhung des Luftwechsels – können genutzt werden, um die Lüftung an individuelle Lebensgewohnheiten anzupassen.

Bei allen Lüftungsanlagen auf regelmäßige Wartung und Filterwechsel achten.

Damit die Lüftungsanlage bestimmungsgemäß funktioniert, ist wie bei der Heizung eine regelmäßige Wartung notwendig. Diese Wartung sollte jährlich von Fachpersonal durchgeführt werden und Funktionskontrolle (ausreichender Luftwechsel) sowie Reinigung umfassen.

In Abhängigkeit von der Verunreinigung der Luft (Staub, Fett usw.) sollten die Filter durchschnittlich etwa 2 bis 4 mal im Jahr gereinigt und etwa 1 mal im Jahr (bei Bedarf auch häufiger) gewechselt werden. Sonst kann es nämlich auch bei Lüftungsanlagen zur Verkeimung kommen. Mieter sollten mit dem Vermieter klären, wer für den Filterwechsel verantwortlich ist.

2.5 Möglichkeiten zur Ermittlung der Befallsursachen

Schimmelpilzbefall auf und in Bauteilen hat seine wesentliche Ursache in einer hohen Oberflächenfeuchte der betroffenen Bauteile.

Bei der Ursachenermittlung eines Schimmelbewuchses sind in erster Linie die Gründe dieses zu hohen Feuchtegehalts im befallenen Bereich festzustellen. Die Abfolge möglicher Ursachen ist im nachstehenden **„Ursachenbaum“** schematisch dargestellt (siehe Bild 12). Rechts werden die Situationen aufgeführt, die zu Beginn vorliegen und die weiter nach links folgenden Vorgänge auslösen. So kann es z. B. bei einem zu frühen Einzug in ein neues Gebäude zu Neubaufeuchte kommen (Spalte ganz rechts): dann liegt Wasser im Bauteil vor, das zu einem Schimmelpilzbefall auf den Bauteilen führen kann (Spalte ganz links).

Bei der Analyse eines Schimmelpilzbefalls ist diese Struktur in umgekehrter Abfolge, von links nach rechts im Ursachenbaum, zu untersuchen. Mögliche Einflussfaktoren sind zu ergründen und nicht mögliche auszuschließen, um hierdurch die schadensursächlichen Vorgänge möglichst genau bestimmen zu können.

Wichtig ist zu bedenken, dass ein Schimmelpilzbefall prinzipiell mehrere wechselseitige oder verstärkende Ursachen haben kann. Da Feuchteeinflüsse – baulich oder nutzungsmäßig bedingt – immer eine Rolle spielen, gehört die Suche nach Feuchteschäden in die Hand eines mit der Bautechnik und der Bauphysik vertrauten Fachmanns.

In einem ersten Schritt ist zu klären, ob der hohe Feuchtegehalt aus der Luftfeuchtigkeit des Raumes stammt oder ob es sich um im Bauteil enthaltenes Wasser handelt. Tabelle 4 gibt dazu für verschiedene Schadensbilder eine Entscheidungshilfe. Endgültig lässt sich dies allerdings häufig erst im weiteren Verlauf der Recherche beantworten.

Scheint hohe Oberflächenfeuchte von über 80 % für das Pilzwachstum verantwortlich zu sein, so ist zunächst der Frage nachzugehen, ob die Ursache hierfür in einer zu hohen Raumluftfeuchte oder einer zu geringen Oberflächentemperatur im befallenen Bereich zu suchen ist. In Tabelle 5 sind mögliche Vorgehensweisen zur Ursachenabklärung dargestellt.

Wichtig zur Beantwortung dieser Frage sind längerfristige Messungen der Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte sowie der Oberflächentemperatur des befallenen Bauteils. Grenzt man das Problem weiter ein (siehe Bild 12), kann nun auf die Schadensursache geschlossen werden.

Handelt es sich vermutlich um im Bauteil enthaltenes Wasser, ist ebenfalls weiter zu differenzieren (siehe Tabelle 6). Dringt das Wasser von außen oder innen flüssig in das Bauteil ein; ist es als Tauwasser im Bauteil ausgefallen oder liegt eine zu hohe Neubaufeuchte vor? Aus solchen Betrachtungen kann die Schadensursache abgeleitet werden.

Erst jetzt kann auch eine Aussage zu der häufig strittigen Frage der Verantwortlichkeit für das Entstehen des Schimmelpilzwachstums gemacht werden, die wegen der verschiedenen Ursachenmöglichkeiten zunächst nicht immer klar auf der Hand liegt. Welche Ursachen dem Nutzer zuzuordnen sind und welche auf Bau- oder Planungsmängeln beruhen, ist im Ursachenbaum angedeutet (Nutzer: fett umrandet).

Wann Schimmelpilzmessungen im Innenraum sinnvoll sind und welche Nachweisverfahren bei welchen Fragestellungen angewendet werden können wird in der VDI 4300 Bl. 10 dargestellt.

BILD 12: URSACHENBAUM FÜR DAS SCHADENSBILD SCHIMMELPILZE AUF BAUTEILEN (nach Oswald, 2003)

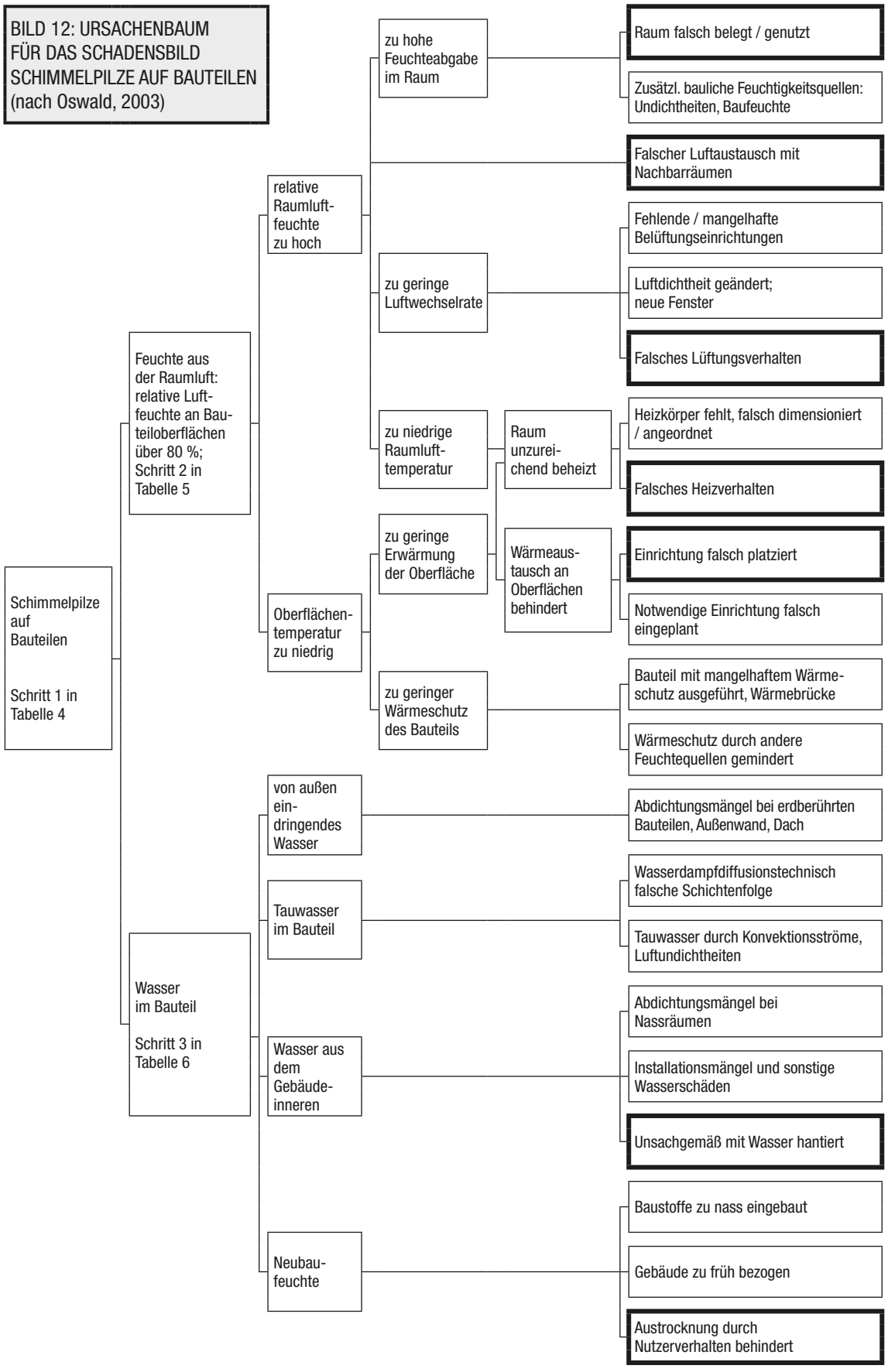


Tabelle 4: Vorgehen bei der Beurteilung von Schimmelpilzbefall in und auf Bauteilen, Schritt 1

Schritt 1: relative Feuchte an der Bauteiloberfläche >80% (OF) oder Wasser im Bauteil (BT)			
	Vorgehensweise	Feststellungen	Ursache
1.	Feststellen des Zeitpunkts des Auftretens durch Nachfragen	Befall ausschließlich im Winterhalbjahr, bei erdberührten, temperaturträgen Bauteilen auch im Frühjahr	OF
2.		Befall unabhängig von der Jahreszeit	i.d.R. BT
3.		Befall nach starken Regenfällen	BT
4.	Feststellen der Lage der Schäden	Befall ausschließlich an Fassaden auf der Wetterseite (Bild 13a)	BT
5.	Feststellen, ob Wasserzutritt von außen oder durch Leitungen möglich ist	Zutritt flüssigen Wassers nicht möglich	OF
6.	Einsicht in Ausführungspläne des betroffenen Bereichs	Konstruktive Wärmebrücke o. unzureichender Wärmeschutz (Bild 13b)	OF
7.		Ausführung nicht geeignet für die Art der Wasserbeanspruchung, z. B. ungeeignete oder fehlende Kellerabdichtung; ungeeigneter Terrassenanschluss	BT
8.	Inaugenscheinnahme des Schadensbildes	Austreten flüssigen Wassers	BT
9.		Wassertropfen auf nicht wasseraufnahmefähigen Materialien (Glas, Keramik, Kunststoff etc.)	OF
10.		Nach Entfernen dampfdiffusionsdichter Materialien sichtbar werdender Befall	BT
11.		Ausblühungen (Salze, Putzabplatzungen etc.) (Bild 13c)	BT
12.		Punktueller Befall u. Verfleckungen, deutlich definierter Rand des Befalls, scheinbar willkürlich über eine Fläche verteilt (Bild 13d)	BT
13.		Befall begrenzt auf Detailpunkte wie z. B. Fensterlaibungen und -stürze, Wand-/Deckenanschlüsse oder Raumecken (Bild 13e)	OF
14.		Großflächiger Befall auf Innenbauteilen	i.d.R. OF
15.		Befall linear am Boden-/Wandanschluss, an Außenecken parabelförmig ansteigend	i.d.R. OF ggf. zzgl. BT
16.		Befall am Boden-/Wandanschluss mit ungleichmäßig, wellenförmig auslaufenden Rändern, ggf. punktuelle Konzentrationen (Abb. 14f))	BT
17.		Nach Öffnen sichtbarer, zuvor verdeckter Befall in mehrschichtigen Bauteilen (Ständerwände, Dächer etc.)	BT o. OF
18.		Großflächiger Befall auf erdberührten Außenbauteilen	OF

Tabelle 5: Vorgehen bei der Beurteilung von Schimmelpilzbefall in und auf Bauteilen, Schritt 2

Schritt 2 bei vermuteter Ursache „relative Feuchte an der Bauteiloberfläche >80%“			
	Vorgehensweise	Feststellungen	Schadensursachen und Bewertung (jeweils weitere Ursachen möglich!)
1.	Überprüfen der konstruktiven Situation durch Inaugenscheinnahme u. anhand von Plänen, ggf. durch Öffnen des Bauteils	Zu geringer Wärmeschutz des Bauteils; ggf. prinzipiell ausreichend, aber deutlich vermindert gegenüber angrenzenden Bereichen	Oberflächentemperatur zu niedrig; insgesamt mangelhafter Wärmeschutz oder konstruktive oder geometrische Wärmebrücke
2.		Durchfeuchtungen im Bauteil	Oberflächentemperatur zu niedrig als Folge der Wärmeschutzverminderung
3.	Inaugenscheinnahme der Einrichtung	Zu geringe Erwärmung der Oberfläche durch Behinderung der Luftzirkulation und des Wärmeaustauschs	Falsche Platzierung der Einrichtung durch die Nutzer
4.			Notwendige Einrichtung falsch geplant
5.	Überprüfen von Vorhandensein und Dimensionierung der Heizkörper	Heizkörper fehlen; falsch dimensioniert/ angeordnet	Zu niedrige Oberflächentemperatur durch unzureichende Beheizung
		Beheizbarkeit gegeben, aber unzureichend genutzt, Raumlufttemperatur überwiegend zu niedrig	Falsches Heizverhalten der Nutzer
6.	Überprüfen von Raumlufttemperatur und -feuchtegehalt über eine Dauer von mind. Wochen mit Hilfe von Thermohygrographen oder Datenloggern *)	Beheizbarkeit gegeben, aber unzureichend genutzt, Raumlufttemperatur überwiegend zu niedrig	Falsches Heizverhalten der Nutzer
7.		Relative Raumluftfeuchte überwiegend zu hoch durch zu geringe Luftwechselrate	Fehlende/ mangelhafte Belüftungseinrichtungen
8.			Luftdichtheit verbessert, z.B. durch neue Fenster, Lüftungsverhalten aus Gewohnheit oder mangels Hinweis nicht an neue Situation angepasst
9.			Falsches Lüftungsverhalten
10.		Zu hohe Feuchteabgabe im Raum/ hoher Feuchteeintrag wahrscheinlich	Falsche Raumnutzung/ -ausstattung
11.			Bauliche Feuchtigkeitsquellen durch Undichtheiten oder Baufeuchte
12.	Überprüfen möglicher Feuchtequellen (s. Tabelle 3)	Zu hohe Feuchteabgabe im Raum/ hoher Feuchteeintrag wahrscheinlich	Falsche Raumnutzung/ -ausstattung
13.			Bauliche Feuchtigkeitsquellen durch Undichtheiten oder Baufeuchte
14.	Überprüfen eines möglichen Luftaustauschs zwischen Räumen, ggf. in Verbindung mit Messergebnissen der Thermohygrographie	Luftstrom von deutlich feuchteren/wärmeren Räumen in trockenere/kühlere wahrscheinlich (z.B. Küche-Schlafraum)	Falscher Luftaustausch zwischen Räumen
15.	Messen der aktuellen Oberflächentemperatur, Thermographien **)	Deutlich zum Negativen abweichende Temperaturen im befallenen Bereich	Erhöhter Wärmedurchgang im befallenen Bereich

*) Ergebnisse nur als Hinweis brauchbar; Ergebnisse der ersten Woche sollten gesondert bewertet werden.

