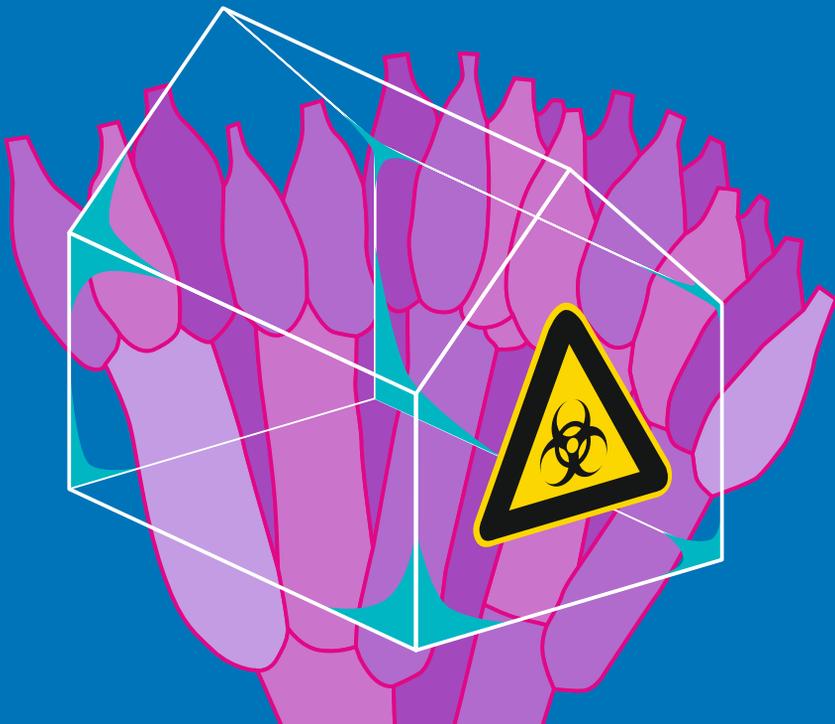


Gunter Hankammer

# Schimmelpilze in Gebäuden

Erkennen und Beurteilen von  
Symptomen und Ursachen

3. Auflage



Rudolf Müller

Hochbau

Gunter Hankammer **Schimmelpilze in Gebäuden**

# Schimmelpilze in Gebäuden

Erkennen und Beurteilen von Symptomen  
und Ursachen

3., überarbeitete und aktualisierte Auflage

mit 411 Abbildungen und 102 Tabellen

## **Gunter Hankammer**

Dipl.-Ing., öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Gebäuden sowie für Schimmelpilze und andere Innenraumschadstoffe (Handelskammer Hamburg), öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Sachfragen der Honorierung von Architektenleistungen gemäß HOAI (Hamburgische Architektenkammer), beratender und bauvorlageberechtigter Ingenieur (Hamburgische Ingenieurkammer)



Rudolf Müller

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

3., überarbeitete und aktualisierte Auflage 2016

© Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2016  
Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich seiner Bestandteile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme.

Maßgebend für das Anwenden von Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. Maßgebend für das Anwenden von Regelwerken, Richtlinien, Merkblättern, Hinweisen, Verordnungen usw. ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der jeweiligen herausgebenden Institution erhältlich ist. Zitate aus Normen, Merkblättern usw. wurden, unabhängig von ihrem Ausgabedatum, in neuer deutscher Rechtschreibung abgedruckt.

Das vorliegende Werk wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Verlag und Autor können dennoch für die inhaltliche und technische Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes keine Haftung übernehmen.

Wir freuen uns, Ihre Meinung über dieses Fachbuch zu erfahren. Bitte teilen Sie uns Ihre Anregungen, Hinweise oder Fragen per E-Mail: [fachmedien.bau@rudolf-mueller.de](mailto:fachmedien.bau@rudolf-mueller.de) oder Telefax: 0221 5497-6141 mit.

Lektorat: Dr. Doris Kliem, Urbach  
Umschlaggestaltung: Künkelmedia, Brühl  
Satz: Hackethal Producing, Asbach  
Druck und Bindearbeiten: Buchdruck Zentrum, Landshut  
Printed in Germany

ISBN 978-3-481-03372-9 (Buchausgabe)  
ISBN 978-3-481-03373-6 (PDF als E-Book)

---

## Vorwort

### Vorwort zur 3. Auflage

13 Jahre nach dem Erscheinen der 1. Auflage war es an der Zeit, eine grundlegende Überarbeitung des Werkes vorzunehmen, um auf aktuelle Regelwerke eingehen zu können, aber auch, um neue Erkenntnisquellen zu berücksichtigen und um Erfahrungen aus der Praxis in das Werk einfließen zu lassen.

Hamburg, im April 2016

Gunter Hankammer

### Auszug aus dem Vorwort zur 1. Auflage

„Bauen ist der Kampf des Menschen gegen das Wasser“ lautet die schlichte Beschreibung eines sehr komplexen Themas. Mit fortschreitenden Technologien sind wir mehr und mehr in der Lage, wasser- und luftdichte Gebäude zu produzieren. Gleichwohl zeigt ein stetig steigendes Aufkommen von Schimmelpilzfällen, dass weiterhin Handlungsbedarf besteht. Tatsächlich tritt zunehmend ein zeitgenössisches Problem in den Vordergrund: der Schutz des Objekts vor Feuchte, die im Gebäude selbst entsteht.

Eine pauschale Schnelldiagnostik lässt sich in der Regel für die Ursache mikrobiologischer Schäden nicht seriös treffen. Die gutachterliche Praxis zeigt vielmehr, dass die Gründe für eine Schimmelpilzbildung auch sehr vielschichtig sein können. In der Konsequenz muss daher jeder erkannte mikrobielle Befall auf seine individuelle Verursachung hin gründlich untersucht werden. Dieses Buch soll allen denen als Leitfaden dienen, die mit der Beurteilung von mikrobiellen Schäden an Gebäuden in der Praxis befasst sind.

Für Hinweise unter der E-Mail-Adresse [gunter@hankammer.de](mailto:gunter@hankammer.de) bin ich dankbar.

Hamburg, im August 2003

Gunter Hankammer

### Danksagung

Für die fachliche Unterstützung und Hilfe bei der Entwicklung und Umsetzung des Werkes gilt mein besonderer Dank:

Frau Dipl.-Ing. (FH) Katrin Timm

Frau Dr. Doris Kliem (Lektorin)

Frau Christiane Hackethal (Satz)

Das Buch ist meiner Frau Susanne gewidmet.

### **Geleitwort zur 3. Auflage**

Schimmelbefall in Innenräumen ist nach wie vor eines der Hauptthemen bei Anfragen zu Innenraumbelastungen an das Umweltbundesamt. In den letzten Jahren ist zwar baulich viel erreicht worden, um Bauschadenseinflüsse, wie undichte Gebäude, Feuchteintritt in Gebäude über vertikale und horizontale Abdichtungsfehler usw., zu vermeiden sowie die energetische Verbesserung von Gebäuden voranzutreiben. Bauphysikalisch und bauschadensmäßig müsste danach vieles besser sein als früher. Das ist in der Praxis aber leider nicht überall der Fall.

So werden Gebäude entweder unsachmässig saniert oder es wird bei Neubauten nicht die nötige Sorgfalt auf die Abdichtung und Vermeidung von Wärmebrücken und energetischen Gebäudeschwachstellen gelegt. Dämmungen von alten Gebäuden werden nicht nur außen, sondern zunehmend auch innen angebracht, was durchaus möglich ist, aber besondere Sorgfalt und Vorsicht erfordert, damit es hinter den Vorwandschalen später nicht zu Feuchteschäden und Schimmelbefall kommt.

Neben baulichen Einflussfaktoren trägt auch der Raumnutzer weiter zum Schimmelrisiko bei. Trotz aller Aufklärungskampagnen überrascht uns immer wieder, wie wenig doch Raumnutzer über sachgemäßes Lüften und Vermeiden von Feuchteinträgen in die Innenraumluft wissen. Hier ist stetiger Aufklärungsbedarf weiter vonnöten.

Das Umweltbundesamt hat das weiterhin wichtige Thema „Schimmel“ zum Anlass genommen, seine beiden Schimmelleitfäden aus den Jahren 2002 und 2005 grundlegend zu überarbeiten. Der neue Schimmelleitfaden 2016 ist fertig und wird zunächst für 3 Monate zur öffentlichen Diskussion in das Netz gestellt. Im Herbst 2016 ist mit einem offiziellen Erscheinen zu rechnen.

Neben diesen staatlichen Empfehlungen sind Hinweise und Vorschläge für die praktische Herangehensweise in Ratgebern und Sachbüchern weiterhin sehr willkommen. In diesem Sinne wird auch das vorliegende Sachbuch, das numehr bereits in 3. Auflage erscheint, helfen, die Adressaten vor Ort besser zu erreichen und für sachgerechte Vorgehensweisen bei der Erfassung und besonders auch bei der Sanierung von Schimmelbefall zu sorgen.

Der Autor hat erneut eine Menge Grundlagenwissen zusammengetragen und aktualisiert sowie praktische Lösungsansätze beschrieben. Der Praxisbezug steht dabei im Vordergrund und das ist gut so.

Wir wünschen dem Autor viel Erfolg!

Dessau, im März 2016

Dr.-Ing. Heinz-Jörn Moriske  
Direktor und Professor  
im Umweltbundesamt Dessau/Roßlau  
Beratung Umwelthygiene Fachbereich II (BU)

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	5
<b>1 Einleitung</b>	15
1.1 Schimmelpilze in der Umgebung des Menschen	16
1.2 Nutzung von Schimmelpilzen	25
1.3 Wachstum und Stoffwechsel von Schimmelpilzen	28
1.3.1 Wachstum	28
1.3.1.1 Lebenszyklus	28
1.3.1.2 Wachstumsphasen	29
1.3.1.3 Flugfähigkeit der Sporen	30
1.3.1.4 Wachstumsbedingungen	32
1.3.2 Stoffwechsel	38
<b>2 Gesundheitsrisiko Schimmelpilze</b>	39
2.1 Gesundheitsgefahren	39
2.2 Aufnahmepfade	44
2.3 Risikobewertung	45
<b>3 Schimmelpilze in Gebäuden</b>	51
3.1 Feuchte in Gebäuden	53
3.1.1 Durchfeuchtungen	55
3.1.2 Hygrothermische Ursachen für Feuchte in Gebäuden	57
3.2 Schäden an Gebäuden durch mikrobiellen Befall	62
3.3 Ursachenkategorien der Schimmelpilzentstehung	64
3.3.1 Ursache HN1: überhöhter Feuchteanfall	66
3.3.1.1 Symptome	66
3.3.1.2 Feuchtequellen	70
3.3.2 Ursache HN2: falsches Lüftungsverhalten	72
3.3.2.1 Begriffe und Regelungen zum Lüftungsverhalten	75
3.3.2.2 Ursachenvariante permanente Kipplüftung	81
3.3.3 Ursache HN3: unzureichende Beheizung	85
3.3.4 Ursache HN4: Mobiliar und Vorhänge vor Außenwänden	89
3.3.5 Ursache HN5: Abdeckung der Heizkörper durch Mobiliar und Inventar	94
3.3.6 Ursache HN6: vom Nutzer verursachte Havarien	94
3.3.7 Ursache HF1: Funktionsstörungen an Einzelraumlüftern	100
3.3.8 Ursache HF2: Funktionsstörungen an Heizungen	102

3.3.9	Ursache HK1: raumseitige Wärmedämmung von Außenwänden .....	103
3.3.9.1	Bauphysikalische Bewertung von nachträglichen Wärmedämmungen .....	103
3.3.9.2	Innendämmsysteme .....	107
3.3.9.3	Thermo- und Korktapeten .....	109
3.3.9.4	Vorsatzschalen vor Außenwänden .....	112
3.3.10	Ursache HK2: geringe Wärmedämmung von Außenwänden ..	115
3.3.11	Ursache HK3: geometrische Wärmebrücken .....	118
3.3.12	Ursache HK4: Behinderung des Warmluftzirkulationsstroms	122
3.3.13	Ursache HK5: Einbau neuer Fenster bei der Altbau-modernisierung .....	126
3.3.14	Ursache HK6: konstruktionsbedingte Wärmebrücken .....	131
3.3.14.1	Raumseitige Oberflächentemperaturen im Bereich von Wärmebrücken.....	132
3.3.14.2	Ursachen von Wärmebrücken .....	134
3.3.15	Ursache HK7: unterdimensionierte Lüftungsmöglichkeiten..	138
3.3.16	Ursache HK8: Anfangsfeuchte im Neubau .....	146
3.3.16.1	Begriffsdefinitionen .....	147
3.3.16.2	Regelung des Feuchtegehalts im Bauteilquerschnitt .....	150
3.3.16.3	Ursachen von Anfangsfeuchte im Neubau .....	151
3.3.17	Ursache D1: horizontale Durchfeuchtung von Außenwänden	163
3.3.17.1	Folgen .....	164
3.3.17.2	Ursachen .....	165
3.3.18	Ursache D2: vertikal aufsteigende Feuchte in Wänden .....	168
3.3.19	Ursache D3: Leitungswasserschäden .....	172
3.3.19.1	Regelung und Nachweis .....	172
3.3.19.2	Ursachen .....	175
3.3.20	Ursache D4: Dachleckagen .....	179
3.3.20.1	Ursachen .....	180
3.3.21	Ursache D5: Naturereignisse .....	185
<b>4</b>	<b>Vorgehensweise bei Symptomen eines Schimmelpilzbefalls .....</b>	<b>187</b>
4.1	Mess- und Analyseplanung .....	187
4.2	Verdacht auf Befall oder sichtbare Symptome .....	187
4.3	Einschalten von Sonderfachleuten .....	190
4.4	Befragung/Gebäudeanamnese .....	191
4.5	Inspektion .....	192
4.6	Schadenskataster .....	194

---

<b>5</b>	<b>Bauphysikalische Untersuchungsmethoden</b> .....	197
5.1	Feuchtebestimmung von Stoffen und Bauteilen .....	197
5.1.1	Elektronische Feuchtemessung nach dem Widerstandsmessprinzip .....	197
5.1.2	Elektronische Feuchtemessung nach dem Hochfrequenzverfahren (kapazitive Messung) .....	200
5.1.3	Elektronische Feuchtemessung nach dem Mikrowellenverfahren .....	202
5.1.4	Elektronische Klimamessung der Ausgleichsfeuchte .....	202
5.1.5	Feuchtemessung nach dem CM-Verfahren .....	203
5.1.6	Gravimetrische Feuchtemessung (Darrprobe) .....	204
5.1.7	Feuchtemessung mit der Neutronensonde .....	208
5.2	Instationäre Wärme- und Feuchtebestimmung mittels Computerprogrammen .....	209
5.3	Kohlendioxidmessung .....	210
5.4	Bestimmung der Luftdichtheit mittels Blower-Door-Prüfverfahren .....	211
5.5	Bestimmung der Oberflächentemperatur .....	213
5.5.1	Messung der Oberflächentemperatur mit Messfühlern .....	213
5.5.2	Messung der Oberflächentemperatur mit Infrarotthermografie .....	214
5.5.3	Messung der Oberflächentemperatur mit Gebäudethermografie .....	215
5.6	Bestimmung des Luftvolumenstroms von Lüftungsanlagen	216
5.7	Bestimmung des Wassereindringens in Fassaden mit Karstenschen Prüfröhrchen .....	216
5.8	Stationäre Klimamessung (relative Luftfeuchte und -temperatur) .....	218
5.9	Instationäre Klimamessung (Klimadatenlogger) .....	218
5.10	Druckprüfungen bei wasserführenden Installationsleitungen .....	221
5.10.1	Druckprüfung in Trinkwasserleitungen .....	221
5.10.2	Druckprüfung in Heizanlagen und zentralen Wassererwärmungsanlagen .....	221
5.10.3	Druckprüfung in Abwasserleitungen .....	222
5.10.4	Leckageortung mit dem Tonfrequenzverfahren .....	222
5.11	Salzgehaltbestimmung .....	224

<b>6</b>	<b>Bauphysikalische Berechnungen</b> .....	229
6.1	Taupunktbestimmung nach dem Glaser-Verfahren .....	229
6.1.1	Regelung .....	229
6.1.2	Definitionen .....	232
6.1.3	Bauteilspezifische Untersuchung der stationären Verhältnisse .....	234
6.1.4	Eignung für den feuchteschutztechnischen Nachweis bei Innendämmungen .....	239
6.2	Bestimmung des Wärmedurchgangs durch ein Bauteil ...	241
6.2.1	Definitionen und allgemeine Formeln .....	241
6.2.2	Außenwände .....	241
6.2.3	Fenster und Türen .....	244
6.3	Bestimmung des Einflusses von Wärmebrücken .....	249
6.3.1	Definitionen .....	249
6.3.2	Regelung .....	250
6.3.3	Materialkennwerte verschiedener Bauteilschichten .....	256
6.3.4	Ermittlung der kritischen Oberflächenfeuchte von Bauteilen.	261
6.4	Bestimmung des Einflusses der relativen Raumluftfeuchte	262
6.4.1	Regelung .....	262
6.4.2	Typische Raumluftfeuchtwerte .....	265
6.4.3	Einfluss der Luftwechselrate .....	266
6.4.4	Einfluss der raumseitigen Bauteiloberflächen-Temperaturen .	268
6.4.5	Rechnerischer Nachweis hygrothermischer Schäden an raumseitigen Bauteiloberflächen .....	272
6.4.6	Feuchteaufnahme von Bauteiloberflächen .....	275
6.4.7	Feuchteaufnahme von Fassadenbeschichtungen .....	276
6.4.8	Einfluss der Neubaufeuchte in Dächern .....	283
6.4.9	Einfluss von Durchfeuchtung auf die Wärmedämmung von Flachdächern .....	286
6.5	Erstellung einer Feuchtebilanz .....	288
6.6	Bestimmung des Luftwechsels .....	290
6.6.1	Bestimmung des Luftwechsels bei Initiativlüftung .....	290
6.6.1.1	Wohnraum .....	290
6.6.1.2	Kellerraum in Weißer Wanne .....	295
6.6.2	Bestimmung des Luftwechsels bei Schachtlüftung .....	303
6.7	Beurteilung der Wärmedämmung bestehender Gebäude ..	304
6.8	Nachträgliche Analyse des Heizverhaltens .....	307
6.8.1	Gebäudespezifische Analyse .....	310
6.8.2	Wohnungsspezifische Analyse .....	310
6.8.3	Raumspezifische Analyse .....	321
6.8.4	Bestimmung der Gradtagzahl und der Heizgradtage .....	323
6.9	Behaglichkeitsklima in Gebäuden .....	328

<b>7</b>	<b>Untersuchung und Bewertung von mikrobiellen Schäden</b> .....	331
7.1	Abklatschproben .....	331
7.1.1	Durchführung .....	331
7.1.2	Bewertung .....	332
7.2	Materialanalysen .....	333
7.2.1	Probenahme .....	333
7.2.2	Analyse und Bewertung .....	333
7.3	Schimmelpilzspürhund .....	343
7.4	MVOC-Luftmessungen .....	343
7.4.1	Probenahme .....	344
7.4.2	Bewertung .....	346
7.5	Luftkeimmessungen .....	348
7.5.1	Luftkeimsammler .....	348
7.5.1.1	Durchführung der Untersuchung .....	348
7.5.1.2	Bewertung .....	349
7.5.2	Gesamtpartikelsammler .....	357
7.5.2.1	Durchführung der Untersuchung .....	357
7.5.2.2	Bewertung .....	358
<b>8</b>	<b>Sanierung</b> .....	365
8.1	Leitfäden zur Beurteilung und Beseitigung von Schimmelpilzbefall .....	365
8.2	Ablauf der fachgerechten Beseitigung eines mikrobiellen Befalls .....	370
8.2.1	Schritt 1: Schadensfeststellung .....	373
8.2.2	Schritt 2: Sofortmaßnahmen zum Umgebungsschutz .....	379
8.2.3	Schritt 3: Sanierungszielfestlegung .....	379
8.2.4	Schritt 4: Gefährdungsermittlung und -beurteilung .....	381
8.2.5	Schritt 5: Ursachenfeststellung .....	383
8.2.6	Schritt 6: Sanierungsplanung .....	384
8.2.7	Schritt 7: Arbeits- und Betriebsanweisung .....	384
8.2.8	Schritt 8: Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen .....	385
8.2.9	Schritt 9: Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen .....	385
8.2.9.1	Regelung .....	385
8.2.9.2	Arbeits- und Umgebungsschutz .....	389
8.2.9.3	Kennzeichnung des Sanierungsbereichs .....	392
8.2.9.4	Persönliche Schutzausrüstung .....	392
8.2.10	Schritt 10: Ursachenbeseitigung .....	396
8.2.11	Schritt 11: Schimmelpilzsanierung .....	396
8.2.11.1	Unterschiedliche Verfahren in der Schimmelpilzsanierung ..	396
8.2.11.2	Regelung der Schimmelpilzsanierung von Inventar, Baustoffen und Bauprodukten .....	398

8.2.11.3	Behandlung von Inventar .....	401
8.2.11.4	Behandlung von Baustoffen .....	402
8.2.12	Schritt 12: Technische Bauteiltrocknung .....	416
8.2.12.1	Indirekte Bauteiltrocknung .....	416
8.2.12.2	Direkte Bauteiltrocknung .....	417
8.2.13	Schritt 13: Desinfektion porenfreier Oberflächen .....	418
8.2.14	Schritte 14 und 17: Abnahme der Leistungen und Erfolgskontrolle .....	419
8.3	Maßnahmen zur Prävention .....	420
8.3.1	Regelung .....	420
8.3.2	Technische Möglichkeiten der Prävention bei Neubauten und im Bestand .....	421
<b>9</b>	<b>Rechtslage bei Schimmelpilzschäden .....</b>	<b>425</b>
9.1	Recht der Schuldverhältnisse .....	425
9.2	Schimmelpilzschäden im Mietrecht .....	426
9.2.1	BGB-Regelungen zum Mietvertrag .....	426
9.2.2	Beurteilung der Gesundheitsgefährdung .....	429
9.2.3	Beweislast für den Mangel an einer Mietsache .....	445
9.2.4	Umfang und Angemessenheit von Mietminderungen .....	448
9.2.5	Trennung von Sachfragen und Rechtsfragen .....	459
9.2.6	Obhutspflicht der Mieter .....	460
9.2.7	Anerkannte Regeln der Technik bei Gebäudeerrichtung ....	473
9.2.8	Neubaufeuchte als Mangel an der Mietsache .....	477
9.2.9	Austausch von Fenstern im Bestand als Ursache eines Mangels an der Mietsache .....	478
9.2.10	Durchfeuchtungsschäden als Mangel an der Mietsache .....	481
9.2.11	Quotelung der Verantwortlichkeit .....	483
9.2.12	Formulierung von Beweisbeschlüssen in Schimmelpilz- verfahren .....	490
9.3	Schimmelpilzschäden im Werkvertragsrecht .....	493
9.4	Schimmelpilzschäden im Kaufrecht .....	495
<b>10</b>	<b>Schimmelpilzähnliche Schadensbilder .....</b>	<b>507</b>
10.1	Ausblühungen .....	507
10.2	Verschmutzungen .....	508
10.3	Belastungen mit chemischen Stoffen infolge von Durch- feuchtungen .....	508
10.4	Sogenannte Stockflecken bzw. Spakbildung .....	509
10.5	Sogenannter Schwarzsimmel .....	509

---

<b>11</b>	<b>Anhang</b> .....	511
11.1	Abkürzungsverzeichnis .....	511
11.2	Physikalische Größen .....	513
11.3	Griechisches Alphabet .....	517
11.4	Normen, Rechtsvorschriften und Literatur .....	518
11.4.1	Normen .....	518
11.4.2	Rechtsvorschriften .....	519
11.4.3	Literatur .....	520
11.5	Stichwortverzeichnis .....	525
	Der Autor .....	527



# 1 Einleitung

Schimmelpilzbefall in Gebäuden gehört nach wie vor und in weiterhin zunehmendem Maße zu den Anlässen von Mietstreitigkeiten in Wohnungen. Die Mieter erwägen zunächst Gebäudemängel, während ihnen die Vermieterseite eine unzureichende Beheizung und Belüftung vorhält. Voraussetzung für die sichere rechtliche Bewertung der Verschuldensfrage ist aber eine vorherige zuverlässige Beurteilung der technischen und bauphysikalischen Kausalkette. Dafür ist die sorgfältige, aber auch kritische Untersuchung möglicher Einflussfaktoren notwendig. Zu untersuchende Einflussfaktoren sind:

- Mängel an der Bausubstanz
- Heiz- und Lüftungsverhalten der Bewohner
- Funktionsfähigkeit der Gebäudetechnik
- Wärmeschutz und Wärmebrücken innerhalb der Gebäudehülle
- Luftdichtheit der Gebäudehülle
- erhöhtes Risikopotenzial bei „jungen“ Gebäuden
- raumklimatische Veränderungen in der Folge von Wohnungsanierungen
- schadensbedingte Feuchteinbrüche

Das Buch richtet sich daher natürlich insbesondere an die mit Schimmelpilz befassten Sachverständigen, Architekten und Ingenieure, aber auch an die Wohnungsbauunternehmen, die Hausverwaltungen, die Mediziner und die Juristen. Es soll eine praxisorientierte Hilfestellung leisten bei der Beurteilung der Problemstellungen

- Prävention durch adäquate Planung und schadensfreie Errichtung von Neubauten,
- Risikoabwägung bei beabsichtigten baulichen Veränderungen im Bestand,
- Anleitung zu einem komfortablen und optimierten Wohnverhalten,
- Schadensanalyse bei Feuchte und Schimmelpilzbefall,
- Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung,
- systematische Ursachenermittlung mit differenzierter Methodik,
- Abschätzung des Prozessrisikos anhand von Gerichtsurteilen und
- Sanierung des Befalls und Beseitigung der Ursache.

Anders als in der bisher existierenden Literatur über Schimmelpilze oder Gebäudeschäden wird die Schimmelpilzproblematik in diesem Werk fakultätsübergreifend behandelt, weil auch die Lösungsansätze nur in einem ganzheitlichen System wirken können. Aus der Sichtweise des Bausachverständigen und des Innenraumdiagnostikers wird in anschaulicher und nachvollziehbarer Form alles Wissenswerte über den Verlauf und die näheren Umstände eines Schimmelpilzbefalls geschildert. Dafür wird systematisch und nach Kategorien unterteilt auf die unterschiedlichen Ursachen eines

mikrobiellen Befalls eingegangen. Ferner werden die gängigen Diagnoseverfahren und die medizinischen Risiken aufgezeigt.

Soweit verfügbar, sind in einem eigenen Kapitel Entscheidungsbegründungen zu konkreten Urteilen der Gerichte beigelegt, um deren Sichtweise beispielhaft darzustellen. Eine Urteilssammlung zu der Angemessenheit von Mietminderungen bietet Hinweise zur Abschätzung des etwaigen Prozessrisikos.

In weiteren Kapiteln werden die moderne Diagnostik und die gängigen Sanierungsverfahren erläutert.

Auch ähnliche Erscheinungsformen, wie z. B. Salzausblühungen, werden differenziert angesprochen, um Abgrenzungen vornehmen zu können.