**) Oft fehlerhafte Interpretation der Messergebnisse! Ergebnisse nur äußerst eingeschränkt verwertbar als Hinweis über abweichenden Wärmedurchgang benachbarter Bauteile. Temperaturspreizung beachten!

Tabelle 6: Vorgehen bei der Beurteilung von Schimmelpilzbefall in und auf Bauteilen, Schritt 3

Schritt 3 bei vermuteter Ursache „Wasser im Bauteil“: Wasser von außen, Wasser aus dem Gebäudeinneren, Neubaufeuchte oder Tauwasser im Bauteil			
	Vorgehensweise	Feststellungen	Schadensursachen und Bewertung (jeweils weitere Ursachen möglich!)
1.	Feststellen der geographischen Ausrichtung	Ausrichtung zur Wetterseite	Von außen eindringendes Wasser
2.	Inaugenscheinnahme von erdberührten Bauteilen, Fassade und/ oder Dach	Fehlerhafte Bauwerksabdichtung, unzureichender Schlagregenschutz, fehlerhafte Bauteilanschlüsse	Von außen eindringendes Wasser
3.	Überprüfen der Wasseraufnahmefähigkeit von Fassaden, z.B. mit Wassereindringprüfer nach Karsten*)	Rasches Eindringen des Prüfwassers in Sichtmauerwerkswände ohne Luftschicht oder Kerndämmung	Von außen eindringendes Wasser
4.	Überprüfen der Wasserverteilung im Querschnitt mit Darr-Methode nach Probenentnahme, insbesondere bei erdberührten Bauteilen	Abnahme des Wassergehalts zum betroffenen Raum	Von außen eindringendes Wasser
5.			Bei Innenwänden zu Nassräumen: Wasser aus dem Gebäudeinneren durch Abdichtungsmängel bzw. Leckage
6.		Abnahme des Wassergehalts nach innen und außen	Aufsteigende Feuchtigkeit durch fehlerhafte Horizontalabdichtung
7.			Installationsmängel, Wasserschäden oder Nutzerfehlverhalten: im Estrich oder auf dem Boden verteiltes Wasser steigt auf
8.			Neubaufeuchte
9.		Abnahme des Wassergehalts nach außen	Nutzerfehlverhalten o. hygroskopische Wasseraufnahme; ggf. => Tauwasser
10.	Dampfdiffusionstechnische Beurteilung des Bauteils, ggf, Berechnung des Tauwasserausfalls im Bauteil	Ungünstige Schichtenfolge, geringe Speicherfähigkeit der Materialien; bei Berechnung unzulässig große Ausfallmengen	Tauwasserausfall im Querschnitt durch Dampfdiffusion; Berechnungsergebnis nur als Hinweis verwertbar(!)
11.	Insbesondere bei mehrschichtigen Aufbauten mit verdecktem Befall: Sichtprüfung auf Luftundichtheit, Prüfung mit Rauchpatronen, ggf. Blower-Door-Test	Nachweis von Luftundichtheiten im Schadensbereich	Tauwasserausfall durch konvektiven Dampfeintrag

*) Aufgrund unterschiedlicher Einflussgrößen Messergebnisse nur als Hinweis brauchbar

Bild 13 a

Bild 13 b

Bild 13 c

Bild 13 d

Bild 13 e

Bild 13 f

3 Vom Raumnutzer selbst durchzuführende Maßnahmen

Bei Schimmelpilzbefall soll immer die Ursache abgeklärt und beseitigt werden.

Raumnutzer/innen können kleineren Schimmelpilzbefall selber beseitigen, wenn sie nicht allergisch auf Schimmelpilze reagieren, an chronischen Erkrankungen der Atemwege leiden oder ein geschwächtes Immunsystem haben.

Bei größerem Schimmelpilzbefall ist es ebenfalls oft sinnvoll Sofortmaßnahmen zu ergreifen, bevor die eigentliche Sanierung beginnt. Auch hier kann der Bewohner einiges selber machen. Die Sofortmaßnahmen dürfen aber nicht zu „Dauermaßnahmen“ werden, ohne dass die Ursachen erkannt und beseitigt werden. Die eigentliche Sanierung soll von Spezialfirmen durchgeführt werden.

In *Bild 14* sind die Vorgehensweisen bei der Beseitigung des Befalls auf kleineren Flächen sowie die Sofortmaßnahmen vor einer Sanierung bei größeren Befallsflächen zusammengefasst.

3.1 Beseitigung des Befalls kleinerer Flächen

Maßnahmen zur Beseitigung von Schimmelpilzbefall kleineren Umfangs (z. B. < 0,5 m², nur oberflächlicher Befall) können ohne Beteiligung von Fachpersonal durchgeführt werden. Die Ursache muss aber erkannt und beseitigt werden. Wichtig ist, möglichst staubarm zu arbeiten. Grundsätzlich sollten mit Schimmelpilzen befallene Flächen nie trocken abgerieben werden, damit die Sporen nicht in der Raumluft verwirbelt werden. Von Schimmelpilzen befallene Materialien müssen gründlich gereinigt werden. Sofern dies nicht möglich ist, z. B. bei in die Polsterung von Möbeln eingedrungenem Schimmelpilzbefall, sollten sie vollständig entfernt werden. Eine bloße Abtötung von Schimmelpilzen reicht nicht aus, da auch von abgetöteten Schimmelpilzen allergische und reizende Wirkungen ausgehen können.

Um eine Verteilung der Sporen in die Raumluft möglichst zu begrenzen, sollte die befallene Fläche zunächst feucht abgewischt oder mit einem Staubsauger mit Feinstaubfilter (HEPA-Filter) abgesaugt werden (siehe unten). Der Staubsauger sollte zusätzlich auf Gehäuse-Dichtigkeit nach EN 1822 geprüft sein. Zu erkennen sind solche Staubsauger z. B. am DMT-Zeichen (Deutsche Montan Technologie GmbH) oder dem TÜV-Zeichen „für Allergiker geeignet“.

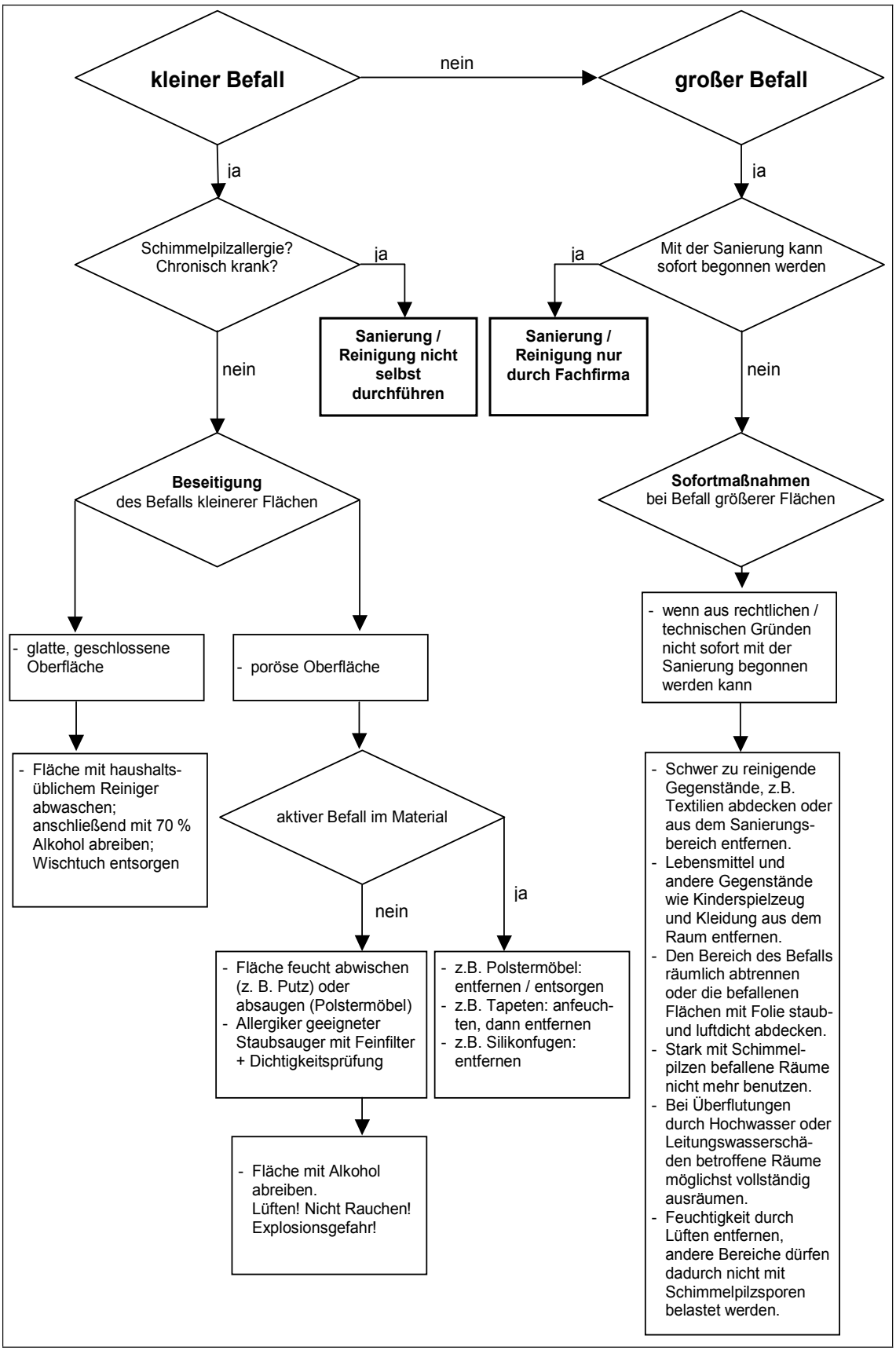


Bild 14: Vorgehensweise bei der Beseitigung von Schimmelpilzbefall.

Schutzmaßnahmen beachten!

- **Schwer zu reinigende Gegenstände, z. B. Textilien, abdecken oder aus dem Sanierungsbereich entfernen.**
- **Lebensmittel und andere Gegenstände wie Kinderspielzeug und Kleidung vor der Sanierung aus dem Raum entfernen.**
- **Möglichst staubarm arbeiten (z. B. Oberfläche vorher absaugen oder anfeuchten).**
- **Eine Ausbreitung von Schimmelpilzsporen vermeiden.**
- **Schimmelpilze nicht mit bloßen Händen berühren – Schutzhandschuhe aus Kunststoff tragen (in Baumärkten erhältlich).**
- **Schimmelpilzsporen nicht einatmen – Atemschutz tragen (in Baumärkten erhältlich) und nach Gebrauch entsorgen.**
- **Schimmelpilzsporen nicht in die Augen gelangen lassen – spezielle Staub-Schutzbrille tragen (in Baumärkten erhältlich).**
- **Arbeitskleidung nach Benutzung gründlich waschen oder Einwegschutzanzug verwenden und entsorgen.**

Maßnahmen im Einzelfall:

- **Glatte Flächen:** Bei glatten Flächen, z. B. Fliesen, Keramik, Glas, Metall, reicht es, wenn die Fläche nach dem Anfeuchten mit einem haushaltsüblichen Reiniger abgewaschen wird. Flächen können anschließend mit 70 %igem Alkohol (Ethanol oder Isopropanol) (Gundermann et al., 1991) desinfiziert werden. Befallene **Silikonfugen** sollten entfernt werden. Im Badezimmerbereich sollte bei neuer Verfugung spezielles Sanitärsilikon verwendet werden (Ausführung durch Handwerker).

- **Poröse, offenporige Flächen**: Offenporige Flächen, z. B. verputzte Wände, sollten feucht abgewischt und danach mit Alkohol (Ethanol oder Isopropanol) abgerieben werden, um den Schimmelbefall abzutöten. Bei trockenen Flächen 70 %igen Alkohol und bei nassen Flächen 80 %igen Alkohol verwenden. Dabei ist unbedingt für gute Durchlüftung zu sorgen. Aufgrund der Brand- und Explosionsgefahr sollte der Alkohol nur in kleinen Mengen verwendet werden. Auf keinen Fall sollte dabei geraucht werden oder offenes Feuer verwendet werden.

- **Möbelstücke mit glatter Oberfläche**, z. B. Schrankrückwände, sollten nach dem feuchten Reinigen mit Alkohol desinfiziert werden (siehe oben), um den aktiven Schimmelpilzbefall abzutöten.

  Bei Polstern und Polstermöbel muss unterschieden werden zwischen direkt befallenem Material, auf dem Schimmelpilze wachsen (oder gewachsen sind) und Möbeln, die lediglich mit Schimmelpilzsporen aus der Luft verunreinigt wurden.
  Direkt befallene Polstermöbel sind häufig schwer zu reinigen, da der Schimmelpilzbefall insbesondere, wenn dieser länger andauerte, tief in die Polster eingedrungen sein kann. Daher ist eine Sanierung mit vertretbarem Aufwand oft nicht möglich und die Möbel sollten sicherheitshalber entsorgt werden.
  Möbelstücke, die nicht selbst befallen sind, sondern nur in einem Bereich stehen, in dem befallene Materialien vorkommen und daher mit Sporen verunreinigt sind, können durch intensives Absaugen (Staubsauger mit Feinfilter) gereinigt werden. Die Staubsaugerbeutel sollten mit dem Hausmüll entsorgt werden.

- Befallene **Tapeten** sollten angefeuchtet und entfernt werden. Anschließend sollten die betroffenen Wandflächen mit Alkohol behandelt werden (siehe oben).

– Befallene **Textilien**, z. B. Vorhänge oder Decken können vorsichtig abgenommen und in der Waschmaschine (ggf. mehrfach waschen) gereinigt werden. Durch Schimmelpilze verursachte Flecken und Gerüche lassen sich aber unter Umständen nicht entfernen.

Nach der Beseitigung der Schimmelpilze sollte die Umgebung von Feinstaub gereinigt werden (feucht wischen, Wischlappen entsorgen; nicht fegen!).

Entsorgung der mit Schimmelpilzen befallenen Materialien:

Nicht mehr verwendbare befallene/bewachsene Gegenstände sollten – wenn möglich in reißfesten Foliensäcken luft- und staubdicht verpackt – mit dem Hausmüll entsorgt werden. Um nicht unnötig die Sporen in der Raumluft zu verteilen, sollte die Luft vor dem Verschließen der Säcke nicht herausgedrückt werden.

„Anti-Schimmel"-Mittel:

Bei der Anwendung von „Anti-Schimmel"-Mitteln („Schimmel-Ex"-Produkte) in der Wohnung kann es während und nach der Anwendung noch einige Zeit zu einer Freisetzung von chemischen Wirkstoffen in die Raumluft kommen, die die Gesundheit gefährden können. Es wird daher grundsätzlich vom Einsatz solcher Produkte in bewohnten Räumen abgeraten.

Bei regelmäßig neu auf den Markt kommenden Präparaten und Mitteln ist zunächst Skepsis a) hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und b) hinsichtlich ihrer toxikologischen Unbedenklichkeit geboten.
Die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der vorgegebenen Eignung der verwendeten Materialien, Mittel und Verfahren muss durch wissenschaftliche und praktische Untersuchungen belegt sein. Das Einsatzgebiet (Stärken, Schwächen, Grenzen, für welche Größe und Art des Schadens) der verwendeten Materialien, Mittel und Verfahren muss eindeutig beschreibbar sein. Konkrete Anwendungsvorschriften, Sicherheitsdatenblätter, Betriebsanweisungen usw. müssen vorliegen. Erst dann kann im Einzelfall von einer unabhängigen Stelle überprüft werden, ob der Einsatz der Mittel für geeignet angesehen wird.