### **1.1 Schimmelpilze in der Umgebung des Menschen**

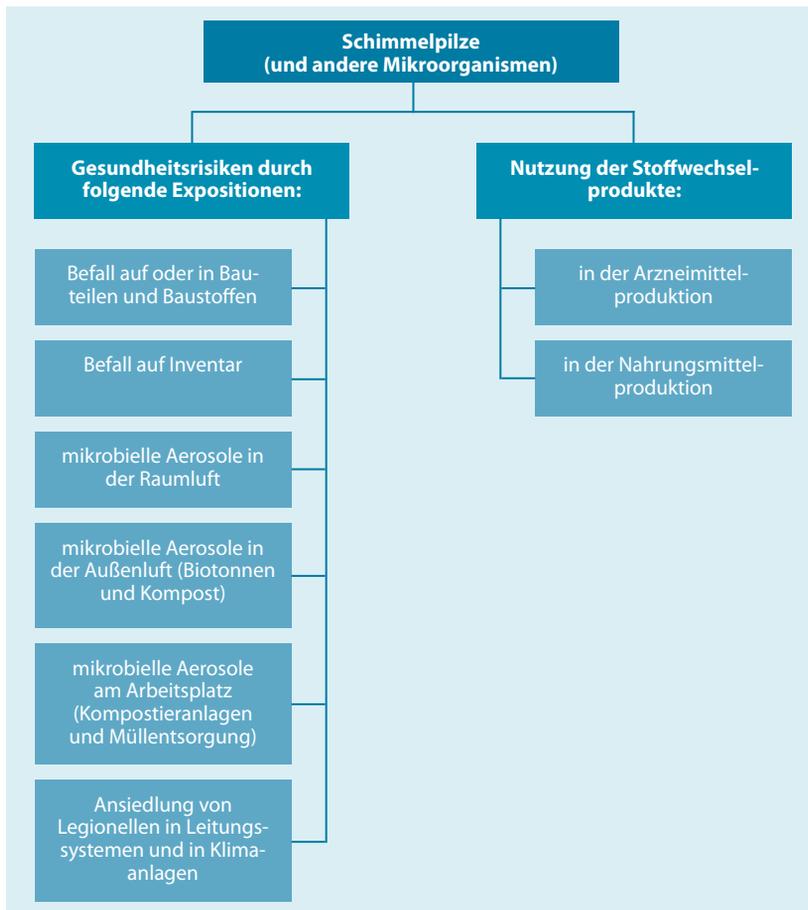
Vorausgeschickt sei eine Anmerkung zur Nomenklatur: Zu einer bestimmten Schimmelpilzgattung gehören verschiedene Schimmelpilzarten. Eine Schimmelpilzart wird mit einem lateinischen Doppelnamen bezeichnet. Der erste Teil des Namens steht dabei für die Gattung, der zweite Teil für die Pilzart (Spezies). *Aspergillus versicolor* z. B. ist eine bestimmte Pilzart der Gattung *Aspergillus*. Wird im Labor ein Schimmelpilz nur einer Gattung zugeordnet, ohne die Art feststellen zu können, wird die Bezeichnung *Aspergillus* sp. (sp. für lat. species) verwendet. Handelt es sich um mehrere Arten, wird die Bezeichnung *Aspergillus* spp. (spp. für lat. species pluralis) gewählt.

Neben den Schimmelpilzen gibt es noch andere Mikroorganismen, die teilweise unter den gleichen Lebensbedingungen existieren können. Dazu gehören insbesondere bestimmte Bakterienarten, wie z. B. die Actinomyceeten. In der unmittelbaren Umgebung des Menschen sind Schimmelpilze und ihre Stoffwechselprodukte sowie andere Mikroorganismen auf verschiedene Weise gegenwärtig (siehe Abb. 1.1).

### **Schimmelpilze in feuchten Gebäuden**

Auf den Oberflächen von Baustoffen oder Bauteilen können sich bei ausreichender frei verfügbarer Feuchte Mikroorganismen ansiedeln, da das Material die notwendigen Nährstoffe häufig bereits enthält. Insbesondere zellulosehaltige Produkte verfügen über Lignin und Glukoseverbindungen, die den Schimmelpilzen einen idealen Nährboden bieten. Glas und Metall hingegen benötigen einen Schmutzfilm, damit sich Mikroorganismen ansiedeln können.

Zur Bewertung von Luftkeimmessungen ist die Bewertungshilfe im Leitfaden „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ aus dem Jahre 2001/2004 des Landesgesundheitsamts (LGA) Baden-Württemberg zu empfehlen:



**Abb. 1.1:** Schimmelpilze und andere Mikroorganismen in der Umgebung des Menschen

Schimmelpilze in Innenräumen, 2011, S. 72 f.:

„7 Indikatororganismen aus baulicher Sicht, Pilze mit hoher Indikation für Feuchteschäden

[...] Da Schimmelpilze ubiquitär vorkommen, ist es entscheidend, für eine Interpretation der Ergebnisse insbesondere solche Pilze zu berücksichtigen, die häufig mit Feuchteschäden oder anderen spezifischen Innenraumquellen assoziiert sind. Diese Pilze werden im Folgenden als Indikatororganismen bezeichnet.

Liste der Indikatororganismen (typische Spezies im Zusammenhang mit Feuchtigkeitsschäden in Gebäuden):

- *Acremonium spp.*
- *Aspergillus penicillioides*
- *Aspergillus restrictus*

- *Aspergillus versicolor*
- *Chaetomium* spp.
- *Phialophora* spp.
- *Scopulariopsis brevicaulis*
- *Scopulariopsis fusca*
- *Stachybotrys chartarum*
- *Tritirachium (Engyodontium) album*
- *Trichoderma* spp.“

Feuchteindikatorpilze sind auch im Anhang A der DIN ISO 16000-19 „Innenraumluftverunreinigungen – Teil 19: Probenahmestrategie für Schimmelpilze“ (2012) aufgeführt:

DIN ISO 16000-19 (2012), S. 23:

„Anhang A (informativ)

*Indikatoren für Feuchteschäden*

*Erhöhte Schimmelpilzkonzentrationen im Innenraum und das Auftreten von gewissen Schimmelpilzarten sind eine hohe Indikation für Feuchteschäden in Innenräumen. Diese Schimmelpilzarten werden als Feuchteindikatoren bezeichnet. Beispiele für solche Schimmelpilzgattungen und -arten in gemäßigten Klimazonen sind in Tabelle A.1 wiedergegeben.*

*Tabelle A.1 — Beispiele für Schimmelpilze mit hoher Indikation für Feuchteschäden (Feuchteindikatoren) in gemäßigten Klimabereichen:*

- *Acremonium* spp.
- *Aspergillus penicillioides*
- *Aspergillus restrictus*
- *Aspergillus versicolor*
- *Chaetomium*
- *Cladosporium sphaerospermum*
- *Engyodontium (Tritirachium) album*
- *Penicillium chrysogenum*
- *Phialophora* spp.
- *Scopulariopsis brevicaulis*
- *Scopulariopsis fusca*
- *Stachybotrys chartarum*
- *Trichoderma* spp.
- [...]“

Auch auf ansonsten untypischen Baumaterialien, selbst auf Fensterglas und auf Kunststofffensterprofilen, ist eine Schimmelpilzansiedlung möglich, wenn sich durch kurzzeitig auftretende Feuchte und Staubablagerungen ein Biofilm auf der Oberfläche bilden konnte.

Bei Durchfeuchtungsschäden spielt die Art der Raumnutzung so gut wie keine Rolle. Anders verhält es sich mit den hygrothermischen Schäden. Bei der praktischen Begutachtung derartig strittiger Schimmelpilzfälle sind bestimmte Räume statistisch dominant. Die [Tabelle 1.1](#) gibt dazu Orientierungswerte. Verglichen werden Angaben von Sedlbauer/Krus (2003b) in

**Tabelle 1.1:** Häufigkeit des Auftretens von hygrothermisch bedingtem Schimmelbefall in verschiedenen Räumen

Raum	nach Sedlbauer/Krus (2003b) in %	nach Han-kammer in %	nach Heinz et al. (2004) in %	nach Isenmann/Tosberg (2005) in %	Mittel-werte (gerundet)
1	2	3	4	5	6
Schlafzimmer	41	34	22,3	39,30	34
Bad	8	21	34,6	22,87	22
Küche	8	14	13,3	18,48	13
Wohnzimmer	16	18	10,7	7,92	13
Kinderzimmer	26	12	9,7	7,04	14
sonstige Räume (z. B. Flur)	2	13	7,0	2,63	6
WC	–	–	2,4	–	1

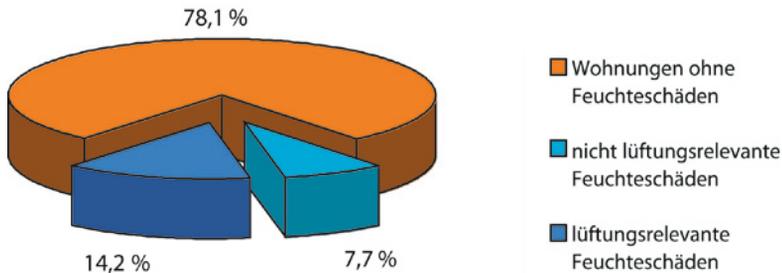
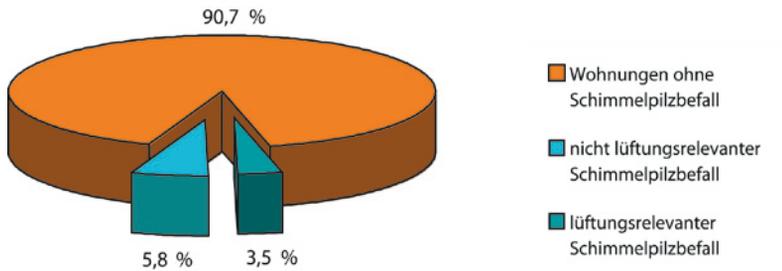
Spalte 2 mit etwa 150 eigenen, gerichtlich beauftragten Gutachten des Autors in Spalte 3. Vorausgegangen waren dabei regelmäßig Rechtsstreitigkeiten über die Verantwortung für die Ursache des Befalls. In der Spalte 4 sind Ergebnisse einer Untersuchung ausgewertet, die von dem Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks gefördert wurde und von Heinz et al. im März 2004 veröffentlicht wurde. Untersucht wurden 5.530 Wohnungen aus unterschiedlichen Bauepochen. Berücksichtigt wurden die offensichtlichen Schimmelpilzschäden ohne die Schäden an Sanitärobjekten (Silikonfugen). In Spalte 5 sind die Ergebnisse einer Untersuchung von Isenmann und Tosberg dargestellt (Isenmann/Tosberg, 2005, Anlage 3, III-4.4.11, S. 3). Je nach Schwerpunkt der Beauftragung und der Zielrichtung des Beweisantrags können dabei durchaus abweichende Ergebnisse erzielt werden.

Im Ergebnis aller Untersuchungen wird deutlich, dass der Schimmelpilzbefall dominant in den Schlafzimmern und in den Badezimmern vorkommt. Wie in den folgenden Kapiteln noch näher erläutert wird, liegen die Probleme in den Schlafzimmern überwiegend in einer ungenügenden Beheizung und in den Bädern vorwiegend in einer unzureichenden Entsorgung der dort produzierten Luftfeuchte.

Ein weiteres interessantes Ergebnis der von Heinz et al. (2004) durchgeführten Untersuchungen liegt darin, dass ein Anteil von 9,3 % der repräsentativ durch alle Altersklassen hindurch untersuchten Wohnungen einen sichtbaren Schimmelpilzbefall aufwies. Dabei stellte sich heraus, dass etwa  $\frac{2}{3}$  der Fälle, in denen Feuchte angetroffen wurde, und ebenfalls etwa  $\frac{2}{3}$  der Fälle, in denen ein Schimmelpilzbefall vorhanden war, lüftungsrelevant waren (siehe [Tabelle 1.2](#) sowie [Abb. 1.2](#) und [1.3](#)).

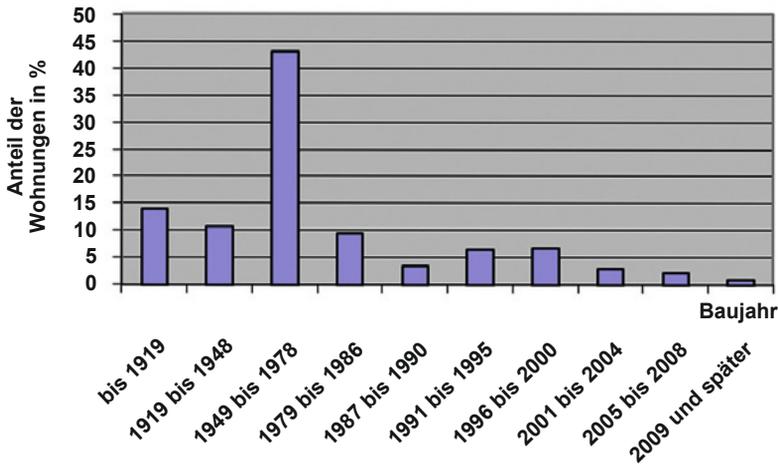
**Tabelle 1.2:** Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall (Quelle: Heinz et al., 2004, S. 6–15)

	Gesamtanteil aller Wohnungen in %	davon lüftungsrelevant in %	Rate in %
Feuchteschäden	21,9	14,2	64,8
Schimmelpilzbefall	9,3	5,8	62,4

**Abb. 1.2:** Anteil an Wohnungen mit Feuchteschäden (Quelle: Heinz et al., 2004, S. 6–15)**Abb. 1.3:** Anteil an Wohnungen mit Schimmelpilzbefall (Quelle: Heinz et al., 2004, S. 6–15)

Anzumerken ist im Hinblick auf die Ergebnisse der Untersuchung, dass die Gebäudeinspektionen und die Befragungen der Bewohner durch instruierte Bezirksschornsteinfegermeister durchgeführt wurden, deren Beurteilungen des jeweiligen Schimmelpilzbefalls ausschließlich auf der Grundlage sichtbarer Erscheinungen basierten. Im Hinblick auf verdeckte Befallsvorkommen wurden keine Untersuchungen vorgenommen. Vor diesem Hintergrund verbleibt im Ergebnis eine Dunkelziffer für den Gesamtanteil aller Wohnungen, in denen möglicherweise zum Zeitpunkt der Erfassung ein nicht nachgewiesener verdeckter Schimmelpilzbefall vorgelegen hatte.

Die Beurteilung der Frage, ob ein Feuchteschaden oder ein Schimmelpilzbefall lüftungsrelevant war, erfolgte ebenfalls nach Augenschein. Stationäre oder instationäre Klimamessungen und rechnerische bauphysikalische Nachweise wurden nicht durchgeführt. Auch in diesem Punkt verbleibt im Ergebnis eine Dunkelziffer für den Gesamtanteil aller Wohnungen, bei de-



**Abb. 1.4:** Anteil der Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland nach Baujahr (Quelle der Daten: Zensus 2011, 2013)

nen die Schäden möglicherweise nur zum Teil lüftungsrelevant waren. Die Praxis der gerichtlichen Sachverständigentätigkeit zeigt aber, dass bei bestimmten Konstellationen sowohl die Beschaffenheit des Gebäudes als auch das Verhalten der Nutzer jeweils anteilig an der Entstehung eines Schimmelpilzbefalls beteiligt sein können. Ob die Bewohner ausreichend gelüftet haben, ist dann eine Rechtsfrage, die unter Berücksichtigung der Umstände im Einzelfall durch das Gericht entschieden werden muss.