Anstelle des mehrfach erwähnten Alkohols kann zur Desinfektion befallener Flächen und Gegenstände im Einzelfall auch eine 10 %ige Wasserstoffperoxid-Lösung verwendet werden (dabei Schutzhandschuhe tragen!). Saure Mittel wie Essigessenz (25 %ig) töten grundsätzlich zwar ebenfalls den Schimmel ab; allerdings kann es auf mineralischen Flächen zu einer chemischen Neutralisation des Essigs mit dem Kalkputz kommen, wodurch der pH-Wert erhöht und die Wirksamkeit gegenüber Schimmelbefall deutlich reduziert wird – ja im Einzelfall kann das Schimmelpilzwachstum dadurch sogar gefördert werden, weil die neutralisierte Essiglösung als Nährsubstrat wirkt.

3.2 Sofortmaßnahmen vor einer Sanierung bei größerem Befall

Bei massiven Schimmelpilzschäden (Befallsfläche größer circa 0,5 m^2, Befall auch in tieferen Bauteilschichten vorhanden, muffiger Geruch in der Wohnung bleibt auch nach Entfernung des oberflächlichen Pilzbefalls bestehen, Bewohner fühlen sich krank) sollten die Ursachenermittlung und die Gefährdungsbeurteilung unbedingt durch Sachverständige erfolgen (siehe 4). Die Sanierung sollte durch entsprechende Fachfirmen durchgeführt werden, um die eigene Gesundheit nicht zu gefährden und eine Belastung der anderen Räume zu vermeiden (siehe 5).

Kann aus rechtlichen oder technischen Gründen nicht sofort mit der Schadensbe-

seitigung begonnen werden, sollten auch bei größeren Befallsflächen unverzüglich Sofortmaßnahmen ergriffen werden, um eine Gefährdung der Raumnutzer/innen und die Ausbreitung des Schimmelpilzes bzw. der Sporen auf andere Räume zu verhindern.

Zu den Sofortmaßnahmen, die vom Nutzer ergriffen werden können, wenn sie nicht Schimmelpilzallergiker oder chronisch krank sind, zählen:

- Schwer zu reinigende, noch nicht von Schimmel befallene Gegenstände wie Textilien oder Möbel sollten abdeckt oder aus dem Sanierungsbereich entfernt werden. Bevor sie in anderen Bereichen wieder verwendet werden, sollten sie – sofern möglich - gereinigt werden (siehe Abschnitt 3.1).

- Lebensmittel und andere Gegenstände wie Kinderspielzeug sollten aus dem betroffenen Raum entfernt werden.

- Der Bereich des Schimmelpilzbefalls sollte räumlich abgetrennt werden (z.B. Abschottung mit Plastikfolie). Befallene Flächen können auch mit Klebefolie bedeckt werden, um eine Ausbreitung von Sporen zu verhindern.

- Stark mit Schimmelpilzen befallene Räume sollten nicht mehr benutzt werden.

- Bei Überflutungen durch Hochwasser oder Leitungswasserschäden sollten die betroffenen Räume möglichst vollständig ausgeräumt werden.

- Die Feuchtigkeit sollte durch Heizen und Lüften nach außen transportiert werden, wobei darauf zu achten ist, dass andere Bereiche dadurch nicht mit Schimmelpilzsporen belastet werden. Bei großen Wasserschäden können technische Trocknungsmaßnahmen (siehe 5.3) sinnvoll sein.

4 Vorbereitung der Sanierung

Sanierungsmaßnahmen bei größerem Befall sollten nicht vom Raumnutzer selbst, sondern von einer Fachfirma durchgeführt werden.

Bevor mit den Sanierungsarbeiten (siehe 5) begonnen wird, muss eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen (siehe 4.1) und die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen (siehe 4.2) müssen festgelegt werden. Dabei müssen sowohl das Sanierungspersonal als auch die Raumnutzer berücksichtigt werden.

4.1 Gefährdungsbeurteilung

Die Beurteilung der Gefährdung durch Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen gliedert sich in folgende Bereiche:

- Die Beurteilung der Gefährdung der Bewohner/Nutzer durch den vorliegenden Schimmelpilzbefall mit:
  - Beurteilung aus hygienischer Sicht (siehe 4.1.1);
  - Beurteilung der Dringlichkeit der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen (siehe 4.1.2).

- Die Beurteilung der Gefährdung bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen für diejenigen, die die Sanierung durchführen (siehe 4.1.3.1) und für diejenigen, die sich in dem zu sanierenden Objekt aufhalten bzw. in ihm leben (siehe 4.1.3.2).

4.1.1 Beurteilung aus hygienischer Sicht

Bezüglich der hygienischen Beurteilung von Schimmelpilzkontaminationen in Innenräumen wird auf die Ausführungen im *„Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen* des Umweltbundesamtes vom Dezember 2002 und das abgestimmte Ergebnisprotokoll der Arbeitsgruppe „Analytische Qualitätssicherung im Bereich der Innenraumluftmessung biologischer Schadstoffe“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg vom Dezember 2001 *„Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“* verwiesen.

Aufgrund neuerer Forschungsergebnisse (Trautmann et al., 2004) wurden die Beurteilungskriterien geringfügig geändert und erweitert. Die Tabellen mit den neuen Beurteilungskriterien sind im Anhang aufgeführt.

Zusammenfassend wird in den o.a. Leitfäden ausgeführt, dass Schimmelpilzwachstum im Innenraum ein hygienisches Problem darstellt, das nicht toleriert werden sollte, da Schimmelpilze gesundheitliche Beschwerden auslösen können. Schimmelpilzwachstum im Innenraum sollte daher aus Vorsorgegründen immer beseitigt werden.

Wurde der Schimmelpilzschaden durch eine außergewöhnliche Ursache wie z. B. **Hochwasser** oder eine Leckage einer Abwasserleitung verursacht, müssen auch weitere gesundheitliche Gefährdungen, z. B. aufgrund einer mikrobiologischen Belastung des Abwassers, in Erwägung gezogen werden. **Abwasser** kann viele unterschiedliche Krankheitserreger enthalten. Die TRBA (Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe) 220 geht von einer Exposition der Arbeitnehmer in abwassertechnischen Anlagen durch folgende im Abwasser vorkommende Mikroorganismen aus, die in der folgenden Auflistung noch durch weitere, häufig im Abwasser vorkommende Mikroorganismen ergänzt wurden:

- Bakterien: *Enterobacteriaceae* (z. B. *Escherichia coli, Yersinia enterocolitica,*

Klebsiella species, Salmonellen), *Campylobacter* species, *Leptospiraceae, Clostridium* species (z. B. *C. tetani*), *Enterococcus faecalis, Listeria* species;
- Viren: Enteroviren, Adenoviren, Rotaviren, Noroviren, Hepatitis-A-Viren;
- Protozoen: *Entamoeba histolytica, Giardia lamblia*;
- Wurmeier: z. B. von *Ascaris lumbricoides.*

Bei fäkaler Verunreinigung kann auch Oberflächenwasser Krankheitserreger enthalten.

Bei Hochwasser- und Abwasserschäden spielen neben Schimmelpilzen auch Bakterien und Kleinstlebewesen eine wichtige Rolle.

4.1.2 Beurteilung der Dringlichkeit der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen

Bei größerem Befall sind die Dringlichkeit der Sanierung und notwendige Schutzmaßnahmen bis zur Durchführung der Sanierung vom Fachmann/Gutachter zu beurteilen. Grundlage ist die Einschätzung des gesundheitlichen Risikos für die Raumnutzer. Kriterien für diese Einschätzung sind u.a.:

- der Gesundheitszustand der Bewohner / Nutzer;
- die Art und Weise der Raumnutzung;
- das Ausmaß und die Aktivität des Schimmelpilzschadens;
- die Art der im Befall vorliegenden Schimmelpilze, insbesondere im Zusammenhang mit der Disposition der Bewohner;
- die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Schimmelpilzschaden kurzfristig vergrößert, diese Frage steht u.a. im Zusammenhang mit der Ursache des Befalls;
- die Wahrscheinlichkeit, dass es im Ruhe- bzw. aktiven Nutzungszustand zu einem vermehrten Schimmelpilzflug kommt und sich dieser gegebenenfalls im gesamten Objekt verbreitet;
- die Möglichkeiten, den Sporenflug bis zur Sanierung auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Die Einschätzung der Dringlichkeit der Sanierung setzt einen hohen Sachverstand des Gutachters voraus. In vielen Fällen wird eine sachgerechte Einschätzung der Dringlichkeit der Durchführung einer Sanierung nur interdisziplinär möglich sein, da eine abgesicherte Beurteilung sowohl medizinischen als auch hygienischen, mykologischen, bauphysikalischen, bau-, sanierungs- sowie lüftungstechnischen Sachverstand voraussetzt. In den entsprechenden Gutachten sollte die spezifische fachliche Qualifikation des Gutachters belegt sein. Außerdem sollten Messdaten – auf die im Gutachten Bezug genommen wird – nachvollziehbar dargestellt werden.

4.1.3 Beurteilung der Gefährdung bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen

Bei der Gefährdungsbeurteilung müssen sowohl die Sanierer (Arbeitsschutz, siehe 4.1.3.1), als auch die Raumnutzer (siehe 4.1.3.3) einbezogen werden. Außerdem muss nicht nur eine Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich der biologischen Belastungen (Schimmelpilze, ggf. Krankheitserreger aus Abwasser), sondern auch hinsichtlich der ggf. eingesetzten Gefahrstoffe (siehe 4.1.3.2) erfolgen.

4.1.3.1 Gefährdung für die Arbeitnehmer durch biologische Stoffe

Bezüglich der Einschätzung der Gefährdungen und der Schutzmaßnahmen bei Sanierungen wird auch auf die z. Zt. in Arbeit befindliche Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologi-

schen Arbeitsstoffen bei der Gebäudesanierung, Arbeitskreis (AK) „Gebäudesanierung“ des Sachgebietes (SG) „Mikrobiologie im Tiefbau“ des Fachausschusses (FA) „Tiefbau“ verwiesen.

Gemäß § 3 des Arbeitsschutzgesetzes vom 7.8.1996 – zuletzt geändert am 21.6.2002 – ergibt sich für den Arbeitgeber die Notwendigkeit, eine Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten bei der Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Objekten vorzunehmen. Die Gefährdungsbeurteilung muss arbeitsverfahren- und baustellenbezogen erfolgen.

Schimmelpilzhaltige Stäube sind gemäß TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) 907 „Verzeichnis sensibilisierender Stoffe“[1] als allergen eingestuft. Deshalb muss die TRGS 540 „Sensibilisierende Stoffe“ beachtet werden. Als Hilfestellung zur Konzipierung von Sanierungsmaßnahmen allgemein dient die TRGS 524 „Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen“. Die Gefahr des Auftretens von Allergien oder toxischen Wirkungen ist gegeben. Sie ist von der Menge und der Art vorhandener Schimmelpilze sowie dem Sanierungsverfahren abhängig. Infektionen sind äußerst selten.

Die Biostoffverordnung (BioStoffV) vom 27. Januar 1999 regelt den Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen wie z. B. schimmelpilzhaltigem Material. Tätigkeiten bei der Bausanierung sind nicht gezielte Tätigkeiten im Sinne der BioStoffV, bei denen Arbeitnehmer überwiegend gegenüber Mikroorganismen der niedrigsten Risikogruppe (Risikogruppe 1) exponiert sind. Nur sehr wenige Schimmelpilze werden der nächst höheren Risikogruppe zugeordnet. Deshalb ist meist von einer Belastungsstufe 1 (von 4 Belastungsstufen) nach Biostoffverordnung bei Gefährdung durch sensibilisierend wirkende Arbeitsstoffe auszugehen. Bei starker Exposition gegenüber Schimmelpilzen, wie z. B. *Aspergillus fumigatus*, wird die Belastungsstufe 2 nach Biostoffverordnung erreicht. Bei einer Kontamination mit Abwasser muss mit dem Vorliegen von Krankheitserregern der Risikogruppe 2 gerechnet werden. Deshalb ist bei erheblichem Abwasserkontakt meist von Belastungsstufe 2 nach Biostoffverordnung auszugehen.

Prinzipiell können biologische Arbeitsstoffe
- oral,
- dermal (über verletzte Haut) oder
- inhalativ aufgenommen (eingeatmet) werden.

Anhand folgender Kriterien kann die Höhe der Belastung des Sanierungspersonals mit biologischen Stoffen (Schimmelpilze, ggf. Krankheitserreger aus Abwasser) orientierend geschätzt werden:

– Größe und Tiefe des Schimmelpilzbefalls;
– voraussichtliche Staub- bzw. Aerosolentwicklung bei den Sanierungsarbeiten (z. B. bei großflächigen Putzentfernungen);
– Art des Arbeitsverfahrens (mehr oder weniger Staubentwicklung);
– Art des Staubes (z. B. Feinstaub, Grobstaub) bzw. Aerosols;
– Raumgröße (Staub- bzw. Aerosolbelastung wird z. B. bei Abschottungsmaßnahmen verhältnismäßig größer);
– Möglichkeiten der technischen Staub- bzw. Aerosolreduzierung (Absaugung, mechanische Lüftung);
– voraussichtliche Dauer der Tätigkeit;
– Ausmaß der Kontamination mit mikrobiell kontaminiertem Wasser.

Bei großen Schäden ist es ratsam, vor der Sanierung die den Befall verursachende Schimmelpilzart zu bestimmen, da einige Schimmelpilze aufgrund ihrer toxischen Wirkung als besonders problematisch eingeschätzt

[1] siehe http://www.baua.de/prax/ags/ trgs907.pdf

werden, wie z. B. *Stachybotrys chartarum* und *Aspergillus flavus* sowie *Aspergillus fumigatus* aufgrund seiner infektiösen Wirkung. Beim Vorliegen dieser Schimmelpilze ist die Dringlichkeit der Schutzmaßnahmen besonders gegeben.

4.1.3.2 Gefährdung für die Arbeitnehmer durch verwendete Chemikalien

Bei der Anwendung von Desinfektions- und Bleichmitteln sind neben den Arbeitsschutzaspekten auch bauchemische und bautechnische Aspekte zu beachten. Für gewöhnlich sollten diese Chemikalien nur in beschränktem Umfang bei geeigneten baulichen Voraussetzungen angewandt werden. Wenn der Schimmelpilzbefall vollständig entfernt und durch fachgerechten Wiederaufbau eine erneute Feuchtebildung ausgeschlossen ist, ist eine Desinfektion nicht erforderlich.

Vor der Anwendung bzw. Verdünnung von Desinfektionsmitteln sollte sich der Anwender prinzipiell über die Gefahren, die von diesen Mitteln ausgehen, informieren, entsprechende Sicherheitsdatenblätter einsehen (beim Hersteller anfordern bzw. in der GISBAU-Datenbank einsehen) und eine entsprechende Betriebsanweisung erstellen (siehe auch „Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen“ des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg sowie Musterbetriebsanweisungen über die Gefahrstoff-Software WinGis[2]).