Eine entscheidende Rolle spielt bei den hygrothermischen Schäden die Qualität der Wärmedämmung, die sich in den unterschiedlichen Epochen mit Einführung der verschiedenen Wärmeschutzverordnungen an die Energiekosten angepasst hat. Interessant ist unter diesem Gesichtspunkt, wie sich der Gesamtbestand aller etwa 39 Millionen Wohnungen in Deutschland auf die verschiedenen Bauzeitaltersklassen verteilt (siehe Abb. 1.4).

Es fällt auf, dass nahezu 50 % aller Wohnungen in den Jahren zwischen der Nachkriegszeit und der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung entstanden sind. Der einschneidende Schritt im Hinblick auf die Regulierung des Mindestwärmeschutzes von Gebäuden ist mit der dritten Wärmeschutzverordnung von 1995 erfolgt. Der Anteil der nach diesem Zeitpunkt entstandenen und damit aus heutiger Sicht bereits bei der Errichtung gut gedämmten Gebäude ist insoweit als gering zu bezeichnen. Die Zahlen des statistischen Bundesamts berücksichtigen nicht den Anteil bereits nachträglich wärmedämmter Altbauten.

Statistisch belegt ist ferner die Verteilung aller Wohngebäude auf Gebäudeklassen. Im Wesentlichen setzt sich die Gesamtanzahl der Wohngebäude aus Ein- und Zweifamilienhäusern zusammen. Diesbezüglich wäre im Zuge weiterer statistischer Erhebungen die interessante Frage zu untersuchen, welche Gebäudeklassen möglicherweise häufiger von einem Schimmelpilzbefall betroffen sind als andere.



**Abb. 1.5:** Schimmelpilzbefall auf der Furnieroberfläche eines Türblatts in einem ungenutzten Kellerraum



**Abb. 1.6:** Schimmelpilzbildung auf einem Kellerregal nach Feuchteinbruch



**Abb. 1.7:** Offen sichtbarer Schimmelpilzbefall auf einer Gewebetapete nach einem Wasserschaden



**Abb. 1.8:** Schimmelpilzbefall auf einem Kellerregal. Zu sehen ist die weiße Rückwand des Kellerregals.

### Schadensbilder von Schimmelpilzbefall in Gebäuden

Sofern die Wachstumsbedingungen ([siehe Kapitel 1.3.1.4](#)) günstig sind, kann ein Schimmelpilzbefall auf nahezu allen Baustoffen ebenso eintreten wie auf dem Inventar des Nutzers oder auf Lebensmitteln. So führt z. B. anhaltend überhöhte relative Luftfeuchte in unbelüfteten Kellerräumen zu einer Schimmelpilzbildung auf Holzregalen und auf eingelagertem Inventar, vor allem auf Ledermaterialien.

Vor diesem Hintergrund sollte sich im Verdachtsfall die Suche nach einer nicht sichtbaren Schimmelpilzquelle nicht auf die Bestandteile des Gebäudes beschränken. In manchen Fällen liefert das Ergebnis einer Luftkeimmessung aufgrund der Zusammensetzung angetroffener Schimmelpilzarten Hinweise auf die Quelle, da bestimmte Arten optimal auf speziellen Substraten wachsen können. Die Beurteilung der möglichen Quellen anhand der Zusammensetzung bestimmter Spezies erfordert jedoch mikrobiologisches Spezialwissen. Nachfolgend sind einige Abbildungsbeispiele für Schimmelpilzbefall auf unterschiedlichen Untergründen aufgeführt ([siehe Abb. 1.5 bis 1.12](#)).



**Abb. 1.9:** Schimmelpilzbefall auf dem Inventar in einem feuchten Keller



**Abb. 1.10:** Schimmelpilzbefall auf in einem feuchten Keller gelagerten Schuhen



**Abb. 1.11:** Schimmelpilzbefall auf in einem feuchten Keller gelagertem Inventar aus Textil



**Abb. 1.12:** Schimmelpilzbefall auf in einem feuchten Keller gelagertem Inventar aus Leder

Die Schimmelpilzsporen vieler Spezies sind ubiquitär, d. h. sie sind in der Außenluft allgegenwärtig, und sie bevorzugen artgerechte Substrate. Bestimmte Spezies siedeln sich ausschließlich auf Lebensmitteln an, andere sind auf Baustoffen dominant vertreten. Die unterschiedlichen Schimmelpilzspezies eines Befalls innerhalb eines Gebäudes geben in grober Näherung Hinweise einerseits auf einen Befall von Baustoffen und andererseits auf eine Ansiedlung auf Produkten aus der Nutzersphäre.

Bauprodukte als mögliche Schimmelpilzquellen:

- feuchtes Holz
- feuchtes Mauerwerk
- feuchter Putz
- feuchte Raufasertapeten
- feuchte Dämmstoffe
- elastische Dichtstoffe
- Klimaanlage



**Abb. 1.13:** Schimmelpilzbildung auf zu lange gelagertem Brot



**Abb. 1.14:** Schimmelpilzbildung auf zu lange gelagertem Obst. Wie verschimmeltertes Brot (siehe Abb. 1.13) wird auch verschimmeltertes Obst im Biomüll entsorgt. Von dort können Schimmelpilzsporen in die Raumluft gelangen. Dort werden sie bei Luftmessungen miterfasst, ohne dass ein Gebäudeschaden vorliegt.



**Abb. 1.15:** Ein Schimmelpilzbefall in Blumenerde kann zu einer Innenraumluftverunreinigung beitragen.



**Abb. 1.16:** In Haustierkäfigen können geeignete Nährstoffe für Schimmelpilze enthalten sein. *Wallemia sebi* ist eine häufig auf Stroh anzutreffende Art, die jedoch in Baumaterialien ebenso vorkommt.

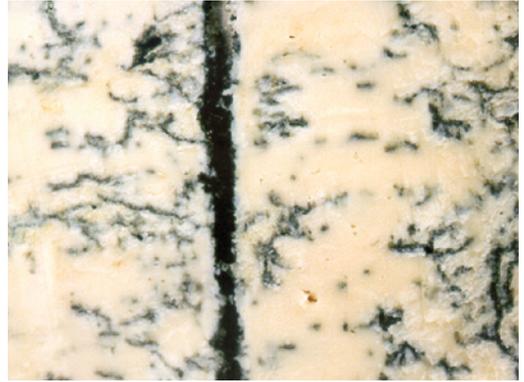
Produkte aus der Nutzersphäre als potenzielle Schimmelpilzquellen (siehe Abb. 1.13 bis 1.16):

- Staub
- Inventar und Mobiliar
- Matratzen und Polstermöbel
- Lebensmittel
- Blumenerde, Hydrokulturen usw.
- Hausmüll, insbesondere Biomüll
- Tierkot, Käfigstreu und Tierfutter

Sofern die Analyseergebnisse einen Befall mit typischen Schimmelpilzen aus dem Nahrungsmittelbereich ausweisen, sollten das Ergebnis und die Messmethode kritisch überprüft werden.



**Abb. 1.17:** Französischer Roquefort mit deutlich sichtbaren Impfgängen aus *Penicillium roqueforti* im Käselaub



**Abb. 1.18:** Impfgang in einem französischen Roquefort



**Abb. 1.19:** Französischer Camembert mit sichtbarem Belag aus *Penicillium camemberti* auf der Oberfläche des Käselais



**Abb. 1.20:** Wildschweinsalami aus der französischen Schweiz

Im Zusammenhang mit einem Schimmelpilzbefall lassen sich übrigens gleichzeitig bestimmte Bakterienarten im Rahmen von Raumluft-, Material- oder Staubproben nachweisen. Bekannt sind z. B. Actinomyceten.

## 1.2 Nutzung von Schimmelpilzen

### Schimmelpilze in der Nahrungsmittelproduktion

Bei der Veredlung und der Konservierung von Käseprodukten werden Schimmelpilze eingesetzt, deren Genuss für den Menschen unschädlich ist. Bekannt sind Käsesorten mit bläulichem Edelschimmel, wie z. B. Roquefort, dem bei der Erzeugung als Geschmacksträger *Penicillium roqueforti* in den Laib eingimpft wird (siehe Abb. 1.17 und 1.18).

Camembert erhält als Konservierungsmaßnahme einen hautartigen Überzug aus *Penicillium camemberti*, der den Käse resistent gegenüber Bakterien macht (siehe Abb. 1.19).

Auch bei der Herstellung von luftgetrockneten Salamisorten werden Schimmelpilze zur Konservierung eingesetzt (siehe Abb. 1.20).

**Tabelle 1.3:** Einsatz von Schimmelpilzen zur Gewinnung von Produkten und Lebensmitteln (Quelle: Reiß, 1997, S. 62)

Produkte	Beispiele für die Verwendung	Produzenten
<b>1. Primärmetabolite</b>		
Zitronensäure	Getränke, Milchprodukte, Desserts u. a.	<i>Aspergillus niger</i> und andere <i>Aspergillus</i> - und <i>Penicillium</i> -Arten
Itaconsäure	Lacke, Kunststoffe	<i>Aspergillus terreus</i> , <i>Aspergillus itaconicus</i>
Bernsteinsäure	Aromastoffe	<i>Rhizopus</i> -Arten
Fumarsäure	Fruchtgetränke, Milch- und Fleischprodukte	<i>Aspergillus fumaricus</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> ( <i>Rhizopus delemar</i> )
Äpfelsäure	Getränke, Marmeladen, Sirups usw.	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>Penicillium corylophilum</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>
Weinsäure	Getränke	<i>Aspergillus griseus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
Gluconsäure	Backpulver, Fleischprodukte, Flaschenreinigungsmittel	<i>Aspergillus niger</i> und andere <i>Aspergillus</i> - und <i>Penicillium</i> -Arten
Erythrobinsäure	Antioxidans, Stabilisierungsmittel in Lebensmitteln	<i>Penicillium chrysogenum</i>
Pullulan	Verdickungs- und Geliermittel	<i>Aureobasidium pullulans</i>
<b>2. Sekundärmetabolite</b>		
Penicilline	Antibiotika	<i>Penicillium chrysogenum</i> ( <i>Penicillium notatum</i> )
Zephalosporine	Antibiotika	<i>Cephalosporium acremonium</i>

Tabelle 1.3 (Fortsetzung)

Produkte	Beispiele für die Verwendung	Produzenten
Griseofulvin	Antibiotika	<i>Penicillium nigricans</i> , <i>Penicillium patulum</i> und andere <i>Penicillium</i> -Arten
$\beta$ -Carotin	Färben von Margarine, Käse, Getränken, Süß- und Teigwaren usw.	insbesondere <i>Blakeslea trispora</i> , <i>Choanephora conjuncta</i>
Steroide	Gewinnung von Hormonen	vor allem <i>Curvularia lunata</i> , <i>Cunninghamella blakesleeana</i>
Hydrolasen	Herstellung von Lebensmitteln	verschiedene <i>Aspergillus</i> -, <i>Penicillium</i> - und <i>Rhizopus</i> -Arten

Bei allen Stoffwechselforgängen, z. B. bei Gärungsprozessen, bei der Fermentation oder bei der Produktion von Säuren, ist der Einsatz verschiedener Schimmelpilzspezies verbreitet (siehe Tabelle 1.3). Nach Reiß (1997) werden etwa 90 % der an die 400.000 Tonnen Jahresproduktion an Zitronensäure durch die Fermentation lebender Mikroorganismen hergestellt. Durchgesetzt hat sich dabei die Verwendung von *Aspergillus niger*. Von dieser Produktion werden 75 % für die Herstellung von Limonaden verwendet.

### Schimmelpilze in der Arzneimittelproduktion

Während der vegetativen Entwicklungsphase (Trophphase) haben die Hyphen der Pilze ständigen Kontakt mit dem Nährsubstrat und die Biomasse nimmt gleichmäßig zu. Es entstehen Primärstoffwechselprodukte und Enzyme (siehe Tabelle 1.3).

Anschließend, bei einsetzendem Nahrungsmangel oder bei Einwirken anderer Stressfaktoren, beginnt die Sekundärstoffwechselfase (Idiophase). Luftmyzel und Vermehrungsorgane werden ausgebildet. Es entstehen Sekundärstoffwechselprodukte, wie Antibiotika und Mykotoxine. Antibiotika und einige Mykotoxine können in geringen Konzentrationen die Bildung anderer Mikroorganismen hemmen oder sie abtöten. Das bekannteste Antibiotikum, Penicillin, wird aus dem Schimmelpilz *Penicillium* gewonnen (siehe Tabelle 1.3 sowie [Abb. 1.21](#) und [1.22](#)).



Abb. 1.21: Penicillin



Abb. 1.22: Streptomycin

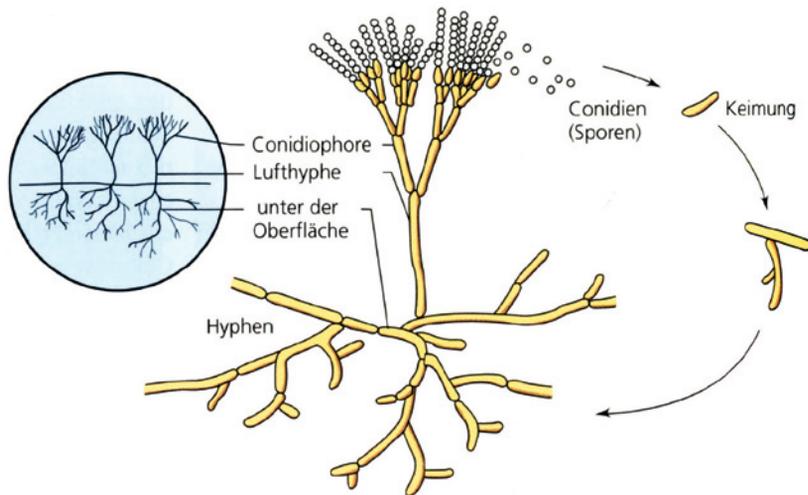
Die Entdeckung des Penicillins ist einem Zufall zu verdanken: Als der Mikrobiologe Alexander Fleming 1928 in Petrischalen Bakterien des Typs Staphylokokken züchtete, kam es zu einer versehentlichen Kontamination der Schalen mit dem im Labor zufällig anwesenden Schimmelpilz *Penicillium chrysogenum* (frühere Bezeichnung: *Penicillium notatum*). Gleichzeitig bemerkte Fleming eine Hemmung des Wachstums der Staphylokokken, die sich im Umfeld des angesiedelten *Penicillium* zeigte. Diese Beobachtung führte zu der Entwicklung antibiotischer Stoffe, die heute umfassend zur Bekämpfung bakterieller Infektionen eingesetzt werden. Das Labor von Alexander Fleming kann heute im St. Mary's Hospital in London besichtigt werden.