4.1.3.3 Gefährdung für die Raumnutzer

Neben der Gefährdung des Sanierungspersonals ist die Gefährdung der Raumnutzer während und nach der Sanierung und die Vermeidung einer Kontamination des Objektes und der Umwelt zu beachten. Dabei ist zu bedenken, dass neben der mikrobiologischen Belastung durch Schimmelpilze und möglicherweise durch Bakterien gegebenenfalls bei Anwendung von Desinfektionsmitteln oder anderen Chemikalien auch eine Belastung gegenüber chemischen Arbeitsstoffen oder Gefahrstoffen und Staub auftreten kann.

Kriterien für die Gefährdungsabschätzung sind hierbei insbesondere:

- Gesundheitszustand der Nutzer (z. B. Bewohner eines Altenheims und Patienten im Krankenhaus, Mitarbeiter eines Büros, Asthmatiker o. a.);
- Ausmaß der Gefahr der Verbreitung von mikrobiologischen und gegebenenfalls chemischen Gefahrstoffe im Objekt (z. B. offener Treppenaufgang zwischen mehreren Etagen eines Einfamilienhauses, abgetrennte Wohnung), sowie mögliche mikrobielle Einwirkung von außen;
- Verbindung unterschiedlicher Gebäudeabschnitte oberhalb von Decken oder unterhalb von Fußböden;
- Reinigungsmöglichkeit der Gegenstände im Objekt.

Aus den einzelnen Gefährdungen ergibt sich die Gesamtgefährdung, aus der sich die erforderlichen Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls Übergangsmaßnahmen bis zur Sanierung ableiten lassen.

4.2 Schutzmaßnahmen bei der Sanierung

Bei den Schutzmaßnahmen ist zu unterscheiden zwischen den Maßnahmen, die aus Sicht des Arbeitsschutzes (siehe 4.2.1 und 4.2.2) und/oder aus der Sicht des Nutzerschutzes oder Objektschutzes (siehe 4.2.3) erfolgen.

[2] Das Programm WinGis ist für Mitgliedsbetriebe der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft kostenlos bei der zuständigen Berufsgenossenschaft erhältlich

Bei der Sanierung von mit Schimmelpilzen belasteten Innenräumen sind sowohl die mikrobiologischen (siehe 4.2.1) als auch die chemischen (siehe 4.2.2) Schadstoffbelastungen bei der Festlegung der einzuhaltenden Arbeitsschutzmaßnahmen zu beachten.

4.2.1 Arbeitsschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Belastung mit mikrobiologischen Schadstoffen

Arbeitsschutzmaßnahmen umfassen technische (4.2.1.1) und organisatorische (4.2.1.2) Maßnahmen sowie persönliche Schutzausrüstung (4.2.1.3) und arbeitsmedizinische Vorsorge (4.2.1.4) (siehe auch TRBA 500 März 1999, „Hygienemaßnahmen: Mindestforderungen“ und TRGS 540 „Sensibilisierende Stoffe“):

4.2.1.1 Technische und bauliche Maßnahmen

Durch technische und bauliche Maßnahmen soll unabhängig von der persönlichen Schutzausrüstung das Ausmaß der Exposition der Arbeitnehmer verringert werden. Dazu zählen folgende Maßnahmen:

- Anwendung staubarmer Arbeitstechniken;
- Minimierung der Staubentwicklung durch Befeuchten[3] oder durch Bindemittel z. B. zum Ablösen von Tapeten;
- Staubabsaugung bei Tätigkeiten mit erhöhter Staubentwicklung;
- Abdecken bzw. Abkleben schimmelpilzbefallener Materialien;
- evtl. mechanische Lüftung bei Arbeit mit hoher Staubbelastung,

4.2.1.2 Organisatorische Maßnahmen

Durch organisatorische Maßnahmen wird die Exposition weiter verringert und sichergestellt, dass Tätigkeiten in kontaminierten und nicht kontaminierten Bereichen getrennt werden („Schwarz-Weiß-Bereiche“, siehe Tabelle 7). Zu diesen Maßnahmen zählen:

- häufige nicht staubende Reinigung (z. B. durch Staubsaugen oder feuchtes Wischen);
- Verpflichtung zum Händewaschen vor Pausen und nach Beendigung der Tätigkeit;
- Händedesinfektion mit gegen Viren wirksamem Mittel bei Exposition gegenüber Abwasser oder fäkal belastetem Oberflächenwasser;
- Verwendung von Hautschutz-, Hautreinigungs- und Hautpflegemittel;
- Schaffung der Möglichkeit zur Aufnahme von Speisen, Getränken und Genussmitteln (z. B. Zigaretten) in einem gesonderten Raum;
- Einnahme der Mahlzeiten nicht in verschmutzter Arbeitskleidung;
- Schaffung der Möglichkeit, Lebensmittel, Getränke und Genussmittel außerhalb des kontaminierten Bereiches aufzubewahren;
- Schaffung der Möglichkeit zur getrennten Aufbewahrung von Schutzkleidung und persönlicher Schutzausrüstung von der Straßenkleidung;
- Bereitstellung, regelmäßige Reinigung und ggf. Desinfektion der persönlichen Schutzausrüstung durch den Arbeitgeber; mindestens arbeitstäglicher Filterwechsel von Atemschutz.
- Sammeln und Entsorgen der mit Schimmelpilzen befallenen Materialien in geeigneten verschließbaren Behältnissen;
- Erstellung von Betriebsanweisungen;
- Unterweisung der Arbeitnehmer.

[3] Diese Maßnahme empfiehlt sich nur, wenn nur kurze Zeit gearbeitet wird, da es bei Langzeitbefeuchtung eher zu Schimmelpilzvermehrung kommt

4.2.1.3 Persönliche Schutzausrüstung

Der Umfang der persönlichen Schutzausrüstung richtet sich nach der Gefährdungseinschätzung unter Berücksichtigung der technischen und organisatorischen Maßnahmen. Je höher die Belastung voraussichtlich sein wird, desto umfangreicher muss die Schutzausrüstung sein (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Anhaltspunkte für die Abstufung von persönlichen Schutzmaßnahmen sowie von Maßnahmen zur Vermeidung einer Verbreitung von Schimmelpilzen*

Kriterium	Belastungsstufe				empfohlene Schutzmaßnahme
	0	1	2	3	
Staubfreies Entfernen von kleinen Flächen Schimmelpilz-befallener Materialien, schwache Sporenbelastung unabhängig von der Einwirkdauer, sensibilisierende Wirkung nicht zu befürchten	X				Handschuhe***,
kurzzeitige Arbeiten (< 2 h) bei mittlerer Sporenbelastung z. B. vornehmliche Entwicklung von Grobstaub		X			Ggf. Schwarz/Weiß-Trennung Einwegschutzanzug Kat. III, Typ 5**, Handschuhe***, Schutzbrille, Atemschutz mit P2-Filter****
längerfristige Arbeiten (> 2 h) bei mittlerer Sporenbelastung			X		Schwarz/Weiß-Trennung Einwegschutzanzug Kat. III, Typ 5**, Handschuhe***, Atemschutzmaske der Schutzstufe TM2P; empfohlen werden gebläseunterstützte Atemschutzhauben mit Partikelfilter (TH2P)****
Hohe Sporenbelastung, unabhängig von der Arbeitsdauer z. B. starke Entwicklung von Feinstaub bzw. Aerosolen, keine wirksame lokale Absaugung				X	Schwarz/Weiß-Trennung Schleuse, ggf. mit Be- und Entlüftung Einwegschutzanzug Kat. III, Typ 5**, Handschuhe***, Atemschutzmaske der Klasse ; TM3P****

* Für weitere Informationen siehe auch:
„Sanierung von schimmelpilzbelasteten Räumen“, Handlungsinformation der Bau-Berufsgenossenschaften 11/2004
(www.bg23.de > Infos/Service > Broschüren)

** Bei massivem Abwasserkontakt wasserdichte Schutz- bzw. Einwegschutzkleidung, die gegenüber Mikroorganismen undurchlässig ist.

*** Hinweise zur Auswahl geeigneter Handschuhe gibt die BGR 195, „Regeln für den Einsatz von Schutzhandschuhen“.

**** Die Filter der Atemschutzmasken sind mindestens arbeitstäglich zu wechseln und zu entsorgen.

Bei Ergreifen geeigneter technischer Maßnahmen (Auswahl der Sanierungstechniken) ist es möglich, anstelle der Schutzmaßnahmen der Belastungstufe 3 nur die Maßnahmen der Belastungsstufe 2 anzuwenden.

4.2.1.4 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Durch die arbeitsmedizinische Vorsorge sollen mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Arbeitnehmer erkannt werden. Dazu dienen Vorsorgeuntersuchungen nach Biostoffverordnung bei Vorkommen von Schimmelpilzen der Risikogruppe 2 bzw. Exposition gegen Abwasser oder Oberflächenwasser.

Die konkret anzuwendenden Schutzmaßnahmen sind entsprechend der Gefährdung festzulegen (siehe auch Tab. 7). Bei der Gefährdungsbeurteilung ist auch die Art der vorliegenden Schimmelpilze zu beachten. Bei Schimmelpilzarten, denen eine besondere gesundheitliche Bedeutung zugeordnet wird (z. B. *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Stachybotrys chartarum*), ist die Dringlichkeit von Schutzmaßnahmen besonders gegeben.

4.2.2 Arbeitsschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Belastung mit chemischen Schadstoffen

Vor Beginn der Tätigkeit muss der Arbeitgeber die Sicherheitsdatenblätter der Chemikalien anfordern, die verwendet werden sollen. Eine Gefährdungsbeurteilung und eine Betriebsanweisung muss schriftlich erstellt werden. Der anzuwendende Arbeitsschutz muss gemäß TOP-Prinzip (zunächst **t**echnische und **o**rganisatorische dann erst **p**ersönliche Schutzmaßnahmen) gewählt werden. Ist die Anwendung von persönlicher Schutzausrüstung unerlässlich, muss diese so gewählt werden, dass sie vor dem eingesetzten Gefahrstoff schützt. Mindestens jährlich müssen die Arbeitnehmer über Gefahren und Schutzmaßnahmen unterwiesen werden. (siehe auch „Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen“ des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg).

4.2.3 Allgemeine Schutzmaßnahmen

Neben dem Arbeitsschutz kommt dem Schutz des Gebäudenutzers und der Vermeidung der Verschleppung von Schimmelpilzsporen während der Sanierung eine große Bedeutung zu.

Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Anwendung von Arbeitstechniken, bei denen die Freisetzung von Staub oder Aerosolen und damit auch von Schimmelpilzsporen und gegebenenfalls von anderen Mikroorganismen möglichst gering ist (siehe Tabelle 8).

- Vermeidung der Ausbreitung (Verschleppung) von Schimmelpilzsporen und gegebenenfalls von anderen Mikroorganismen.
  Um eine Kontamination von unbelasteten Bereichen zu vermeiden, muss bei bestimmten Arbeiten der Sanierungsbereich von den übrigen Gebäudeteilen abgeschottet werden. Je nach Sanierungsumfang können dafür unterschiedliche Maßnahmen erforderlich sein (siehe Tabelle 7). Bei einer technischen Be- und Entlüftung des „Schwarzbereiches“ ist sicherzustellen, dass durch die Abluftführung keine Gefährdung Dritter entsteht. Dies kann z. B. durch den Einsatz von Abluftfiltern bzw. Luftführung in den Außenbereich gewährleistet werden.

- Vermeidung der Belastung mit Schimmelpilzsporen und gegebenenfalls mit anderen Mikroorganismen von Menschen, die nicht direkt die Sanierung durchführen.

– Vermeidung der Übertragung von Schimmelpilzsporen und gegebenenfalls von anderen Mikroorganismen auf Lebensmittel und schwer zu reinigende Gegenstände; ggf. Entfernung von Lebensmitteln, Entfernung bzw. Abdecken schwer von Schimmelpilzsporen zu reinigende Gegenstände (z. B. Teppiche und andere Raumtextilien).
– Überprüfung, ob bei Anwendung von Desinfektionsmitteln oder anderen Chemikalien eine Schädigung der Bausubstanz verursacht werden kann. Es ist zu vermeiden, dass sich die eingesetzten Chemikalien bzw. ihre Zersetzungsprodukte unkontrolliert im Gebäude verbreiten und gegebenenfalls zu einer Gefährdung in einiger Entfernung vom Ort der Sanierung werden.

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Arbeitstechniken hinsichtlich ihrer Staub- oder Aerosolfreisetzung

Sanierungsaufgabe	**hohe Staub- oder Aerosolbelastung**	**geringe Staub- oder Aerosolbelastung**
Reinigung	trocken wischen bzw. kehren	feucht abwischen bzw. absaugen
Reinigung	Trockenstrahlen	Sprüh-Extraktion
Tapeten entfernen	trocken entfernen	befeuchtet bzw. vernetzt entfernen
Abtragen von Material	nur mechanisch	mechanisch unter lokaler Absaugung
technische Trocknung	Druckverfahren	Saugverfahren mit Luftableitung nach außen

Aufgrund der Komplexität der Ursachen, der Art und Schwere der Gefährdung und der technischen Möglichkeiten der Sanierung ist es nicht möglich, für jeden auftretenden Fall genaue Festlegungen, die bezüglich des Arbeits-, Verbraucher- sowie Umweltschutzes einzuhalten sind, vorzugeben. Daher ist es unumgänglich, dass in jedem einzelnen Fall eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wird und die einzuhaltenden und durchzuführenden Schutzmaßnahmen festgelegt werden.

Bei medizinischen Einrichtungen sind besondere Vorkehrungen zu treffen, um die Freisetzung von Staub oder Aerosolen zu verhindern, da dort besonders gefährdete Personen (z. B. immunsupprimierte Patienten) vorhanden sein können.

5 Durchführung der Sanierung

Vor Beginn der Sanierung sind zunächst die Ursachen für den Schimmelpilzbefall zu ermitteln (siehe 2.5). Außerdem sind eine Gefährdungsbeurteilung vorzunehmen und Schutzmaßnahmen festzulegen (siehe 4.1 und 4.2).

Die Sanierung bei größerem Schimmelpilzbefall sollte unbedingt von Fachfirmen durchgeführt werden.

Da es bisher keine allgemein anerkannte Qualifikation zur Schimmelpilzsanierung gibt, sollte sich der Auftragsgeber vor Auftragsvergabe über die Qualifikation der Firma erkundigen, z. B. über Referenzen sowie Fragen nach Qualifikations-, Arbeitsschutz- und Umgebungsschutzmaßnahmen.

Bei der Sanierung müssen die Befallsursachen behoben werden (siehe 5.1) und die mit Schimmelpilz befallenen Materialien gereinigt oder beseitigt werden (siehe 5.2). Feuchte Bauteile müssen entfernt oder getrocknet werden (siehe 5.3). Fachgerechte bauliche Maßnahmen nach der Sanierung (siehe 5.4) verhindern erneuten Schimmelpilzbefall. Nach Abschluss der Sanierung ist eine Feinreinigung (siehe 5.5) vorzunehmen.

5.1. Beseitigung der Befallsursachen

Eine Schimmelpilzsanierung sollte stets mit der Beseitigung der Ursachen für die Entstehung des mikrobiellen Befalls beginnen.