### 1.3 Wachstum und Stoffwechsel von Schimmelpilzen

#### 1.3.1 Wachstum

##### 1.3.1.1 Lebenszyklus

Schimmelpilze sind ubiquitär. Ihre luftgetragenen Sporen und Partikel lassen sich sowohl in der Außenluft als auch in der Innenraumluft nahezu überall nachweisen. Eine Ausbreitung von Schimmelpilzen erfolgt über Luftbewegungen, bei denen Sporen und Partikel von einer bestimmten Quelle aus an andere Orte getragen werden. Bei Kontakt mit Feuchte können sie zur Auskeimung angeregt werden und bei einem ausreichenden Nährstoffangebot kann es zur Ansiedlung auf dem Substrat (nährstoffhaltiger Untergrund) und zum weiteren Wachstum kommen. Dabei bilden sich unter der Oberfläche des Materials Hyphen als fadenförmige Zellen und an der Oberfläche Lufthyphen mit Conidiophoren, an deren Enden sich Conidien (Sporen) entwickeln (siehe Abb. 1.23).



**Abb. 1.23:** Keimung und Wachstum eines Schimmelpilzes (Quelle: Madigan et al., 2000, S. 814)

### 1.3.1.2 Wachstumsphasen

Die Sporulation der Schimmelpilze findet diskontinuierlich statt. Das Wachstum unterliegt verschiedenen Phasen:

Kück et al., 2009, S. 33:

„3 Physiologie

[...]

3.1 Wachstumsbedingungen

[...]

3.1.1 Vermehrungsphasen

*Die Hyphen eines Schimmelpilzes wachsen in der Regel konstant an den Hyphenspitzen und durch dichotome Verzweigung der Zellen [...]. Es kann entsprechend eine Vermehrung des Pilzmyzels in Abhängigkeit von der Zeit beobachtet werden. Allerdings ist eine lineare Zunahme des Pilzmyzels nur in bestimmten Phasen einer Wuchskurve erkennbar [...]. Typischerweise können folgende Wachstumsphasen unterschieden werden:*

- I. *Anlaufphase (lag-Phase): In dieser Phase kann kaum ein Wachstum gemessen werden, die Dauer ist abhängig von der Nährstoffzusammensetzung und der Beschaffenheit des Impfmaterials.*
- II. *Beschleunigungsphase: Es können erhöhte Wachstumsraten festgestellt werden.*
- III. *Exponentielle Wachstumsphase (log-Phase): Die Myzelmenge nimmt exponentiell zu. Die Vermehrungsgeschwindigkeit steigt konstant und erreicht hier ihr Maximum.*
- IV. *Verzögerungsphase: Die Vermehrungsgeschwindigkeit sinkt signifikant ab, z. B. aufgrund von Nährstoffmangel oder Anhäufung von giftigen Stoffwechselprodukten.*

V. Stationäre Phase: Die Zellzahl bleibt konstant, es besteht ein Gleichgewicht zwischen Neubildung und Absterben von Zellen.

VI. Absterbephase: Es werden mehr Zellen abgetötet als neu gebildet, dafür sind in der Regel ein Nährstoffmangel und eine Anhäufung toxischer Stoffwechselprodukte verantwortlich.“

### 1.3.1.3 Flugfähigkeit der Sporen

Die Flugfähigkeit von Sporen ist abhängig von der Sporengröße und dem Sporengewicht sowie von der äußeren Form und der Oberfläche der Sporen. Angaben über die Flugfähigkeit der Sporen enthält z. B. der Leitfaden des LGA Baden-Württemberg (Schimmelpilze in Innenräumen, 2011), der sich wiederum auf unterschiedliche Quellenangaben stützt und in Tabelle 1.4 auszugsweise wiedergegeben wird.

**Tabelle 1.4:** Feuchteanspruch, Flugfähigkeit und Conidiengröße von Schimmelpilzsporen nach dem Leitfaden „Schimmelpilze in Innenräumen“ (2011)

Pilzspezies und -gattung	Feuchteanspruch	Flugfähigkeit <sup>1)</sup>	Conidiengröße in µm Durchmesser (D) bzw. Länge × Breite (L × B)
<i>Acremonium kiliense</i>	hoch	1–2	3,0–6,0 × 1,5 (L × B)
<i>Alternaria alternata</i>	mittel bis hoch	2	18,0–83,0 × 7,0–18,0 (L × B)
<i>Aspergillus flavus</i>	mittel	3	3,6 (D)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	hoch	3	2,5–3,0 (D)
<i>Aspergillus niger</i>	mittel bis hoch	3	3,5–5,0 (D)
<i>Aspergillus penicillioides</i>	gering	3	3,0–5,0 (D)
<i>Aspergillus restrictus</i>	gering	3	4,0–10,0 × 3,0–6,0 (L × B)
<i>Aspergillus versicolor</i>	gering bis mittel	3	2,0–3,0 (D)
<i>Aureobasidium pullulans</i>	hoch	1–2	7,5–16,0 × 3,5–7,0 (L × B)
<i>Chaetomium globosum</i>	hoch	1–2	9,0–11,0 × 7,0–8,5 (L × B)
<i>Cladosporium clado-sporioides</i>	hoch	2–3	3,0–11,0 × 2,5 (L × B)

Tabelle 1.4 (Fortsetzung)

<b>Pilzspezies und -gattung</b>	<b>Feuchteanspruch</b>	<b>Flugfähigkeit<sup>1)</sup></b>	<b>Conidiengröße in µm Durchmesser (D) bzw. Länge × Breite (L × B)</b>
<i>Cladosporium herbarum</i>	hoch	2–3	5,5–13,0 × 4,0–6,0 (L × B)
<i>Eurotium herbariorum</i>	gering	3	4,8 × 5,0–6,0 (L × B)
<i>Fusarium</i> sp.	hoch	1	34,0–80,0 × 5,0–7,0 (L × B)
<i>Mucor racemosus</i>	hoch	2	5,5–10,0 × 4,0–7,0 (L × B)
<i>Penicillium brevicompactum</i>	mittel bis hoch	3	3,5–4,5 (D)
<i>Penicillium chrysogenum</i>	mittel bis hoch	3	3,0–4,0 × 2,8–3,8 (L × B)
<i>Phialophora</i> sp.	hoch	1–2	3,0–4,0 × 1,5–2,5 (L × B)
<i>Rhizopus stolonifer</i>	hoch	2	7,0–15,0 × 6,0–8,0 (L × B)
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	mittel bis hoch	2	5,0–9,0 × 5,0–7,0 (L × B)
<i>Scopulariopsis fusca</i>	mittel bis hoch	2	5,0–8,0 × 5,0–7,0 (L × B)
<i>Stachybotrys chartarum</i>	hoch	1–2	7,0–12,0 × 4,0–6,0 (L × B)
<i>Trichoderma viride</i>	hoch	2	3,6–4,5 (D)
<i>Ulocladium chartarum</i>		2	18,0–38,0 × 11,0–20,0 (L × B)
<i>Wallemia sebi</i>	gering	2–3	2,5–3,5 (D)

1) Verschlüsselung der Flugeigenschaften:

- 1 schlechte Flugeigenschaften
- 2 mittlere Flugeigenschaften
- 3 gute Flugeigenschaften

#### 1.3.1.4 Wachstumsbedingungen

Hauptvoraussetzungen für die Sporenbildung, die Auskeimung von Sporen und das Myzelwachstum sind eine ausreichende verfügbare Feuchte, ein auskömmliches Substrat als nährstoffhaltiger Untergrund und ein spezifischer Temperaturbereich. Daneben existieren weitere Einflussfaktoren, wie der pH-Wert, die Lichtverhältnisse und die Rauigkeit des Untergrunds.

Hinweise auf die unterschiedlichen Wachstumsbedingungen enthält u. a. die DIN EN ISO 16000-19 „Innenraumluchtverunreinigungen – Teil 19: Probenahmestrategie für Schimmelpilze“ (2014):

DIN EN ISO 16000-19, 2014, S. 8–9:

*„4 Eigenschaften, Herkunft und Vorkommen von Schimmelpilzen im Innenraum*

*Schimmelpilze kommen ubiquitär auf unserem Planeten vor. Sie sind an der Zersetzung von organischem Material beteiligt und spielen damit eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf der Natur. Ihre Konzentration in der Außenluft ist u. a. abhängig vom Ort, vom Klima und von der Jahres- und Tageszeit. Die Konzentration der Schimmelpilze in der Luft unterliegt starken Schwankungen [...]. Gründe hierfür werden im Folgenden aufgezeigt.*

*Die Konzentration der Schimmelpilze in der lokalen Außenluft ist überwiegend von der Lage zu entsprechenden Schimmelpilzquellen sowie der Windrichtung und -stärke abhängig. [...]*

*Die Sporulation, das heißt die Bildung von Schimmelpilzsporen, erfolgt diskontinuierlich. Sie ist abhängig u. a. von der Lebensphase der Schimmelpilze, den Lebensbedingungen, den Stressfaktoren, der Luftfeuchte sowie von der Zusammensetzung und Verfügbarkeit des Substrats.*

*Die Verbreitung der Sporen, die in der Mehrzahl aerodynamische Durchmesser zwischen 2 µm bis 40 µm haben, ist abhängig von mechanisch oder thermisch bedingten Luftbewegungen, von Trocknungsphasen (führen z. B. zur De-Agglomeration von sedimentiertem Staub) und der Flugfähigkeit der Schimmelpilzsporen [...].*

*Aufgrund der ubiquitären Verbreitung von Schimmelpilzen ist davon auszugehen, dass sie auch immer in der Innenraumlucht vorkommen. Das Vorkommen von Schimmelpilzen in der Innenraumlucht kann einerseits auf den Eintrag aus der Außenluft zurückzuführen sein, andererseits kann im Innenraum Schimmelpilzwachstum auftreten oder es können Altschäden sowie Ablagerungen (Anflugsporen) von Schimmelpilzen vorhanden sein. [...]*

*Die Intensität des Wachstums und die vorkommenden Schimmelpilzarten bei einem Schimmelpilzschaden sind vor allem abhängig von der Feuchte, der Temperatur, dem Nährstoffangebot und dem pH-Wert. Unter geeigneten Lebensbedingungen kann eine Vielzahl von Schimmelpilzen zur Entwicklung kommen. Verschlechtern sich die Lebensbedingungen, kommt es meist zur Dominanz einer Art, die den gegebenen Bedingungen am besten angepasst ist [...].*

*Von einer Schimmelpilzquelle können Sporen, Myzelbruchstücke, aber auch Zellbestandteile und Stoffwechselprodukte wie  $\beta$ -Glukane (Polysaccharide in den Zellwänden der Schimmelpilze), Ergosterol, (steroidale Verbindungen in den Zellmembranen der Schimmelpilze), Toxine sowie MVOC (microbial volatile organic compounds, wie gewisse Aldehyde, Alkohole, Ester, Ketone) abgegeben werden. Nicht nur aus Sporen, sondern auch aus Myzelbruchstücken können sich bei der Kultivierung Kolonien bilden.“*

### Wasseraktivität

Schimmelpilze benötigen in ihrem Milieu grundsätzlich immer eine hohe relative Luftfeuchte oberhalb des Substrats, das vorliegend der Baustoffoberfläche entspricht. Die Bildung der Sporen findet in der Regel bei einer hohen advertiven Feuchte von 90 % statt, d. h., es wird zumindest kurzfristig eine Feuchteanreicherung an der Bauteiloberfläche benötigt. Auf die Sporenkeimung folgt das Myzelwachstum.

Kennzeichnend für die zur Schimmelpilzbildung erforderliche Feuchtevakanz ist die Wasseraktivität, gekennzeichnet durch den  $a_w$ -Wert, der den aktiven Wassergehalt, also die frei verfügbare Feuchte, in Materialien beschreibt:

$$a_w = \frac{p_D}{p_S} \quad (1.1)$$

mit

$a_w$  Wasseraktivität

$p_D$  Dampfdruck des Wassers im Substrat in Pa

$p_S$  Sättigungsdruck des reinen Wassers bei gleicher Temperatur in Pa

Der Zusammenhang des  $a_w$ -Wertes mit der relativen Luftfeuchte  $RH$ , die im Gleichgewichtszustand unmittelbar über dem Substrat herrscht, ist in der Gleichung von Scott seit 1957 wie folgt festgelegt:

$$RH = a_w \cdot 100 \quad \text{in \%} \quad (1.2)$$

Die verschiedenen Schimmelpilzarten haben unterschiedliche Feuchteansprüche. Es wird zwischen hydrophilen Arten mit hohem Feuchtebedarf und xerophilen Arten mit geringem Feuchtebedarf unterschieden. Der Wachstumsbereich von Schimmelpilzen wird durch sog. Isoplethen (Grenzkurven) definiert. Für die Beurteilung von Gebäudeschäden ist die untere Grenzkurve interessant, die sich bei verschiedenen Pilzarten unterschiedlich darstellt.

Angaben über die  $a_w$ -Werte verschiedener Schimmelpilze, getrennt nach Sporenbildung, Sporenkeimung und Myzelwachstum, enthält z. B. der Leitfaden des LGA Baden-Württemberg (Schimmelpilze in Innenräumen, 2011), der sich wiederum auf unterschiedliche Quellenangaben stützt und in [Tabelle 1.5](#) auszugsweise wiedergegeben wird.

**Tabelle 1.5:**  $a_w$ -Werte verschiedener Schimmelpilze (Quelle: Schimmelpilze in Innenräumen, 2011, S. 13–15)

Pilzspezies, -gattung	$a_w$ -Wert (Minimum; Optimum)		
	Sporenbildung	Sporenkeimung	Myzelwachstum
<i>Alternaria alternata</i>	0,90; 0,99	0,94; k. A.	0,85; 0,98
<i>Aspergillus flavus</i>	0,85; 0,95–0,96	0,80; k. A.	0,78; 0,95
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0,90; 0,98–0,99	k. A.	0,85; 0,98
<i>Aspergillus niger</i>	0,92–0,95; 0,96–0,98	0,84; k. A.	0,77; 0,96–0,98
<i>Aspergillus penicillioides</i>	k. A.	0,73	0,75; 0,77
<i>Aspergillus restrictus</i>	k. A.	0,75	0,75; 0,91
<i>Aspergillus versicolor</i>	0,80; 0,95–0,97	0,78	0,75; 0,95
<i>Cladosporium herbarum</i>	0,88–0,89; 0,96–0,98	0,88	0,88; 0,95–0,96
<i>Fusarium</i> sp.	k. A.	k. A.	0,87–0,89; k. A.
<i>Mucor racemosus</i>	k. A.	0,95; 0,98–0,99	0,92; 0,98
<i>Penicillium brevicompactum</i>	k. A.	k. A.	0,78; 0,82
<i>Penicillium chrysogenum</i>	k. A.	k. A.	0,81; 0,96
<i>Rhizopus stolonifer</i>	0,96; 0,98–0,99	0,93; k. A.	0,92–0,94; 0,98
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	0,86; 0,95–0,96	k. A.	0,85; 0,92–0,94
<i>Stachybotrys chartarum</i>	0,94	k. A.	k. A.
<i>Trichoderma viride</i>	0,98; k. A.	k. A.	0,99; k. A.
<i>Wallemia sebi</i>	k. A.	k. A.	0,69–0,75; k. A.
k. A. keine Angabe			

**Tabelle 1.6:** Temperaturbereiche für das Wachstum von Schimmelpilzen (Quelle: Mücke/Lemmen, 2000, S. 19)

Bezeichnungen	Minimum in °C	Optimum in °C	Maximum in °C
Mesophilie	0	25–35	ca. 40
Thermotoleranz	0	30–40	ca. 50
Thermophilie	20–25	20–25	ca. 60

### pH-Wert

Schimmelpilze wachsen in einem leicht sauren Milieu bei pH-Werten zwischen 4,5 und 6,5. Einzelne Arten entwickeln sich jedoch auch bei einem pH-Wert um 2 oder bei einem pH-Wert um 8.

### Temperatur

In allen Temperaturbereichen, die unter den Umgebungsbedingungen in Gebäuden üblicherweise auftreten, können Schimmelpilze existieren. Für die unterschiedlichen Pilzarten sind jeweils die Minimaltemperatur, die Optimaltemperatur und die Maximaltemperatur in der Literatur veröffentlicht worden. Danach werden die Pilzarten unterschieden in mesophile, thermotolerante und thermophile Schimmelpilze (siehe Tabelle 1.6).

Mücke/Lemmen, 2000, S. 19:

„1 Schimmelpilze – Allgemeiner Teil

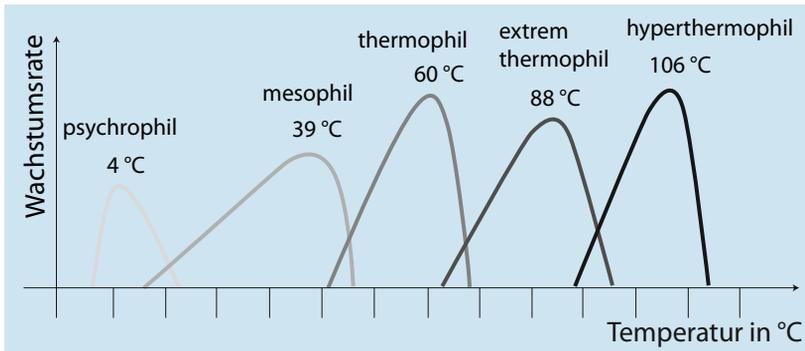
[...]

1.3 Lebensweise der Schimmelpilze

[...]

1.3.4 Temperaturansprüche und sonstige physikalische Wachstumsfaktoren

*Schimmelpilze wachsen in einem sehr weiten Temperaturbereich, man bezeichnet diese Eigenschaft als Mesophilie. Für das Myzelwachstum liegt die Minimaltemperatur meist um 0 °C, die Optimaltemperatur bei 25 bis 35 °C und die Maximaltemperatur zwischen 30 und 40 °C. Thermotolerante Schimmelpilze haben mit einer Maximaltemperatur von 50 °C einen noch größeren Temperaturbereich zur Verfügung. Die seltenen thermophilen Schimmelpilze wachsen dagegen erst bei Temperaturen über 20 °C [...]. Die Vertreter der wichtigen Gattung *Penicillium* bevorzugen niedrigere Temperaturen (etwa 20 bis 25 °C), während *Aspergillus*-Arten wärmeliebend sind (etwa 25 bis 35 °C). Die Dauerorgane von Schimmelpilzen (Sporen und Sklerotien) überstehen in inaktivem Zustand sehr hohe Temperaturen. Die Temperaturansprüche der Schimmelpilze können sich mit der Änderung der übrigen Bedingungen (z. B. Ernährung, Anwesenheit von Wuchs- oder Hemmstoffen, osmotische Verhältnisse) verschieben.“*



**Abb. 1.24:** Mikroorganismen und ihre bevorzugten Temperaturbereiche (Quelle: Madigan et al., 2000, S. 165)

Die verschiedenen Temperaturbereiche, bei denen Mikroorganismen existieren können, können in 5 Kategorien eingeteilt werden (siehe Abb. 1.24).

Eine Veränderung der Umgebungstemperaturen führt deshalb nicht zur Schimmelpilzbeseitigung, sondern nur dazu, dass andere Pilzarten dominant hervortreten.

## Licht

Das Vorhandensein von Licht ist keine grundsätzliche Voraussetzung für Schimmelpilzwachstum. Auch ohne Licht, in völliger Dunkelheit, können Schimmelpilze wachsen. Einige Schimmelpilzarten reagieren auf Licht entweder mit einem veränderten Wachstumsverhalten oder mit einer unterschiedlichen Färbung (siehe Abb. 1.25 und 1.26).

## Substrat

Für die Sporenauskeimung einerseits und für das Myzelwachstum andererseits sind unterschiedliche Voraussetzungen erforderlich, die sich in Abhängigkeit von dem verfügbaren Substrat, der Temperatur und der relativen Luftfeuchte als Isoplethenmodelle darstellen lassen, anhand derer sich der zeitliche Ablauf eines Schimmelpilzschadens abbilden lässt. Dafür wurden 3 unterschiedliche Substratgruppen 0, I und II festgelegt. Die sich dabei ergebenden untersten Grenzen möglicher Pilzaktivität werden Lowest Isopleth for Mould (LIM) genannt.

Sedlbauer/Krus, 2003a, S. 84:

### „4 Isoplethenmodell

*Es hat sich gezeigt, dass die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen ‚Temperatur, Feuchte und Substrat‘ über eine bestimmte Zeitperiode simultan vorhanden sein müssen, damit Schimmelpilzsporen keimen und anschließend das Myzel wachsen kann. Das Isoplethenmodell ermöglicht auf der Basis von Isoplethensystemen die Ermittlung der Sporenauskeimungszeiten und des Myzelwachstums, wobei auch der Substrateinfluss bei der Vorhersage der Schimmelpilzbildung berücksichtigt wird [...]. Ein Isoplethensystem beschreibt die*



**Abb. 1.25:** Algenbildung und Schimmelpilzbefall an der Raumseite einer durchfeuchteten Außenwand im Souterrain. Die Oberfläche wurde tagsüber vom Sonnenlicht beleuchtet. Die Tages- und Nachtphasen zeichnen sich aufgrund des radialen Wachstums der Schimmelpilze durch helle und dunkle kreisförmige Zonen ab.



**Abb. 1.26:** Vergrößerte Ansicht der Algenbildung und des Schimmelpilzbefalls aus Abb. 1.25

*hygrothermischen* Wachstumsvoraussetzungen eines Pilzes und besteht aus einem von der Temperatur und der relativen Feuchte abhängigen Kurvensystem, den sog. ‚Isoplethen‘, die zur Vorhersage von Sporenkeimung Auskeimungszeiten [...], im Falle der Beschreibung des Myzelwachstums Wachstum pro Zeiteinheit [...] darstellen.

#### 4.1 Isoplethensysteme

Zwischen einzelnen Pilzspezies ergeben sich bei den Wachstumsvoraussetzungen signifikante Unterschiede. Daher wurden bei der Entwicklung allgemeiner gültiger Isoplethensysteme nur Pilze berücksichtigt, die in Gebäuden auftreten und gesundheitsbeeinträchtigend sein könnten. Für diese etwa 200 Spezies sind quantitative Angaben zu den Wachstumsparametern Temperatur und Feuchte zusammengestellt worden [...]. [...] Die sich dabei ergebenden untersten Grenzen möglicher Pilzaktivität werden LIM (Lowest Isopleth for Mould) genannt. [...] Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrundes oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für zwei Substratgruppen (Grenzkurve LIMBau) vorgeschlagen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet wurden. Dazu erfolgte [...] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

- Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z. B. Vollmedien); das dafür gültige Isoplethensystem gibt die minimalen Wachstumsvoraussetzungen an, also auch die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Es bildet für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die unterste Wachstumsgrenze [...].
- Substratgruppe I: Biologisch gut verwertbare Substrate, wie z. B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen, stark verschmutztes Material; die unteren Grenzkurven im Isoplethensystem (LIMBau I; [...]) zeigen erhöhten Feuchtebedarf.

- *Substratgruppe II: Biologisch kaum verwertbare Substrate, wie z. B. mineralische Baustoffe mit porigem Gefüge (Putze etc., manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen; die unteren Grenzkurven im Isoplethensystem (LIMBau ii; [...]) zeigen weiter erhöhten Feuchtebedarf.“*

### 1.3.2 Stoffwechsel

Der Metabolismus (Stoffwechsel) ist die Gesamtheit der biologisch-chemischen Vorgänge in einem Organismus, bestehend aus Abbau von aufgenommenen oder selbst produzierten Substanzen und Umwandlung in Nährstoffe zum Aufbau und zur Stabilisierung der Zellmasse.

Bei Schimmelpilzen wird der für das Überleben erforderliche Primärstoffwechsel von dem Sekundärstoffwechsel unterschieden.

- Bei dem Primärmetabolismus werden Proteine, Kohlehydrate und Fette in Nährstoffe umgewandelt, die der Zellbildung der Schimmelpilze dienen;
- der Sekundärmetabolismus, bei dem auch Endprodukte des Primärstoffwechsels in die biologisch-chemischen Prozesse einbezogen werden können, setzt nur unter bestimmten Bedingungen ein; dabei können z. B. folgende Produkte entstehen:
  - Mykotoxine bei Schimmelpilzarten, die als potenzielle Toxinbildner gelten,
  - mikrobielle flüchtige organische Verbindungen (MVOC),
  - Antibiotika.

Der an bestimmte Umgebungsbedingungen anknüpfende Stoffwechsel von Schimmelpilzen führt zu einer diskontinuierlichen Freisetzung von Sekundärmetaboliten. Bei einem Estrich-Wasserschaden, der einer technischen Trocknung unterzogen wird, kann es z. B. erst nach einigen Tagen zu Geruchserscheinungen kommen, weil sich erst dann der für den Sekundärmetabolismus optimale Feuchtegehalt innerhalb der Estrich-Dämmschicht einstellt und erst dann verstärkt geruchsintensive gasförmige Verbindungen (MVOC) freigesetzt werden.

Einzelne Schimmelpilzarten werden als potenzielle Toxinbildner bezeichnet, weil sie unter bestimmten Umgebungsbedingungen in der Lage sind, Toxine als Sekundärmetabolite zu produzieren. In der Natur dient diese Eigenschaft der Gegenwehr gegen andere Organismen. Daneben sind einzelne Bakterienarten als potenzielle Toxinbildner bekannt.

## 2 Gesundheitsrisiko Schimmelpilze

### 2.1 Gesundheitsgefahren

Ob und in welchem Maße konkrete Gesundheitsgefahren von Schimmelpilzen ausgehen, ist in der Wissenschaft noch nicht einheitlich und abschließend geklärt, da bislang keine Dosis-Wirkung-Beziehung nachgewiesen worden ist:

Schimmelpilz-Leitfaden, 2002, S. 18:

*„A-2 Wirkungen von Schimmelpilzen auf den Menschen*

*Zahlreiche epidemiologische Studien zu gesundheitlichen Auswirkungen durch Schimmelpilze belegen einen Zusammenhang zwischen einer Exposition der Normalbevölkerung gegenüber luftgetragenen mikrobiologischen Stoffen in der Umwelt – auch durch Feuchtigkeit sowie Schimmelbildung im Innenraum – und Atemwegsbeschwerden. In keiner dieser umweltepidemiologischen Studien konnte jedoch bislang aufgrund der vielen möglichen Einflussfaktoren eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Konzentration an Schimmelpilzen in der Luft und den gesundheitlichen Auswirkungen aufgestellt werden. Dies bedeutet, dass es nicht möglich ist anzugeben, ab welchen Konzentrationen von Schimmelpilzen im Innenraum mit welchen Erkrankungshäufigkeiten zu rechnen ist [...].*

*Bei sehr hohen Schimmelpilzkonzentrationen, wie sie an belasteten Arbeitsplätzen auftreten können, wurden in neueren epidemiologischen Studien Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen der Konzentration an Schimmelpilzen in der Luft und gesundheitlichen Auswirkungen gefunden; derartig hohe Konzentrationen treten jedoch außerhalb des Arbeitsplatzbereiches nicht auf. Sporen und Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen können, über die Luft eingeatmet, allergische und reizende Reaktionen bzw. Symptomkomplexe beim Menschen auslösen [...]. In seltenen Fällen können einige Schimmelpilzarten darüber hinaus bei bestimmten Risikogruppen auch Infektionen hervorrufen (sog. Mykosen; [...]). Diese verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen werden im Folgenden nach der Häufigkeit ihres Auftretens und der Bedeutung für den Innenraum kurz dargestellt. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass allergische und reizende Wirkungen sowohl von lebenden als auch von abgestorbenen Schimmelpilzen ausgehen können, während zur Auslösung von Infektionen nur lebende befähigt sind.*

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

Eine weitere allgemeine Erkenntnisquelle hinsichtlich gesundheitlicher Belastungen der Raumnutzer durch Schimmelpilze ist das abgestimmte Arbeitsergebnis des LGA Baden-Württemberg:

Schimmelpilze in Innenräumen, 2001, S. 16:

„3 *Eigenschaften von Schimmelpilzen*

[...]