Das Vermeiden von feuchten Bauteilen ist die wirkungsvollste Methode zur Verhinderung von Schimmelpilzwachstum. Die Ursachen für die Feuchtigkeit müssen erkannt und behoben werden.

Durch sachgerechtes Lüften und Heizen muss gewährleistet werden, dass die bei der Raumnutzung entstehende Feuchtigkeit aus der Wohnung abtransportiert wird (siehe 2.2 und 2.4).

Baumängel bzw. Bauschäden sind zu beheben (siehe 5.1.1).

Feuchteschäden aus Havarien (Überschwemmung, Leckagen) sind schnellstmöglich zu trocknen.

5.1.1 Beseitigung von Baumängeln

Bei feuchten Bauteilen muss bei der Ursachensuche prinzipiell zwischen Oberflächenfeuchte (5.1.1.1) und Wasser im Bauteil (5.1.1.2) unterschieden werden (siehe 2.5).

5.1.1.1 Oberflächenfeuchte

Wurde bei der Ursachensuche (siehe 2.5) eine zu hohe Oberflächenfeuchte festgestellt, die ihre Ursache in einem unzureichenden Wärmeschutz bzw. dem Vorliegen von Wärmebrücken hat, muss der Wärmeschutz verbessert werden, um die Oberflächentemperatur zu erhöhen und Schimmelpilzwachstum vorbeugen.

Nach DIN 4108-2: 2003-07 ist als Maßnahme zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung (Randbedingungen u.a. Raumlufttemperatur 20 °C. Außenlufttemperatur – 5 °C, relative Raumluftfeuchte 50 %) eine raumseitige Oberflächentemperatur von 12,6°C einzuhalten. Die zugrunde gelegte kritische Oberflächenfeuchte für Schimmelpilzbildung beträgt 80 % (vgl. Kap. 2.1). Bei dieser Feuchtigkeit wachsen bereits die meisten innenraumrelevanten Schimmelpilze.

Durch sachgerechte Anbringung einer Wärmedämmung an der Außenfassade kann die raumseitige Oberflächentemperatur

der Wände erhöht werden. Eine **Außendämmung** ist aus bauphysikalischer Sicht optimal. Ist dies nicht möglich, kann auch eine **Innendämmung** an betroffenen Bauteilen durchgeführt werden. Es ist darauf zu achten, dass Wärmebrücken vermieden werden und es zu keiner Wasserdampfkondensation in und hinter der Dämmung kommt.

Eine Tauwasserberechnung kann hilfreich sein, um Art und Dimension der Dämmung auszulegen. Hierzu sollte ein Experte hinzugezogen werden (Architekt, Bauphysiker etc.).

5.1.1.2 Feuchtigkeit im Bauteil

Je nach Ursache der Wanddurchfeuchtung ergeben sich verschiedene Feuchtigkeitsprofile im Außenwandbereich (Bild 15).

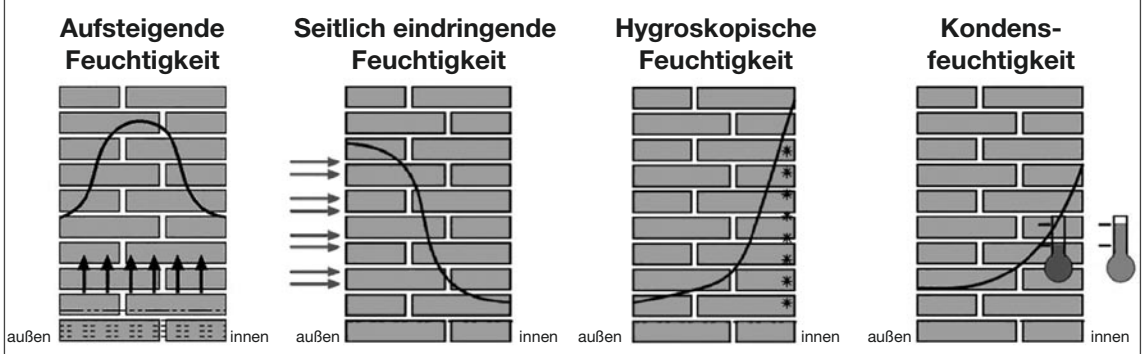


Bild 15: Feuchtigkeitsprofile in der Wand

Durch geeignete Bauwerksdiagnostik ist anhand der Feuchtigkeitsprofile und durch Untersuchung des Konstruktionsaufbaus zu ermitteln, welche Feuchtigkeitszufuhr an dem zu untersuchenden Bauteil vorliegt. Es ist darauf hinzuweisen, dass in der Praxis ein Untersuchungsergebnis nicht unbedingt so eindeutig sein muss, wie in Bild 15 dargestellt. Es können. „Mischfälle“ vorliegen, bei denen sich mehrere Feuchtigkeitsprofile überlagern. Die Ursache der Feuchtigkeitszufuhr muss durch einen Fachmann ermittelt werden (siehe 2.5), so dass ursachengerecht saniert werden kann.

Je nach Ursache der baulich bedingten Feuchtigkeitszufuhr müssen unterschiedliche Maßnahmen zur Schadensbehebung ergriffen werden. Planung und Ausführung dieser Maßnahmen gehören unbedingt in die Hand eines Fachmanns.

Folgende Maßnahmen können notwendig sein:

- Einbau einer nachträglichen **Horizontalsperre** bei aufsteigender Feuchtigkeit: Es gibt Bohrlochinjektions-Verfahren, mechanische Verfahren und den Austausch von Mauerwerk, um nachträglich eine Horizontalsperre einzubringen. Die Verfahren zum Einbringen einer nachträglichen Horizontalsperre sind z. B. in den WTA-Merkblättern 4-4-04/D „Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit“ und 4-7-02/D „Nachträgliche Mechanische Horizontalsperren“ (zu beziehen über www.wta.de) beschrieben.

- Nachträgliche **Außenabdichtung** bei seitlich eindringender Feuchtigkeit (flächig und im Bereich Wand-Sohlenanschluss): Gemäß dem WTA-Merkblatt

E-4-6-03/D „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“ ist das Gebäude von außen freizulegen und das sach- und fachgerecht vorbereitete Mauerwerk z. B. mit einer elastischen Bitumendickbeschichtung abzudichten. Bei der Freilegung können auch häufig vorkommende Schäden an alten Abwasserleitungen erkannt und behoben werden.

- **Innenabdichtung**: Anbringen eines mehrlagigen Innenabdichtungssystems mittels starrer und flexibler Dichtungsschlämme auf der Wandinnenseite gemäß WTA-Merkblatt E-4-6-03/D „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“. Bei diesen Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass in der Wand vorhandene Feuchtigkeit weiter aufsteigen kann, wenn dies nicht durch eine horizontale Abdichtung verhindert wird.

.

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

- Leitungswasserschäden müssen lokalisiert werden und von Fachfirmen instandgesetzt werden.

Verschiedentlich werden auch **elektrophysikalische Verfahren** als geeignete Verfahren zur Trockenlegung durchfeuchteten Mauerwerks propagiert. Bei diesen Verfahren soll in einem bestimmten Mauerwerksabschnitt durch den Einbau von Elektroden und Anlegen einer Gleichspannung der durch das aufsteigende Wasser in den Kapillaren gerichtete Transport von frei beweglichen Wasserstoff(H+)-Ionen umgekehrt werden. Mit der entgegengerichteten Bewegung dieser positiv geladenen Flüssigkeitsteilchen soll durch Mitführen von Wassermolekülen eine entgegengesetzte „Strömung“ entstehen, die mindestens so groß, besser größer als der Kapillartransport des aufsteigenden Wassers sein soll.
Entscheidend für die Funktionsfähigkeit des Systems ist die Korrosionsbeständigkeit der Elektroden. In zurückliegender Zeit ist eine längere Wirkungsdauer häufig daran gescheitert, dass sich die eingebauten metallischen Elektroden schnell zersetzten und dann unwirksam wurden. Es sind daher weitere Untersuchungen notwendig, ehe die elektrophysikalischen Verfahren in größerem Umfang für eine Anwendung im Sinne einer Querschnittsabdichtung empfohlen werden können.

Von anderen Verfahren zur Mauerwerksentfeuchtung wie z. B. Entstrahlungsgeräten (sog. „Zauberkästchen“) oder „Mauerlunge“ ist abzuraten, da ihre Wirksamkeit wissenschaftlich nicht belegt bzw. in der Praxis nicht nachgewiesen ist.

5.2 Reinigung und Entfernung der mit Schimmelpilzen befallenen Materialien

Bei dem Befall von Material durch Schimmelpilze kann es sich sowohl um einen primären Befall handeln – das heißt, die Schimmelpilze wachsen und vermehren sich auf dem Material – als auch um eine Belastung aufgrund einer sekundären Verunreinigung mit Schimmelpilzsporen, die z. B. über die Luft aus einem aktiven Befall verteilt wurden und sich auf dem Material abgesetzt haben ohne dort zu wachsen. Als primärer Befall gewertet werden auch Schimmelpilzkontaminationen, bei denen das Wachstum nicht mehr aktiv ist (ausgetrocknete primär befallene Gegenstände).

Materialien mit einem nur **sekundären Schimmelpilzbefall** lassen sich in der Regel reinigen. Glatte Oberflächen werden nass abgewischt. Poröse Materialien oder textile Oberflächen werden mit einem Staubsauger

mit HEPA-Filter abgesaugt. Kleidung kann durch – ggf. mehrmaliges – Waschen gereinigt werden. Bei Gegenständen wie Kissen oder Matratzen mit hoher Sporenbelastung kann allerdings eine Entsorgung notwendig werden.

Bei Materialien mit **primärem Befall** ist eine Reinigung schwieriger und bei manchen Materialien und starkem Befall oft nicht möglich. Nicht mehr verwendbare befallene/bewachsene Gegenstände sollten sofort in reißfeste Foliensäcke luft- und staubdicht verpackt und mit dem Hausmüll entsorgt werden. Befallene Oberflächen noch verwendbarer Bauteile/Gegenstände sollten möglichst nass abgewischt oder mit BIA-baumustergeprüftem Industriesauger mit Filterklasse H (ältere Bezeichnung: K1) bzw. HEPA[4]-Filter abgesaut werden (siehe auch **Tabelle 9**).

Folgende prinzipielle Vorgehensweisen werden empfohlen:

Glatte Materialien:

Nicht saugfähiges, porenundurchlässiges, beschichtetes Material und keramische Beläge können nass abgewischt, gegebenenfalls desinfiziert und wieder- bzw. weiterverwendet werden (**siehe Tabelle 9**).

Saugfähige Bauprodukte wie u.a. Holzwerkstoffplatten, Papier, Pappen oder Gipskartonplatten sollten vollständig entfernt und entsorgt werden.

Tapeten und sonstige Wandbekleidungen sind möglichst nass abzulösen und zu entsorgen. Ist das Annässen der Oberflächen nicht angebracht, kann der Pilzbewuchs vor Entfernung der Wandbekleidung auch mit Dispersionsgrundiermittel oder Klebefolie fixiert werden, um eine Staubfreisetzung zu vermeiden.

Poröse Materialien:

Bei Putzoberflächen muss untersucht werden, woher das Wasser kommt, das zum Schaden geführt hat. Ob und in welchem Maße der **Putz** entfernt werden muss, hängt u.a. von der Art des Putzes, der sich darauf befindlichen Tapete oder Farbe und der Zeit der Durchfeuchtung ab:

- Ist der gesamte Putz längerfristig durchfeuchtet, so sollte die befallene Putzlage in der Fläche großzügig entfernt werden;

- Ist Kondensation von Wasserdampf an der Oberfläche die Ursache für das Schimmelpilzwachstum, braucht der Putz nicht in jedem Fall entfernt zu werden, da der Schimmel im Allgemeinen nicht in den trockenen (!) Putz eingedrungen ist. Im Zweifelsfall kann durch mikrobiologische Untersuchung von Materialproben nachgewiesen werden, ob und ggf. wie tief der Pilzbewuchs in den Putz eingedrungen ist, und danach über das Ausmaß des Abtragens der Putzschichten entschieden werden.

Intakte Putzoberflächen können mit 70 %igem Ethanol/Isopropanol (trockene Flächen) bzw. 80 %igem Alkohol (feuchte Flächen) desinfizierend gereinigt werden. Vorsicht Brand- und Explosionsgefahr – daher nur bei kleineren Flächen anwendbar.

Keine sauren Reinigungsmittel wie Essigsäure einsetzen, da diese durch alkalische Baustoffe neutralisiert werden und letztlich dem Baustoff nur Wasser zugeführt wird! Überdies können saure Reinigungsmittel zu Gefügeschäden an derartigen Baustoffen führen.

[4] HEPA = High-Efficiency-Particulate-Air
(für Staubsauger: Filter der Klasse H 12 nach DIN

Textile Materialien:

Stark befallene textile Materialien können meist nicht mit vertretbarem Aufwand gereinigt werden. Da die Schimmelpilze in das Gewebe eindringen, sind sie nur schwer zu entfernen. Außerdem bleiben Schimmelpilzflecken und Gerüche oft auch nach mehrmaliger Reinigung erhalten.

- Stark befallene Einrichtungsgegenstände mit Polsterung (z. B. Sessel, Sofa) sind nur selten mit vertretbarem Aufwand zu dekontaminieren und sollten daher im Normalfall entsorgt werden (siehe auch Kap. 3).

- Befallene Haushaltstextilien (Teppiche, Vorhänge) sind meist ebenfalls nur mit großem Aufwand sachgerecht zu sanieren, so dass je nach Anschaffungskosten eine Entsorgung vorzuziehen ist.

Naturholz:

Mit Schimmelpilz befallenes Holz (Möbel, Treppen, Verkleidungen), bei dem der Schimmelpilz tiefer ins Material eingedrungen ist, ist häufig nur schwer zu sanieren und muss zumeist entsorgt werden. Oberflächlicher Befall kann in vielen Fällen – abhängig von der Schimmelpilzart – abgewaschen und wenn erforderlich abgehobelt (Statik beachten!) werden, bis das befallene Holz entfernt ist.

Bei Holzbefall ist zu beachten, dass es sich nicht immer um Schimmelpilze handeln muss, sondern dass feucht gewordenes Holz auch durch holzzerstörende Pilze z. B. vom „echtem Hausschwamm“ (Serpula lacrymans) befallen sein kann. Holzzerstörende Pilze müssen beseitigt werden, da ansonsten die Holzstruktur – bei tragenden Holzteilen oft mit gravierenden Folgen – zerstört werden kann.

Bei starkem Schimmelpilzbefall von Holzbauteilen ist eine Ausbreitung der Pilzmyzelien in die Tiefe des Holzes und/oder ein Befall mit holzzerstörenden Pilzen durch geeignete Untersuchungen auszuschließen.

Dämmmaterialien:

Durch mikrobiologische Messungen kann der Befallsgrad ermittelt werden. Dämmmaterialien mit primärem massiven Schimmelpilzbefall müssen ausgebaut werden. Bei weniger starkem Befall kann im Einzelfall eine Trocknung und Abschottung der Dämmschicht zur Raumseite hin ausreichend sein (Abschottung kennzeichnen!!). Die Abschottung muss auch langfristig gewährleisten können, dass keine Schimmelpilze in die Raumluft gelangen. Sind bei den Raumnutzern gesundheitliche Probleme aufgetreten, ist in jedem Fall eine Entfernung des Dämmmaterials zu empfehlen.