### 3.3 *Umweltmedizinisch relevante Schimmelpilze in der Innenraumluft*

*Schimmelpilze kommen in der Umwelt des Menschen weit verbreitet vor. Es gibt über 100.000 Schimmelpilzarten. Sie haben in der Natur die Aufgabe, organische Substanz abzubauen und in Form von Erdboden den Pflanzen als Nährstoffquelle zugänglich zu machen [...]. Der Mensch ist deshalb an ein Vorkommen von Schimmelpilzen in seiner Umgebung angepasst und weist gegenüber Schimmelpilzen eine hohe natürliche Resistenz auf. Er reagiert folglich nur selten mit Krankheitssymptomen auf eine Schimmelpilzexposition.*

*Klinisch relevante Infektionen auf inhalativem Wege sind denkbar, wenn sich die Schimmelpilzexposition quantitativ oder qualitativ stark von der Hintergrundexposition unterscheidet oder der Mensch in seiner Abwehrfähigkeit stark geschwächt ist. Allergische Reaktionen auf Schimmelpilze wie allergischer Schnupfen, allergische Bindehautentzündung, allergisches Asthma o. Ä. (allergische Reaktionen vom Typ 1 nach Coombs und Gell) sind auch bei Hintergrundexposition möglich.*

*Entscheidend für die Wirkung von inhalativ aufgenommenen Schimmelpilzen auf den Menschen ist neben individuellen konstitutionellen Faktoren die Pathogenität und die Gesamtzahl der auf den Menschen einwirkenden Pilze und die Häufigkeit ihres Auftretens unabhängig davon, aus welcher Quelle sie kommen. Die Zuordnung der Schimmelpilze zu einer Quelle ist für die Planung von Abhilfemöglichkeiten (Baubiologie, Emissionsminderung von Betrieben) notwendig. Die Belastung und Beanspruchung von Menschen sind aber bei Außen- und Innenraumquellen im Wesentlichen gleich.*

*Schimmelpilze können folgende Gesundheitsstörungen hervorrufen:*

- *Allergien*
- *toxische Wirkungen*
- *Infektionen“*

Danach muss zunächst eine quantitativ oder qualitativ starke Abweichung der Schimmelpilzexposition vorliegen, damit klinisch relevante Infektionen beim Menschen auftreten können.

Nach dem abgestimmten Arbeitsergebnis des LGA Baden-Württemberg kommen unter medizinischen Gesichtspunkten als mögliche Gesundheitsstörungen Allergien, Entzündungsreaktionen aufgrund toxischer Wirkungen und Infektionen in Betracht:

Handlungsempfehlung LGA Baden-Württemberg, 2006, S. 11–12:

### „3 Eigenschaften von Schimmelpilzen

[...]

#### 3.1.1 Schimmelpilze

*Schimmelpilze und ihre Sporen sind ein natürlicher Bestandteil unserer Umwelt und sind somit auch in Innenräumen vorhanden. Schimmelpilze können eine allergene, eine toxische sowie eine infektiöse Wirkung besitzen. Ein direkter Zusammenhang zwischen einer Schimmelpilzbelastung in Innenräumen und einer Erkrankung des Menschen ist bisher außer bei den selten auftretenden Infektionen meist kaum zu belegen. Das Wachstum von Schimmelpilzen in Innenräumen stellt daher hauptsächlich ein hygienisches Problem dar.*

##### 3.1.1.1 Allergien

*Grundsätzlich können alle Schimmelpilze in lebendem oder abgetötetem Zustand Allergien hervorrufen. Schimmelpilzbelastungen können sich auf Atopiker schwerwiegender auswirken als auf Nichtatopiker, Atopiker sind Menschen, die zu Asthma, Neurodermitis, Heuschnupfen u. Ä. neigen. [...]*

##### 3.1.1.2 Reizende toxische Wirkungen

*Schimmelpilze zeigen zusätzlich (besonders in großen Mengen) toxische Wirkungen, die sich am häufigsten im Kontaktbereich als Entzündungsreaktion auf die Bindehäute, die Haut, auf die Schleimhaut der Nase, der oberen Atemwege, seltener auf die tiefen Atemwege auswirken.*

##### 3.1.1.3 Infektionen

*Schimmelpilze der Risikogruppe 2 nach Biostoffverordnung können selten Infektionen beim Menschen verursachen. Allgemeininfektionen, wie z. B. die Aspergillose, treten fast ausschließlich bei immungeschwächten Menschen auf. Häufiger sind Aspergillome der Nasennebenhöhlen oder der Lunge oder die mit Asthmasymptomatik einhergehende bronchopulmonale Aspergillose, die bei günstigen Ansiedlungsbedingungen der Pilze (Nasennebenhöhlenentzündung, erweiterte Bronchien) zu beobachten sind. Sie sind bei hoher Schimmelpilzbelastung häufiger als bei niedriger Belastung. [...]*

#### 3.3 Umweltmedizinisch relevante Schimmelpilze in der Innenraumluft

[...]

##### 3.3.7 Empfehlungen

*[...] In die medizinische Beurteilung einer Schimmelpilzbelastung sollte sowohl die Gesamtkeimzahl als auch die Spezies-Zusammensetzung Eingang finden. Bei ausgeprägter Schimmelpilzexposition sind Minimierungsmaßnahmen angezeigt. Auch eine erhöhte Belastung mit Schimmelpilzen, bei denen eine Cancerogenität von Toxinen auf dem Luftweg diskutiert wird, sollte vermieden werden. [...]*“

Sofern in Leitfäden, Informationen und anderen Regelwerken von Arbeitsplatzkonzentrationen die Rede ist, handelt es sich dabei um deutlich höhere Konzentrationen, als sie in Wohnungen auftreten. Es lassen sich daraus keine Rückschlüsse auf die Gesundheitsrelevanz bestimmter Konzentrationen von Schimmelpilzen in Wohnungen ziehen, da die Arbeitnehmer an stark mit Schimmelpilzen belasteten Arbeitsplätzen in der Regel unter arbeitsmedizinischer Beobachtung stehen.

Die Bauberufsgenossenschaft BG Bau gibt verschiedene Baustein-Merkhefte heraus, in denen sog. Bausteine als Merkblätter für unterschiedliche Gefährdungsbereiche an Arbeitsplätzen enthalten sind. Der Baustein A 211 behandelt das Thema Schimmelpilze bei der Gebäudesanierung.

BG-Bau-Baustein A 211 „Schimmelpilze bei der Gebäudesanierung“ (2012), S. 19 f.:

*„Allgemeine Hinweise*

- *Schimmelpilze, besonders deren Sporen, können bei Aufräum-, Abbruch- und Sanierungsarbeiten freigesetzt werden und in die Atemluft gelangen.*
- *Schimmelpilze zählen entsprechend der Biostoffverordnung zu den biologischen Arbeitsstoffen.*

*Gefährdung*

- *Aufnahmepfade:*
  - *Atemwege*
  - *Mund*
  - *Haut/Schleimhäute*
- *Schimmelpilze können sensibilisierend wirken und in der Folge allergische Reaktionen auslösen. Symptome einer Allergie sind:*
  - *Augenjucken und -tränen*
  - *Fließschnupfen*
  - *trockener Husten*
  - *Atemnot*
  - *entzündliche Rötung der Haut*
- *Viele Schimmelpilze bilden toxische (giftige) Stoffe, sog. Mykotoxine.*
- *Toxine können sich auch in den Baustoffen anreichern und bei staubintensiver Bearbeitung (z. B. Schleifen, Fräsen) freigesetzt werden. Sie können z. B. Nieren, Leber, Blut, das Nerven- oder das Immunsystem schädigen.*
- *Das Infektionsrisiko spielt bei Schimmelpilzen eine untergeordnete Rolle.“*

Weitere Hinweise auf mögliche Gesundheitsgefährdungen bei der Gebäudesanierung gibt die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung DGUV in dem Merkblatt DGUV-Information 201-028 heraus, das zuvor als BGI 858 veröffentlicht worden war:

DGUV-Information 201-028 „Handlungsanleitung Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung“ (2006), S. 9 ff.:

*„4 Gefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung*

*Der Kontakt mit biologischen Arbeitsstoffen kann Allergien auslösen, toxische Wirkungen haben und zu Infektionskrankheiten führen. Beim Umgang mit*

*biologischen Arbeitsstoffen bei Gebäudesanierungsarbeiten stehen allergische und toxische Reaktionen im Vordergrund.*

#### 4.1 Aufnahmepfade

*Bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen sind verschiedene Aufnahme-  
wege zu beachten:*

- *Aufnahme über die Atemwege: Mikroorganismen werden in der Regel – eingelagert in oder angeheftet an kleinste Tröpfchen oder Stäube – als sogenannte Bioaerosole eingeatmet. Schimmelpilze bilden eine Vielzahl von Sporen, die sich über die Luft verbreiten. Dies wird durch äußere Einflüsse, wie z. B. Zugluft, Erschütterungen verstärkt.*
- *Aufnahme über den Mund:*
  - *Berühren des Mundes mit verschmutzten Händen, Handschuhen oder Gegenständen.*
  - *Essen, Trinken oder Rauchen ohne vorherige Reinigung der Hände.*
  - *Verzehr von Nahrungsmitteln, die durch Aufbewahren in verschmutzten Bereichen kontaminiert wurden.*
- *Aufnahme über die Haut oder die Schleimhäute:*
  - *Verletzungen ermöglichen Mikroorganismen das Eindringen in den Körper.*
  - *Aufgeweichte Haut bei Feuchtarbeiten sowie Spritzer in die Augen müssen ebenfalls als Eintrittspforte berücksichtigt werden.*

#### 4.2 Allergisierende und toxische Wirkungen

*Mikroorganismen in der Raum- bzw. Atemluft*

*Schimmelpilze können sensibilisierend wirken und in der Folge allergische Reaktionen auslösen. Symptome einer Allergie können sein:*

*Augenjucken und -tränen, Fließschnupfen, trockener Husten und im fortgeschrittenen Stadium Atemnot. Auch die Haut kann mit Jucken, Rötung und Quaddelbildung betroffen sein. Diese Symptome treten kurz- oder auch langfristig auf und können in einen Asthmaanfall münden.*

*Bei sehr hohen Schimmelpilzkonzentrationen in der Luft und längerer Einwirkdauer besteht die Möglichkeit einer schweren Lungenerkrankung. Diese als exogene allergische Alveolitis (EAA) bezeichnete Erkrankung ist aus verschiedenen Branchen bekannt. Die Namen Farmer-, Malzarbeiter-, Kompostarbeiter- und Vogelzüchterlunge oder Reetdach-Krankheit weisen auf die Ursache, nämlich die an diesen Arbeitsplätzen atembaren Bioaerosole, hin.*

*Viele Mikroorganismen sind in der Lage, toxische Stoffe zu bilden. Es gibt eine Vielzahl von Schimmelpilztoxinen, die hinsichtlich ihrer Toxizität unterschiedlich eingeschätzt werden müssen.*

*Die Wirkung von Schimmelpilztoxinen auf den Menschen ist vielfältig und kann viele Organe betreffen, wie z. B. Nieren, Leber, Blut, Nervensystem, Immunsystem. Von einigen Mykotoxinen sind darüber hinaus karzinogene Wirkungen bekannt. Die toxische und kanzerogene Wirkung von inhalativ aufgenommenen Mykotoxinen ist nach gegenwärtigem Kenntnisstand noch nicht abschließend einzuschätzen.*

*Es ist immer damit zu rechnen, dass bei einem Schimmelpilzbefall auch Toxine gebildet werden. Da meist viele Schimmelpilzarten (und auch andere Mikroorganismen) an einem Befall beteiligt sind, kann davon ausgegangen werden, dass mehrere verschiedene Toxine vorhanden sind. Derzeit sind keine standardisierten Testmethoden für Schimmelpilztoxine in Baumaterialien allgemein verfügbar, so dass Routinemessungen nicht durchgeführt werden können.*

*Die Schimmelpilztoxine sind meist im Myzel, weniger in den Sporen lokalisiert und werden auch an den umgebenden Baustoff abgegeben. Daher ist die Freisetzung sehr hoher Sporenzahlen oder Staubmengen in der Luft nötig, um über die Atemluft größere Toxinmengen aufzunehmen. Dies kann bei staubintensiven Bearbeitungsverfahren gegeben sein.*

*Mikroorganismen im Wasser/Abwasser*

*Im Wasser/Abwasser spielen allergische Wirkungen von Schimmelpilzen keine Rolle.*

### 4.3 Infektionsgefährdung

[...]