Bei der Interpretation der mikrobiologischen Ergebnisse muss beachtet werden, dass die meisten Dämmmaterialien Schimmelpilze enthalten, auch ohne dass ein Schaden vorliegt. Die Bewertung des Befalls muss daher durch ein fachkundiges Labor erfolgen, dem Vergleichswerte unbefallener Dämmstoffe vorliegen. Ein Problem in der Praxis ergibt sich durch die oft unterschiedliche Einschätzung der Befallsstärke durch unterschiedliche Laboratorien. Hier besteht Handlungsbedarf zur Vereinheitlichung der Bewertung.

Tabelle 9: Übersicht der Reinigungsverfahren für verschiedene Oberflächen mit einer Bewertung ihrer Anwendbarkeit

Reinigungsverfahren	Oberfläche		
	glatt, nicht saugfähig	porös	textil
trocken wischen/ abfegen	–	–	–
nass abwischen	+	(+)	–
Dampfreinigung*	(+)	+	–
Waschmaschine	–	–	(+)
Sprüh–Extraktion[1)]	–	+	(+)
Hochdruck–Krake[2)]	–	(+)	–
Absaugen (mit Feinstaubfilter K1–, H–bzw. HEPA-Filter)	(+)	(+)	(+)

+ = geeignet; (+) = bedingt geeignet; – = nicht geeignet

[1)] [2)] Ein Hochdruckwasserstrahl wird auf die Oberfläche gebracht und das Strahlgut gleichzeitig abgesaugt.
[1)] 500 - 3000 bar: Materialabtragung möglich
[2)] 300 bar: nur oberflächlicher Wascheffekt nach der Reinigung ist für eine rasche Trocknung zu sorgen

5.3 Technische Trocknungsmaßnahmen

Grundsätzlich sollte bei Feuchteschäden besonders intensiv gelüftet und geheizt werden. Durch Heizen kann auch im Sommer die Austrocknung beschleunigt werden.

In allen Fällen, in denen Feuchteschäden in Gebäuden so groß sind, dass sie nicht mehr nur durch Lüften und Heizen allein behoben werden können, ist eine Trocknung mit technischen Hilfsmitteln vorzunehmen. Für eine technische Bautrocknung ist eine besondere Sachkunde erforderlich. Die Sachkunde ist plausibel zu belegen.

Mit der Trocknung soll so schnell wie möglich nach Auftreten des Feuchteschadens begonnen werden.

Bei Wasserschäden, die mehrere Tage andauern, muss mit dem Auftreten von Schimmelpilzwachstum gerechnet werden.

Bei Wasserschäden mit fäkal kontaminiertem Wasser (Abwasser, Oberflächenwasser) muss außerdem mit dem Auftreten unterschiedlichster Krankheitserreger gerechnet werden (siehe 4.1.1). Bei solchen Wasserschäden ist eine desinfizierende Reinigung befallener Oberflächen angezeigt. Chlorbleichlauge oder Wasserstoffperoxid werden hierfür eingesetzt, wobei zu beachten ist, dass solche Maßnahmen keine Schädigung des Baukörpers bewirken. Es sind die Bestimmungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (siehe 4.1.3.2) einzuhalten.

Fungizide Wirkstoffe sollten auch hier nicht eingesetzt werden, da diese selbst die Ursache für erneute gesundheitliche Belastungen der Raumnutzer sein können.

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

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

Sind die Bauteile von Schimmelpilzen befallen, muss darauf geachtet werden, dass bei der Trocknung die Sporen nicht im gesamten Gebäude verteilt werden.

Eine Trocknung ist nicht sinnvoll bei Holzwerkstoffplatten, Papier und Pappen. Bei befallenen Dämmmaterialien muss durch weitergehende Untersuchungen geklärt werden, ob ein Ausbau erforderlich ist (siehe 5.2).

Eine technische Trocknung gilt als erfolgreich abgeschlossen, wenn das gesamte Bauteil wieder eine normale Ausgleichsfeuchte besitzt. Nach erfolgreicher Trocknung muss der Zustand der verbleibenden Konstruktion überprüft werden. Bei einwandfreiem Zustand kann mit dem Wiederaufbau begonnen werden.

Es gibt unterschiedliche technische Trocknungsverfahren, die im folgenden kurz erläutert werden.

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

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

Die **Mikrowellentrocknung** beruht auf dem Austreiben der Feuchtigkeit aus den Werkstoffen durch Erhitzung. Allerdings muss die dabei ausgetriebene Feuchtigkeit im Nachgang auf geeignete Weise aus der Raumluft abgeführt werden, so dass in der Regel wieder der Einsatz von Kondensations- oder Adsorptionstrocknern erforderlich ist.

Bei der Mikrowellentrocknung sowie dem Einsatz von Heizstrahlern besteht die akute Gefahr der Brandentwicklung. Sie sollte daher nur in Sonderfällen und von fachkompetenten Personen durchgeführt werden.

Spezielle Trocknungsverfahren sind bei **Fußböden** anzuwenden. Vor Durchführung von Trocknungsmaßnahmen ist durch Öffnung der Fußbodenkonstruktion und ggf. mikrobiellen Untersuchungen an einzelnen Stellen zu prüfen, ob mit Schimmelpilzen kontaminierte Schüttungen und Bodenfüllungen (Trittschalldämmungen etc.) entfernt werden müssen oder ob sie im Baukörper verbleiben können (siehe 5.2, Dämmmaterialien).

Die technische Trocknung bei Fußböden

wird häufig zur Unterestrichtrocknung eingesetzt, wobei drei Varianten zur Anwendung kommen, die im folgenden kurz beschrieben werden. Welches Trocknungsverfahren man anwendet, hängt vom Fußbodenmaterial und den räumlichen Gegebenheiten ab.

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

Beim **Saugverfahren** wird die Raumluft mittels eines Bautrockners getrocknet und über eine Einblasöffnung unter den Estrich gesaugt. Diese trockene Luft nimmt die Feuchtigkeit aus der Trittschalldämmung beim Hindurchströmen mit. Die in der abgesaugten Luft vorhandenen Schimmelpilzsporen werden direkt nach außen geleitet oder über einen nachgeschalteten Filter gefiltert.

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

Nach erfolgter Trocknung sind die Fußbodenöffnungen wieder zu verschließen.

Der Erfolg der Trocknung wird über eine Bestimmung der Raumluft- und Materialfeuchte kontrolliert. Liegt der Wassergehalt bei der normalen Materialausgleichsfeuchte, kann die Trocknung als erfolgreich abgeschlossen gelten.

5.4 Bauliche Maßnahmen nach Sanierung

Die durch den Befall oder durch Reinigungsmaßnahmen beschädigten Oberflächen müssen anschließend wieder hergestellt werden. Der Wiederaufbau des Objektes sollte unter Beachtung der spezifischen Gegebenheiten so erfolgen, dass ein erneutes Schimmelpilzwachstum vermieden wird.

Zur Vermeidung von erneutem Schimmelbefall sind in erster Linie entsprechende Baukonstruktionen und die fachgerechte Bauausführung von Bedeutung.

Aber auch die Auswahl der verwendeten Baumaterialien spielt eine Rolle, da diese Schimmelpilzbildung hemmen können. Mit der Auswahl der verwendeten Baumaterialien kann Einfluss auf die Nährstoffgrundlage für Schimmelpilze genommen werden. Entscheidend ist im Falle von Kondensationsfeuchte die oberste Schicht wie Tapeten und Anstriche. Organische Materialien sind anfälliger für Schimmelpilzwachstum als anorganische. Der Unterschied ist jedoch nicht sehr groß, wenn die Bauteiloberflächen oder die Beschichtungen verschmutzt sind. Verunreinigungen mit organischen Bestandteilen - wie Staub oder Fett - können ausreichend Nährstoffe für Schimmelpilze enthalten. Bei stark verschmutzten Bauteiloberflächen spielt der Untergrund daher kaum eine Rolle.

Spezielle Anstriche und Putze

Da Schimmelpilze bevorzugt in einem bestimmten pH-Bereich wachsen (siehe 2.1.3), kann man durch Kalkanstriche und Kalkputze oder andere mineralische Anstriche erneutem Schimmelpilzbefall vorbeugen. Der pH-Wert wird dabei so weit in den alkalischen Bereich verschoben, dass ein erneutes Keimwachstum an der Oberfläche reduziert oder sogar unterbunden wird. Allerdings hält diese Wirkung nicht für immer an; Kalkanstriche z. B. müssen regelmäßig

erneuert werden, u.a. weil sich der pH-Wert durch Neutralisationsreaktionen allmählich verändern 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 Keimwachstum unterbinden können. Diese Farben sind aber nur in wenigen Farbtönen erhältlich und lassen sich nur auf bestimmten (mineralischen) Oberflächen aufbringen.

Es gibt viele neuere Entwicklungen von Anstrichen, die z. B. durch ihre strukturellen Eigenschaften Tauwasser an der Oberfläche reduzieren und/oder die Oberflächentemperatur der Wand erhöhen und damit einem Schimmelpilzwachstum vorbeugen sollen. Die Wirksamkeit dieser Anstriche zur dauerhaften Vermeidung von Schimmelpilzwachstum ist bis heute aber nicht ausreichend belegt.

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

Abgeraten wird, das sei an dieser Stelle nochmals betont, von der Verwendung fungizider Wirkstoffe im Innenraum[5] (siehe 3.1).

5.5 Gebäudereinigung nach Sanierung

Zur Sanierung gehört auch die abschließende Feinreinigung, die zum Ziel hat, die Staub- bzw. Aerosolbelastung und damit die Konzentration an Schimmelpilzsporen zu reduzieren.

Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten sollte eine Feinreinigung der betroffenen Räume erfolgen.

Bei größeren Sanierungsarbeiten ist zunächst innerhalb der Abschottung eine Feinreinigung vorzunehmen. Dabei ist auf besonders hohe Luftwechselraten mittels Luftaustauschgeräten (LAG) zu achten. Hilfreich ist der zusätzliche Betrieb von HEPA-Raumluftfiltern in den Arbeitsbereichen. Erst nach der erfolgreichen Feinreinigung werden die Abschottungen der Sanierungsbereiche gegen unbelastete Räume abgebaut.

Nach der bautechnischen Instandsetzung und gegebenenfalls der Beseitigung von kleineren Abschottungen und Abdeckungen erfolgt die Feinreinigung aller Oberflächen in den betroffenen Räumen (Reinigungsverfahren siehe 5.9 und Tab. 9). Dabei sollte der Staub mit möglichst geringer Aufwirbelung entfernt werden.

[5] Diese Aussage bezieht sich nicht auf die Verwendung fungizider Wirkstoffe zur Haltbarmachung von Farben während der Lagerung (sogenannte Topfkonservierer).

6 Kontrolle des Sanierungserfolges, Abnahme des Bauwerks

Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten muss der Erfolg der Sanierung kontrolliert und dokumentiert werden.

Nach einer erfolgreichen Sanierung und Reinigung sollten die gemessenen Schimmelpilzkonzentrationen im Bereich der allgemeinen Hintergrundkonzentrationen liegen.

Zunächst muss kontrolliert werden, ob der Schimmelpilz auf dem befallenen Material vollständig beseitigt wurde (dies erfolgt zum Teil bereits während der Sanierung). Wenn bei der Sanierung Desinfektionsverfahren eingesetzt wurden, eignen sich zum Schimmelpilznachweis besonders kultivierungsunabhängige Verfahren (z. B. Tesafilm-Präparate), damit auch abgetötete Schimmelpilze nachgewiesen werden können.

Je nach Art und Schwere des Schimmelpilzschadens können weitere Sanierungskontrollmessungen (bauphysikalisch und mikrobiologisch) notwendig sein.

Solche **Sanierungskontrollmessungen** werden hauptsächlich aus zwei Gründen durchgeführt:

- Kontrolle, ob die Feinreinigung erfolgreich durchgeführt wurde.
  Bei der Sanierung kann eine Vielzahl von Schimmelpilzsporen freigesetzt werden, die vor allem bei unzureichender Reinigung zum erheblichen Anteil im sanierten Objekt verbleiben können (Sekundärbelastung). Häufig kann eine Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft oder im Staub Auskunft darüber geben, ob es durch die Sanierung zu einer nennenswerten Sekundärbelastung des Objektes gekommen ist. Hilfreich kann es bei dieser Art der Sanierungskontrollmessung sein, wenn die Schimmelpilzarten des ursprünglichen Schadens bekannt sind. Wenn bei der Sanierung Desinfektionsverfahren eingesetzt wurden, eignen sich zum Schimmelpilznachweis besonders kultivierungsunabhängige Verfahren (z. B. Gesamtsporenzahlbestimmung in der Luft durch Partikelsammlung), damit auch abgetötete Schimmelpilze nachgewiesen werden können. Solche Messungen können auch bereits während der Sanierung eingesetzt werden, um z. B: den Erfolg von Abschottungsmaßnahmen zu dokumentieren.

- Kontrolle, ob die Ursache für den entstandenen Schimmelpilzschaden behoben worden ist.
  Neben bauphysikalischen Untersuchungen ist von Fall zu Fall zu entscheiden, inwieweit auch eine mikrobiologische Überprüfung des Sanierungserfolges angeraten ist. Diese Untersuchungen sollten unter nutzungsgegebenen Bedingungen (z. B. Staubverwirbelungen oder Feuchtigkeitsentwicklungen) erfolgen. War eine Wärmebrücke die Ursache für den Feuchteschaden, sind die Untersuchungen im darauffolgenden Winter vorzunehmen.

Grundsätzlich empfiehlt sich, bei der Beauftragung von Firmen die konkreten Sanierungsschritte und -ziele vorher zu vereinbaren. Dann kann nach Beendigung der Sanierungsarbeiten – und ggf. auch für Zwischenschritte vor dem Wiederaufbau - das Erreichen dieser Ziele überprüft werden.

Nach der Sanierung ist es auch wichtig, dass – falls erforderlich – dem Raumnutzer Hinweise über notwendige Änderungen des Nutzungsverhaltens (Lüftungs- und Heizverhalten, Aufstellen von Möbeln) an die Hand gegeben werden.

7 Kasuistiken (Fallbeispiele aus der Praxis)

Die nachfolgenden Fallbeispiele sind dankenswerterweise unter Zuarbeit von Frau Ch. Meier, Bezirksamt Altona, Frau Dipl.-Biol. I. Toepfer, Herrn Dr. A. Berg, Herrn Dr. Peylo und Herrn Dipl.-Ing. Th. Guenther entstanden.

7.1 Schimmelpilzsanierung im Dachbereich

Ausgangssituation

Die Bewohner eines im Jahre 2000 errichteten Einfamilienhauses in Massivbauweise klagten 2 Jahre nach dem Einzug über unangenehmen Geruch in Teilen des ausgebauten Dachgeschosses und zunehmende asthmatische Beschwerden. Das Dach war als begrüntes Warmdach ausgeführt. Der Dachaufbau bestand – von innen nach außen – aus Gipskartonplatten, Dampfsperr-Folie (Dicke >100 mm), Mineralwolldämmung 28 cm, Schalung, Dachabdichtung, Gründach. Undichtigkeiten im Bereich der Wandanschlüsse waren bekannt, ein Blower-Door-Test im Jahre 2002 erbrachte jedoch ein knappes Einhalten der Forderungen (DIN 4108-7, 8/2001).

Schadensermittlung

Als erste Maßnahme hatten die Bewohner im Bereich der Decke eine Öffnung in die Gipskartonplatten geschnitten und die Dämmwolle in einem Labor untersuchen lassen. Dabei wurden Feuchtigkeit und eine durch das Untersuchungslabor als hoch eingestufte Keimbelastung im Dämmmaterial gefunden (Schimmelpilze: Gesamtanzahl $10x10^6$/g, anzüchtbare (KBE): $0,3x10^6$/g; Bakterien Gesamtzahl: $97x10^6$/g und anzüchtbare (KBE) $1,5x10^6$/g Dämmmaterial).

Es wurde daher beschlossen, in den fraglichen Deckenbereichen durch ein Sachverständigenbüro für Holzschutz Öffnungen zur genaueren Untersuchung vornehmen zu lassen. Um zu ermitteln, ob eine Schimmelpilzbelastung in der Raumluft vorlag, wurden außerdem Raumluftmessungen in Auftrag gegeben. Die Untersuchungen erfolgten im Oktober 2003 nach einem insgesamt ungewöhnlich warmen und trockenen Sommer.

Raumluftmessungen:

Die Pilzkeimmessungen in der Raumluft ergaben mit 220-1250 KBE/m³ (DG 18-Agar) eine gegenüber der Außenluft mit 820 KBE/m³ kaum erhöhte KBE-Belastung. Auch die Artenzusammensetzung war im Vergleich zur Außenluft unauffällig. *Cladiosporium* ssp. stellten den überwiegenden Anteil der Pilzkeime, daneben waren verschiedene *Aspergillen* vorhanden. Die VOC-Werte waren insgesamt unauffällig. Geringe Erhöhungen waren bei Toluol, Xylol, Terpenen, Butanol und Hexanal zu verzeichnen.

Öffnungen

Es zeigte sich eine massive Schimmelpilzbildung im oberen Bereich der Dämmstoffe und vor allem auf der hölzernen Schalung. Diese war flächig schwarz verfärbt, insbesondere in den Bereichen, in denen geringfügige Leckagen vorhanden waren. In Abklatschproben wurden von einem Speziallabor größtenteils *Aureobasidium* und *Cladosporium* nachgewiesen. Die Holzfeuchte betrug zum Zeitpunkt der Öffnung 16-20 % in der Schalung, die Dachsparren wiesen insgesamt niedrigere Materialfeuchten auf, so dass von einer beginnenden Anfeuchtung aufgrund der äußeren Klimabedingungen (Beginn der Heizperiode) ausgegangen werden konnte. Da in allen Sparrenfeldern schwarzer Bewuchs gefunden wurde, wurde schließlich die gesamte Decke geöffnet.

Schadensursache

Die Randabdichtung (Klebung) der Dampfsperre war vollständig ohne Randleiste (gemäß DIN 4108-7, 8/2001) ausgeführt worden und hatte sich somit aufgrund ihres Eigengewichtes abgelöst. Durch die Undichtigkeiten

kam es bei der zweigeschossigen offenen Bauweise zu einem Kamineffekt und zum Eindringen von warmer (feuchter Luft) aus dem Innenraum in den Dachbereich und zur Wasserdampf-Kondensation an den kalten Oberflächen der Dachschalung.

Sanierung
Wegen des massiven Befalls der Dämmwolle musste diese vollständig entfernt werden.

Die Sanierung erfolgte wegen der Jahreszeit (Winter) von der Raumseite aus. Dazu wurde über ein Gerüst ein Zugang von außen über ein Fenster eingerichtet und das Treppenhaus vom Obergeschoss zu den darunter liegenden Räume vollständig mit Folien und Randdichtung abgeschottet. Der Teppichboden wurde mit Baufolien randschlüssig abgedeckt. Zusätzlich wurde im Aufenthaltsbereich der Familie die Luft mittels eines Luft-Filtergerätes mit HEPA-Filter gereinigt.

Nachdem die Gipskartondecken vollständig abgenommen waren, wurde die Dämmwolle entfernt, vor Ort in Plastiksäcke verpackt und entsorgt. Die Dachschalung (Vollholz) war mechanisch nicht geschädigt. Der Bewuchs war nicht in das Holz vorgedrungen, sondern belegte die Oberfläche in einer Stärke von weniger als 50 µm. Deshalb erfolgte eine Reinigung durch Abschleifen (unter Schutz der Arbeiter mittels Halbmasken und Ganzkörperschutzanzügen).

Der Erfolg der Maßnahme war zwar visuell anhand der gereinigten Schalung sichtbar, sollte aber auch nachgewiesen werden. Deshalb wurden Wischproben vor und nach der Behandlung entnommen. Die Ergebnisse zeigten eine Reduktion der Schimmelpilze auf ein – nach Einschätzung des Untersuchungslabors - unbedenkliches Maß. Drei Tage nach Abschluss der Reinigung wurde die Decke wiederhergestellt und mit Dampfsperre ordnungsgemäß verschlossen.

Während der Arbeiten wurde die Folienabdeckung des Fußbodens von den Handwerkern beschädigt und der textile Belag stark mit Staub und Schmutz kontaminiert. Deshalb erfolgte ein Austausch des Teppichbodens. Alle Räume wurden professionell von einem Gebäudereiniger gereinigt und im Obergeschoss wurden die Wände und Decken neu tapeziert und gestrichen.

7.2 Neubau Einfamilienhaus

Ausgangssituation
Ein konventionell erstelltes Einfamilienhaus befand sich in der Innenausbauphase, als der Bauherr Ende Januar einen Schimmelpilzbefall einiger Gipskartonplatten (GK-Platten) im Dachgeschossbereich feststellte. Bis zur Inbetriebnahme der Heizung Ende Februar nahm der Schimmelbefall deutlich zu und erfasste alle im Obergeschoss eingebauten Gipskarton-Platten (Wände, Decken, Dachschrägen). Die Platten waren vor dem Einbringen des Estrichs und dem Verputzen der massiven Wände im Erdgeschoss eingebaut worden.

Schadensermittlung
Anfang März zeigte sich auf allen im Obergeschoss verbauten GK-Platten starker Schimmelpilzbefall.

Messungen:
In den Materialproben wurden *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. und *Mucor* sp. nachgewiesen. Es wurde der umgehende Ausbau sämtlicher Gipskartonplatten veranlasst und vereinbart, ein Schimmelsanierungskonzept zu erarbeiten. Nach Ausbau des befallenen Materials und vor der weiteren Sanierung wurde Ende März eine Luftkeimmessung vorgenommen, mit folgendem Ergebnis: Außenluft 120 KBE/m³, Erdgeschoss 1110 KBE/m³, Obergeschoss 1570 KBE/m³. Die Ergebnisse bestätigten den Sanierungsbedarf und machten deutlich, dass es zu

einer Kontamination im gesamten Gebäude gekommen war.

Schadensursache
Durch das Einbringen des nassen Betonanstrichs wurden die Gipskarton-Platten im unteren Bereich stark durchfeuchtet. Zusätzlich kam es durch das Anbringen des Innenputzes im EG-Bereich zu einer zeitweisen deutlichen Erhöhung der Raumluftfeuchte im gesamten Haus, die bis zur Austrocknung des Putzes und des Estrichs andauerte. Möglicherweise wurde während dieser Zeit nicht genügend gelüftet, um die Feuchtemengen aus der Raumluft zu entfernen. Die nicht genügend entfernte Baufeuchte und der Bauausführungsfehler (Einbau der Gipskartonplatten vor Estricheinbringung mit offenbar ungenügender Randabdichtung) führten zu den Schimmelpilzproblemen.

Sanierung
Das Gebäude wurde mittels Folienabtrennung in verschiedene Abschnitte unterteilt. Der jeweilige Arbeitsbereich wurde separat belüftet. Zunächst wurde augenscheinlich belastetes Material vom Sanierer unter Beachtung persönlicher Schutzmaßnahmen entfernt. Dann erfolgte eine Feinstaubreinigung mit einem baumustergeprüften Industriesauger mit K1-Zulassung und ein 30-facher Luftwechsel über ein Umluftfiltergerät. Freigelegte und gereinigte Oberflächen wurden anschließend mit 70-80%igem Alkohol (Brennspiritus) desinfiziert. Da bei der Desinfektion mit Alkohol nicht ausgeschlossen werden kann, dass explosive Mischungen entstehen, wurde unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen gearbeitet. Im Anschluss an diese Arbeiten, vor Wiederaufbau, wurden Luftkeimmessungen mit folgendem Ergebnis vorgenommen: Außenluft 20 KBE/m³, Erdgeschoss 60 KBE/m³, Obergeschoss 140 KBE/m³. Ein Erfolg der Reinigungsarbeiten war erkennbar, so dass Anfang April mit der Fertigstellung der Innenausbauarbeiten begonnen werden konnte. Dem Bauunternehmer wurden Hinweise zu Heizung und Lüftung sowie Materialempfehlungen an die Hand gegeben.

Nach Abschluss der Malerarbeiten, Ende Mai, wurde erneut eine Kontrollmessung vorgenommen. Dabei ergaben sich in der Außenluft jahreszeitlich bedingt 790 KBE/m³, im Erdgeschoss 390 KBE/m³, im Obergeschoss 420 KBE/m³,. Die Artenzusammensetzung im Innenraum war unauffällig; es handelte sich dabei überwiegend um *Cladosporium* spp., die offensichtlich von außen in die Raumluft eingetragen wurden. Der Sanierungserfolg war somit gegeben.

8 Weiterführende Literatur

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW); Deutsche Energieagentur (DENA): Gesund Wohnen durch richtiges Lüften und Heizen. Informationsbroschüre, Berlin (2004)

Deutsches Institut für Normung: DIN 1946 Teil 6: Raumlufttechnik – Lüftung von Wohnungen. Beuth-Verlag, Berlin, September 1994

DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003

DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Beiblatt 2: Planungs- und Ausführungsbeispiele. Januar 2004

DIN EN ISO 13788 – Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinnern – Berechnungsverfahren. November 2001

DIN EN ISO 15927-1 Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten Teil 1: Monats- und Jahresmittelwerte einzelner meteorologischer Elemente. November 2003

DRAVE, T.: Sorptionsverhalten von hygroskopischen Raumoberflächen und Auswirkung auf das Raumklima. Diplomarbeit, Fraunhofer-Institut für Bauphysik; FH Rosenheim (2003)

GRUNDMANN, K.-O.; RÜDEN, H. und SONNTAG, H.-G.: Lehrbuch der Hygiene. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (1991)

HANKAMMER, G. und W. LORENZ: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden. Verlag Rudolf Müller, Köln (2003)

ISENMANN, W.: Feuchtigkeitserscheinungen in bewohnten Gebäuden. Verlag für Wirtschaft und Verwaltung, Essen, 2. Auflage (2000)

KRUS, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Messtechniken. Dissertation, Universität Stuttgart (1995)

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Abgestimmte Ergebnisprotokolle der Arbeitsgruppe „Analytische Qualitätssicherung im Bereich der Innenraumluftmessung biologischer Schadstoffe“ am Landesgesundheitsamt Baden Württemberg 14.12.2001, Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, Stuttgart (2001)

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen, Stuttgart (2004)

MORISKE, H.-J. und R. BEUERMANN: Schadstoffe in Wohnungen – Hygienische Bedeutung und rechtliche Konsequenzen. Grundeigentum-Verlag, Berlin (2004)

MÜCKE, W. und Ch. LEMMEN: Schimmelpilze – Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen. ecomed-Verlag, Landsberg, 3. Auflage (2004)

REISS, J.: Schimmelpilze – Nutzen, Schaden, Bekämpfung. 2. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg (1988)

RICHTER, W.; HARTMANN, T.; KREMONKE, A. und D. REICHEL.: Gewährleistung einer guten Raumluftqualität bei weiterer Senkung der Lüftungswärmeverluste**.** TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische

Gebäudeausrüstung, Fraunhofer IRB Verlag (1999), ISBN 3-8167-5724-3

SEDLBAUER, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation, Universität Stuttgart (2001)

SMITH, S. L.; HILL, S. T.: Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *Aspergillus versicolor*. Transactions of the British Mycological Society Vol. 79 (1982), H. 3, S. 558–560

TRAUTMANN, C.; GABRIO, T.; DILL, I.; WEIDNER, U.; und C. BAUDISCH: Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in Luft. Bundesgesundheitsblatt 1/2005, S. 12–20

TRBA 405: Anwendung von Messverfahren für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe (BArbBl. 1/97)

TRBA 430: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (BArbBl. 17/97)[6]

TRBA 460: Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (BArbBl. 12/98)

TRBA 500: Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen (BArbBl. 6/99)

TRGS 524: Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen

TRGS 540: Sensibilisierende Stoffe

TRGS 907: Verzeichnis sensibilisierender Stoffe

TRGS 908: Begründung zur Bewertung von Stoffen der TRGS 907

Umweltbundesamt: Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen, Berlin (2002)

VDI-Richtlinie 2079: Abnahmeprüfung an raumlufttechnischen Anlagen. VDI-Verlag, Düsseldorf 1983

VDI-Richtlinie 4300, Blatt 10: Messen von Innenluftverunreinigungen – Messstrategie für die Erfassung von Schimmelpilzen im Innenraum. VDI-Verlag, Düsseldorf, in Erarbeitung.

VDI-Richtlinie 6022, Blatt 1. Hygienebewusste Planung, Ausführung, Betrieb und Instanthaltung raumlufttechnischer Anlagen. VDI-Verlag Düsseldorf, März 1997. Ist in Überarbeitung:

VDI-Richtlinie 6022, Blatt 1 (Gründruck). Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen. VDI-Verlag Düsseldorf 2005

Verordnung zur Umsetzung von EG-Richtlinien über den Schutz der Beschäftigten gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit, Artikel1: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) vom 27. Januar 1999

[6] Die TRBA 430 „Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentrationen in der Luft in Arbeitsbereichen“ wurde im BArbBl 3-2003, S. 68 aufgehoben, weil zukünftig entsprechend eines Beschlusses des ABAS alle Standard-Messverfahren in die BIA-Arbeitsmappe: Messung von Gefahrstoffen aufgenommen werden (siehe 30. Ergänzungslieferung der BIA-Arbeitsmappe vom April 2003). Konkretisierungen hierzu finden sich auch in der TRBA 405

9 Glossar

Im Text des Leitfadens werden Fachausdrücke in folgender Bedeutung verwendet:

Adsorption:
Anlagerung von Gasen oder Flüssigkeiten an Oberflächen von festen Materialien allein durch Oberflächenkräfte und nicht durch chemische Bindung. In diesem Zusammenhang: die Aufnahme von Wasser an/in Baumaterialien.
Gegenteil: → Desorption

Biofilme:
Ansammlung von → Mikroorganismen und durch sie gebildete schleimige Substanzen auf Oberflächen.

Desorption:
Abgabe von Gasen oder Flüssigkeiten aus Oberflächen fester Materialien. In diesem Zusammenhang: Entweichen von Wasser aus Baumaterialien
Gegenteil: → Adsorption

Fadenpilze*:
Pilze, die in Form von Zellfäden, den → Hyphen, wachsen.
Anmerkung: Der Begriff „Fadenpilze“ grenzt die hyphenbildenden Pilze gegen die Hefen, die so genannten Sprosspilze, ab.

Freie Lüftung:
Luftaustausch durch Fensterlüftung und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle.

HEPA-Filter:
(High Efficiency Particulate Air Filter): Feinstaubfilter, das mit großer Effektivität kleine Partikel und damit auch Schimmelpilzsporen zurückhält.

Hintergrundkonzentration:
Konzentration an → Mikroorganismen, die in ihrer Art und Menge bezogen auf Ort und Zeit natürlicherweise in der Luft oder im Material anzutreffen sind.

Hyphen:
Zellfäden von Pilzen
Anmerkung: Die einzelnen Hyphen sind nur unter dem Mikroskop zu erkennen. Die Gesamtheit der Hyphen bezeichnet man als → Myzel.

Isoplethen:
Linien gleicher Sporenauskeimungszeit oder gleichen Wachstums in einem Diagramm.

Isoplethensystem:
Auskeimungszeit und Wachstumsraten in Abhängigkeit von Feuchtigkeit und Temperatur.

Isothermen:
Linien gleicher Temperatur in einem Diagramm.

Koloniebildende Einheit (KBE)*:
Einheit, in der die Anzahl der anzüchtbaren (kultivierbaren) Mikroorganismen ausgedrückt wird [DIN EN 13098].
Anmerkung 1: Eine koloniebildende Einheit kann aus einem einzigen Mikroorganismus entstehen, einem Aggregat mehrerer Mikroorganismen oder aus Mikroorganismen, die an einem Partikel anhaften.
Anmerkung 2: Die Anzahl der gewachsenen Kolonien hängt von den Anzuchtbedingungen ab.

Kultivierung*:
Anzucht von zum Wachstum befähigten Mikroorganismen auf/in Nährmedien.
Anmerkung: Sollen alle Schimmelpilze – d.h. auch nicht wachsende oder tote – erfasst werden, müssen kultivierungsunabhängige Verfahren wie z. B. die Mikroskopie eingesetzt werden.

Kultivierbare Schimmelpilze*:
Anteil an der Gesamtzahl von Schimmelpilzen, der unter den verwendeten Kultivierungsbedingungen angezüchtet werden kann.
Anmerkung 1: Die Kultivierbarkeit hängt z. B. von der Art des verwendeten Nährmediums und der Inkubationstemperatur (25° oder 37°) ab.
Anmerkung 2: Auch tote Sporen sind nicht kultivierbar und können nur durch mikroskopische Methoden (Partikelauswertung) nachgewiesen werden.

Mechanische Lüftung:
Lüftung mit Hilfe von Zu- und Abluftanlagen

Mikroorganismus*:
Zelluläre oder nichtzelluläre mikrobiologische

Einheit, die befähigt ist, sich zu vermehren oder genetisches Material zu übertragen, oder eine Einheit, die diese Eigenschaft verloren hat (DIN EN 13098).
Anmerkung: Zu diesen mikroskopisch kleinen Organismen zählen damit z. B. Viren, Bakterien und Schimmelpilze.

Myzel*:
Gesamtheit der → Hyphen von Pilzen
Anmerkung: das Myzel von Schimmelpilzen ist meist mit bloßem Auge nicht sichtbar. Erst wenn es zur Bildung von Sporen kommt, werden die Schimmelpilze als z. T. gefärbte (z. B. grün, braun, schwarz) Beläge wahrgenommen.

Nährstoffe:
Stoffe, die von → Mikroorganismen (z. B. Schimmelpilzen) zum Wachstum benötigt werden.

Oberflächenfeuchte:
Relative Feuchte an der Oberfläche eines Materials.

Raumluftfeuchte:
Relative Feuchte in der Raumluft.

Schimmelpilze*:
→ Fadenpilze aus den Gruppen *Zygomycetes*, *Ascomycetes* und *Deuteromycetes* (Fungi imperfecti), die ein Myzel und Sporen bilden, wodurch sie makroskopisch als (oft gefärbter) Schimmelpilzbelag sichtbar werden.
Anmerkung 1: Schimmelpilze sind keine taxonomisch einheitliche Gruppe
Anmerkung 2: Von den unterschiedlichen Fadenpilzgruppen werden Konidien (Deuteromycetes) oder Sporangiosporen (Zygomycetes) und seltener Ascosporen (Ascomycetes) gebildet. In der Praxis wird für all diese Verbreitungsstadien der Überbegriff „Sporen“ verwendet.
Anmerkung 3: Schimmelpilze werden mit Doppelnamen benannt z. B. Aspergillus fumigatus, wobei der erste Name die Gattung (Aspergillus) und der zweite Name die Art bezeichnet.

Schimmelpilzbefall:
Erhöhte Konzentration von → Schimmelpilzen auf/in Materialien
Anmerkung 1: Bei primärem Befall wachsen die Schimmelpilze direkt auf dem befallenen Material. Auch zurückliegendes Schimmelpilzwachstum, das - z. B. durch Austrocknung - nicht mehr aktiv ist, stellt einen primären Befall dar.
Anmerkung 2: Bei sekundärem Befall fand/findet auf dem Material kein Wachstum statt. Die erhöhte Konzentration an Schimmelpilzen hat ihre Ursache in einer Verunreinigung der Materialien mit Schimmelpilzsporen aus einem primären Befall.

Sorptionsgleichgewicht:
Gleichgewicht zwischen → Adsorption und → Desorption.

Sporen:
Zusammenfassender Begriff für alle Verbreitungseinheiten von → Schimmelpilzen.

Sporenauskeimungszeit:
Zeitraum bis die Spore aus ihrem Überdauerungszustand auf Wachstum umstellt.
Anmerkung: Unter dem Mikroskop wird beim Auskeimen die Ausbildung des Myzels sichtbar.

Substrat:
→ Nährstoffquelle für → Mikroorganismen.
Anmerkung: Im Zusammenhang mit Schimmelpilzwachstum auf Materialien kommen als Substrate die Baustoffe sowie Verschmutzungen auf dem Material in Betracht.

Tauwasser:
Überschüssiger Wasserdampf, der beim Abkühlen der Luft, wenn die relative Feuchte 100 % erreicht ist, in Form von flüssigem Wasser anfällt.
Anmerkung 1: Dies geschieht z. B. wenn warme, feuchte Luft auf kalte Wände trifft
Anmerkung 2: Tauwasser wird of auch als Schwitzwasser oder Kondenswasser bezeichnet.

Wärmebrücken:
Örtlich begrenzte Stellen in den Umfassungsflächen (Wände, Decken, Fußböden) eines Gebäudes, durch die nach außen ein erhöhter Wärmeabfluss stattfindet.
Anmerkung: Aufgrund des erhöhten Wärmeabflusses sind diese Stellen kälter als die restlichen Wände und eher anfällig für → Tauwasserausfall.

Wärmedämmung
Maßnahmen, durch die der Wärmeabfluss vermindert und dadurch auf der Innenseite der Bauteile eine erhöhte Temperatur erreicht wird.

Wasseraktivität
Für die Schimmelpilze frei verfügbares, also nicht chemisch gebundenes Wasser.

* aus den Richtlinien VDI 4250, VDI 4251, VDI 4252, VDI 4253, VDI 4255, VDI 4256 und VDI 4300 Blatt 10, teilweise verändert

ANHANG

Ergänzung zum „Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden“ – Aktualisierte Beurteilungskriterien

Nach neueren Untersuchungsergebnissen, unter anderem zur Hintergrundbelastung von Schimmelpilzen in der Innenraumluft von Wohngebäuden, ist die Innenraumluft-hygienekommission zu der Auffassung gelangt, dass die im ersten Schimmelpilzleitfaden festgelegten Bewertungsmaßstäbe für kultivierbare Schimmelpilze ergänzt werden sollte. In der nachfolgenden Tabelle sind die Änderungen grau unterlegt. Sie sollten zukünftig bei der Heranziehung der Bewertungshilfe für Luftproben berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Bewertungshilfe für Luftproben – kultivierbare Schimmelpilze
Die fünf Zeilen der Tabelle sind nicht als eigenständige Kriterien gedacht, sondern sind in einer umfassenden Auswertung gemeinsam zu betrachten.

Innenluft-Parameter	Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle nicht auszuschließen[1)]	Innenraumquelle wahrscheinlich [2)]
Cladosporium sowie andere Pilzgattungen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen können (z.B. sterile Myzelien, Hefen, Alternaria, Botrytis)	Wenn die KBE/m³ einer Gattung in der Innenluft unter dem 0,7 bis 1-fachen der Außenluft liegen $I_{typ\ A} < A_{typ\ A}$ x 0,7 (+0,3)	Wenn die KBE/m³ einer Gattung in der Innenluft nicht über dem 1,5 ± 0,5-fachen der Außenluft liegen $I_{typ\ A} \leq A_{typ\ A}$ x 1,5 (± 0,5)	Wenn die KBE/m³ einer Gattung in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegen $I_{typ\ A} > A_{typ\ A}$ x 2
Summe der KBE aller untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten nicht über 150 KBE/m³ liegt $I_{\Sigma untyp\ A} \leq A_{\Sigma untyp\ A} + 150$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten nicht über 500 KBE/m³ liegt. $I_{\Sigma untyp\ A} \leq A_{\Sigma untyp\ A} + 500$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten über 500 KBE/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 zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der Gattung nicht über 100 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ G} \leq A_{Euntyp\ G} + 100$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der Gattung nicht über 300 KBE/m³ liegt. $I_{Euntyp\ G} \leq A_{Euntyp\ G} + 300$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft Gattung über 300 KBE/m³ liegt. $I_{Euntyp\ G} > A_{Euntyp\ G} + 300$
***eine* Art** der untypischen Außenluftarten **mit gut flugfähigen Spore**	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ A} \leq A_{Euntyp\ A} + 50$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ A} \leq A_{Euntyp\ A} + 100$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ A} > A_{Euntyp\ A} + 100$
***eine* Art** der untypischen Außenluftarten **mit geringer Sporenfreisetzungsrate**, z.B. *Phialophora* sp., *Stachybotrys chartarum*	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 30 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ AGS} \leq A_{Euntyp\ AGS} + 30$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ AGS} \leq A_{Euntyp\ AGS} + 50$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m³ liegt $I_{Euntyp\ AGS} > A_{Euntyp\ AGS} + 50$

Innenluft-Parameter	Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle nicht auszuschließen[1)]	Innenraumquelle wahrscheinlich [2)]
diverse Pilzsporen, die nicht dem Typ Basidiosporen oder Ascosporen angehören	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der diversen Pilzsporen nicht über 400 liegt $I_{divers} \leq A_{divers} + 400$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der diversen Pilzsporen nicht über 800 liegt $I_{divers} \leq A_{divers} + 800$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der diversen Pilzsporen 800 übersteigt $I_{divers} > A_{divers} + 800$
Myzelstücke	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Myzelstücke nicht über 150 liegt $I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 150$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Myzelstücke nicht über 300 liegt $I_{Myzel} \leq A_{Myzel} + 300$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Myzelstücke 300 übersteigt $I_{Myzel} > A_{Myzel} + 300$

Legende zu Tabelle 1

Veränderungen sind grau unterlegt

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

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 (wie z. B. Cladosporium, sterile Myzelien, ggf. Hefen, ggf. Alternaria, ggf. Botrytis)
untyp A = untypische Außenluftarten bzw. -gattungen (z. B. Pilzarten mit hoher Indikation für Feuchteschäden wie Acremonium sp., Aspergillus versicolor, A. penicillioides, A. restrictus, Chaetomium sp., Phialophora sp., Scopulariopsis brevicaulis, S. fusca, Stachybotrys chartarum, Tritirachium (Engyodontium) album, Trichoderma sp.)
Σ*untyp A* = Summe der untypischen Außenluftarten (andere als typ A)
Euntyp A = eine Art, die untypisch ist in der Außenluft und gut flugfähige Sporen besitzt
Euntyp AGS = eine Art, die untypisch ist in der Außenluft und Sporen mit geringer Flugfähigkeit besitzt (diese Zeile konkretisiert das ! in der Tabelle 8 des Schimmelpilzleitfadens)
Euntyp G = eine Gattung, die untypisch ist in der Außenluft

Tabelle 2: Bewertungshilfe von Luftproben – Partikelauswertung

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

Gesamtpilzsporen Holbach Objektträger (C-1.2.5)	**Innenraumquelle unwahrscheinlich**	**Innenraumquelle nicht auszuschließen[1) 3)]**	**Innenraumquelle wahrscheinlich [2)]**
Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen z. B. Typ Ascosporen Typ *Alternaria/ Ulocladium,* Typ Basidiosporen *Cladosporium* spp.	Wenn die Summe eines Sporentyps in der Innenluft nicht über dem 1 bis 1,2-fachen der Außenluft liegt $I_{typ\ A} \leq A_{typ\ A}$ x 1 (+0,2)	Wenn die Summe eines Sporentyps in der Innenluft nicht über dem 1,6 (± 0,4) -fachen der Außenluft liegt $I_{typ\ A} \leq A_{typ\ A}$ x 1,6 (± 0,4)	Wenn die Summe eines Sporentyps in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegt $I_{typ\ A} > A_{typ\ A}$ x 2
Typ *Penicillium/Aspergillus*	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft für den Sporentyp *Penicillium/ Aspergillus* nicht über 300 liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 300$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft für den Sporentyp *Penicillium/ Aspergillus* nicht über 800 liegt $I_{\Sigma P+A} \leq A_{\Sigma P+A} + 800$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft für den Sporentyp *Penicillium/ Aspergillus* über 800 liegt $I_{\Sigma P+A} > A_{\Sigma P+A} + 800$
Typ *Chaetomium*	Wenn in der Innenraumluft nicht mehr Chaetomiumsporen als in der Außenluft vorliegen $I_{Chaetom} \leq A_{Chaetom}$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Chaetomiumsporen nicht über 20 liegt $I_{Chaetom} \leq A_{Chaetom} + 20$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Chaetomiumsporen über 20 liegt $I_{Chaetom} > A_{Chaetom} + 20$
Typ *Stachybotrys*	Wenn in der Innenraumluft nicht mehr Stachybotryssporen als in der Außenluft vorliegen $I_{Stachy} \leq A_{Stachy}$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Stachybotryssporen nicht über 10 liegt $I_{Stachy} \leq A_{Stachy} + 10$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft der Stachybotryssporen über 10 liegt $I_{Stachy} > A_{Stachy} + 10$

Legende zu Tabelle 2

Veränderungen sind grau unterlegt

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

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

A = Konzentration in der Außenluft in Anzahl Sporen/m3,
I = Konzentration in der Innenraumluft in Anzahl Sporen/m3
typ A = Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen wie z.B. Ascosporen, *Alternaria*/*Ulocladium*, Basidiosporen, Cladosporium sp.
ΣP+A = Summe der Sporen vom Typ Penicillium und Aspergillus
Chaetom = Summe der Sporen vom Typ Chaetomium sp.
Stachy = Summe der Sporen vom Typ Stachybotrys chartarum
divers = Summe diverser uncharakteristischer Sporen, die nicht dem Typ Ascosporen, Typ *Alternaria*/*Ulocladium*, Typ Basidiosporen oder *Cladosporium* sp angehören