*Schimmelpilze*

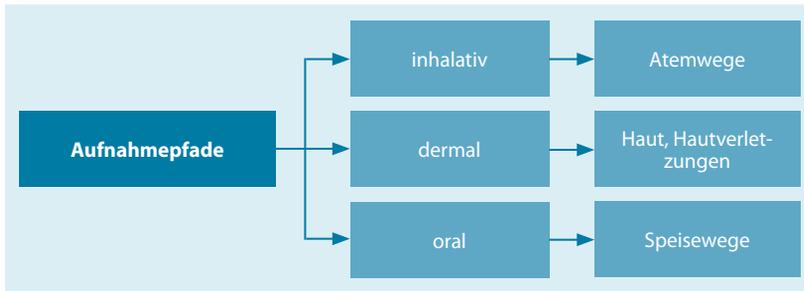
*Infektionserkrankungen durch Schimmelpilze (Mykosen) kommen nur sehr selten vor.*

*Das Infektionsrisiko durch Schimmelpilze ist für Abbruch- und Sanierungsarbeiten daher von nachrangiger Bedeutung. Wichtig wird dieses Infektionsrisiko jedoch für Personen mit Immunabwehrschwäche, z. B. durch chronische Erkrankungen oder durch Medikamente.“*

## 2.2 Aufnahmepfade

Die Aufnahme von Umweltschadstoffen kann grundsätzlich beim Einatmen über die Luft, durch Schleimhaut- oder Hautkontakt über den Staub oder durch den Kontakt mit kontaminierten Textilien oder über die Nahrung erfolgen (siehe Abb. 2.1):

- Inhalative Aufnahme: Eingeatmet werden können lebende wie tote Keime, tote Zellen und Zellfragmente, an Keimen oder Zellen anhaftende Toxine und Antibiotika, im Schwebstaub angereicherte Toxine und Antibiotika, gasförmige Toxine und gasförmige flüchtige Verbindungen.
- Dermale Aufnahme: Mittels Hautkontakt können an Gegenständen (Kleidung, Sitzmöbel, Matratzen usw.) anhaftende Keime, Zellen, Zellwandbestandteile oder adsorbierte Toxine, Antibiotika und flüchtige organische Verbindungen aufgenommen werden; bei Verletzungen der Haut können Fragmente der Mikroorganismen in die Blutbahn gelangen.
- Orale Aufnahme: Die Nahrungsmittel können bereits beim Kauf mit Keimen, mikrobiellen Zellen, Endotoxinen, Mykotoxinen kontaminiert sein oder bei der Lagerung in Räumen mit einem mikrobiellen Schaden von diesem kontaminiert werden; auch können möglicherweise Trink- und Essgeschirr in der Wohnung kontaminiert worden sein.



**Abb. 2.1:** Aufnahmepfade von Umweltschadstoffen

Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ist die inhalative Aufnahme von mikrobiellen Stoffen, ob unmittelbar oder als Kontamination im Staub, derjenige Expositionsweg, welcher in den meisten Fällen zu Beschwerden führt. Der Weg über den Hautkontakt ist in bestimmten Fällen eventuell auch relevant, während die Nahrungsaufnahme im Zusammenhang mit einer durch einen Feuchteschaden entstandenen mikrobiellen Innenraumquelle keine Rolle spielt.

Die Frage, ob bestimmte Schimmelpilzarten im Einzelfall ein Gesundheitsrisiko darstellen, kann von bausachverständiger Seite nicht beurteilt werden, da eine Beeinträchtigung der Gesundheit von der erworbenen oder erblich übertragenen Immunkompetenz der jeweils durch Mikroorganismen belasteten Personen abhängt. Diese Beurteilung muss einem individuellen medizinischen Befund von einem Mediziner vorbehalten bleiben und setzt beim Arzt Kenntnis über die Exposition des Patienten voraus.

### 2.3 Risikobewertung

Bei der Beurteilung bestimmter Schimmelpilzarten hinsichtlich ihrer Pathogenität bezieht sich der Leitfaden des LGA Baden-Württemberg auf die dafür einschlägige TRBA 460 „Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – Einstufung von Pilzen in Risikogruppen“ (2002). Die technischen Regeln für biologische Arbeitsstoffe (TRBA) können zur Bewertung von gesundheitlichen Risiken herangezogen werden. Darin werden einzelne Schimmelpilzarten unter dem Aspekt der gesundheitlichen Relevanz den entsprechenden Risikogruppen 1, 2 oder 3 zugeordnet.

TRBA 460 (2002), S. 3:

„Anmerkung zur Nomenklatur:

[...]

In der Spalte ‚Bemerkungen‘ verwendete Kennzeichnungen:

- +: In Einzelfällen überwiegend bei erheblich abwehrgeschwächten Menschen als Krankheitserreger nachgewiesen oder vermutet. Identifizierung der Art oft nicht zuverlässig. [...]
- vet: Kennzeichnet Pilze, die außerdem pathogen gegen Haus- und Nutztiere sind.“

Tabelle 2.1 zeigt einen Auszug aus den TRBA 460, um die Verwendung der genannten Kennzeichnungen zu verdeutlichen.

**Tabelle 2.1:** Risikobewertung der Schimmelpilzarten (Auszug; Quelle: TRBA 460, 2002, S. 3)

Art	Risikogruppe	Bemerkungen
<i>Absidia corymbifera</i>	1	+, vet
<i>Absidia ramosa</i> ⇓ <i>Absidia corymbifera</i>		
<i>Achorion quinckeanum</i> ⇓ <i>Trichophyton mentagrophytes</i>		
<i>Acremonium falciforme</i>	2	
<i>Acremonium kiliense</i>	2	
<i>Ajellomyces capsulatus</i> (anamorph: <i>Histoplasma capsulatum</i> )	3	vet
<i>Ajellomyces dermatitidis</i> (anamorph: <i>Blastomyces dermatitidis</i> )	3	vet
<i>Allescheria boydii</i> ⇓ <i>Scedosporium apiospermum</i>		
<i>Alternaria alternata</i>	1	+
<i>Apophysomyces elegans</i>	1	+
<i>Arthroderma benedekii</i> ⇓ <i>Arthroderma benhamiae</i>		
<i>Arthroderma benhamiae</i> (anamorph: <i>Trichophyton erinacei</i> )	2	vet
<i>Arthroderma otae</i> ⇓ <i>Nannizia otae</i>		
<i>Arthroderma persicolor</i> ⇓ <i>Nannizia persicolor</i>		
<i>Arthroderma simii</i> (anamorph: <i>Trichophyton simii</i> )	2	vet
<i>Arthroderma vanbreuseghemii</i> (anamorph: <i>Trichophyton interdigitale</i> )	2	
<i>Arthrographis kalrae</i> (teleomorph: <i>Eremomyces langeronii</i> )	1	+
<i>Arthrographis langeronii</i> ⇓ <i>Arthrographis kalrae</i>		
<i>Aspergillus clavatus</i>	1	+

Tabelle 2.1 (Fortsetzung)

Art	Risikogruppe	Bemerkungen
<i>Aspergillus flavus</i>	2	vet
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	vet
<i>Aspergillus hialoseptus</i> ↯ <i>Aspergillus fumigatus</i>		
<i>Aspergillus niger</i>	1	+, vet
<i>Aspergillus terreus</i>	1	+, vet
<i>Aspergillus versicolor</i>	1	+, vet
<i>Aureobasidium mansonii</i> ↯ <i>Exophiala castellanii</i>		
<i>Aureobasidium werneckii</i> ↯ <i>Hortaea werneckii</i>		
<i>Basidiobolus haptosporus</i> ↯ <i>Basidiobolus ranarum</i>		
<i>Basidiobolus ranarum</i>	2	vet
<i>Bipolaris australiensis</i>	1	+
<i>Bipolaris hawaiiensis</i>	1	+
<i>Bipolaris spicifera</i>	1	+
<i>Bastodendron oosporoides</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Blastomyces dermatitidis</i> (teleomorph: <i>Ajellomyces dermatitidis</i> )	3	vet
<i>Blastomyces tulanensis</i> ↯ <i>Blastomyces dermatitidis</i>		
<i>Candida africana</i>	2	
<i>Candida albicans</i>	2	vet
<i>Candida benhamii</i> ↯ <i>Candida tropicalis</i>		
<i>Candida biliaria</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Candida dubliniensis</i>	2	
<i>Candida glabrata</i>	1	+, vet

Tabelle 2.1 (Fortsetzung)

Art	Risikogruppe	Bemerkungen
<i>Candida castellanii</i> ↯ <i>Candida krusei</i>		
<i>Candida desidiosa</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Candida guilliermondii</i> (teleomorph: <i>Pichia guilliermondii</i> )	1	+
<i>Candida intestinalis</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Candida krusei</i> (teleomorph: <i>Issatchenkia orientalis</i> )	1	+, vet
<i>Candida langeronii</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Candida lusitanae</i>	1	+
<i>Candida mycotoruloides</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Candida norvegensis</i> (teleomorph: <i>Pichia norvegensis</i> )	1	+
<i>Candida noveltii</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
<i>Candida parapsilosis</i>	1	+
<i>Candida stellatoidea</i> ↯ <i>Candida albicans</i>		
anamorph teleomorph ↯	ungeschlechtliche Form geschlechtliche Form Mit dem Pfeil sind die synonymen, gebräuchlichen Namen gekennzeichnet.	

Auch das Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) hat Richtlinien für die Einstufung von Pilzen herausgegeben. Die BUWAL-Richtlinie liefert ergänzende Hinweise, die insbesondere dann eine wichtige Information darstellen, wenn die TRBA 460 für bestimmte Schimmelpilzarten noch keine Einstufung vorgenommen hat. In den BUWAL-Richtlinien „Einstufung von Organismen – Pilze“ (2004) heißt es:

BUWAL-Richtlinien, 2004, S. 4 f.:

„Anmerkungen zur Pilzliste

[...] Die Einstufung der Pilze in eine Gruppe bestimmt in starkem Ausmaß die Sicherheitsstufe, auf der Tätigkeiten mit ihnen durchgeführt werden müssen. Erst eine detaillierte Risikobewertung gemäß Art. 8 ESV kann jedoch abschließend Auskunft geben, ob die erforderliche Sicherheitsstufe mit der Gruppe des Organismus identisch ist oder ob allenfalls ein höheres Sicherheitsniveau nötig ist. [...]

Legende [der Pilzliste]

[...]

Für Mensch und Tier pathogene Pilze

- *h*: In der Literatur belegte pathogene Wirkung auf den Menschen, einschließlich Personen mit Immunschwäche. Die Arten werden grundsätzlich den Gruppen 2 und 3 zugeordnet.
- *v*: In der Literatur belegte pathogene Wirkung auf Wirbeltiere (Säugetiere ohne Mensch, Vögel, Fische, Reptilien und Amphibien). Die Arten werden grundsätzlich den Gruppen 2 und 3 zugeordnet.
- *n*: Pathogene Wirkung auf Wirbellose. Diese Arten werden den Gruppen 2 und 3 zugeordnet.
- *X*: Noch nicht eingestuft. Vor Beginn einer Arbeit mit diesen Organismen ist eine Einstufung im Rahmen der Risikobewertung gemäß Art. 8 ESV vorzunehmen. Die zuständige Bundesbehörde ist zu kontaktieren.
- *TA*: Arten, von denen Stämme seit Langem ohne erkennbares Risiko für technische Anwendungen zum Einsatz kommen. Entsprechend den Kriterien zur Einstufung können diese Stämme somit der Gruppe 1 zugeteilt werden.

Phytopathogene Pilze

- *p*: Phytopathogene Arten.“

### **Beispiel: Risikobewertung eines Schimmelpilzbefunds der Spezies in Tabelle 2.2**

In Spalte 1 der Tabelle 2.2 sind die in gesundheitlicher Hinsicht relevanten Schimmelpilzspezies aufgelistet, die laut einem Laborbericht der Umweltmykologie GbR in einem Schimmelpilzbefall nachgewiesen wurden. Spalte 2 gibt an, welcher Risikogruppe gemäß der TRBA 460 die jeweilige Spezies angehört. In der Spalte 3 finden sich Bemerkungen zur jeweiligen Wirkung entsprechend TRBA 460. In der Spalte 4 ist gekennzeichnet, welche Spezies nach der einschlägigen Literatur zu den potenziellen Toxinbildnern gehört. Die letzten beiden Spalten (5 und 6) beziehen sich auf die BUWAL-Richtlinien zur Einstufung von Organismen (Pilze; BUWAL-Richtlinien, 2004). Dabei gibt die Spalte 5 an, zu welcher Gruppe die jeweilige Spezies gehört, und die Spalte 6, von welcher möglichen Wirkung ausgegangen werden kann.

**Tabelle 2.2:** Schimmelpilzbefund laut Laborbericht der Umweltmykologie GbR mit Risikobewertung gemäß TRBA 460 und BUWAL-Richtlinien (BUWAL-Richtlinien, 2004). Die verwendeten Kürzel sind in den oben über dem Beispiel aufgeführten Zitaten aufgeschlüsselt.

Spezies	TRBA 460		potenzielle Toxinbildner	BUWAL-Richtlinien	
	Risikogruppen	Bemerkungen		Gruppen	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	vet	x	2	h; v
<i>Aspergillus niger</i>	1	+; vet	x	2	h; v
<i>Aspergillus versicolor</i>	1	+; vet	x	2	h; v
<i>Engyodontium album</i>	1	+	–	2	h
<i>Tritirachium oryzae</i>	–	–	–	2	h
<i>Wallemia sebi</i>	–	–	x	2	h

Gemäß der TRBA 460 gehören die im Beispielfall festgestellten Spezies *Aspergillus niger* und *Aspergillus versicolor* der Risikogruppe 1 an. Diese beiden Pilzarten konnten in den Außenluftproben nicht festgestellt werden. Insofern können in diesem Fall Innenraumquellen nicht völlig ausgeschlossen werden.

Als potenzielle Toxinbildner sind gemäß [Tabelle 2.1](#) *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor* und *Wallemia sebi* zu nennen.

Laut Laborbericht kommt die Pilzart *Wallemia sebi* in ähnlich hohen Konzentrationen sowohl in der Außenluftprobe als auch in mehreren Innenluftproben vor. Daher ist hinsichtlich dieser Pilzart eine Innenraumquelle unwahrscheinlich.

Nach den BUWAL-Richtlinien für die Einstufung von Organismen und Pilzen zählen die Pilzarten *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor* und *Wallemia sebi* zur Einstufung h (BUWAL-Richtlinien, 2004). Für Pilze mit dieser Einstufung ist eine pathogene Wirkung auf den Menschen belegt, einschließlich Personen mit Immunschwäche. Infolgedessen kann im Hinblick auf die Beweisfrage nicht ausgeschlossen werden, dass die vorstehend genannten Schimmelpilze auch in geringen Konzentrationen bei Allergikern zu gesundheitlichen Beschwerden bzw. zu einer Verschlechterung eines bestehenden Krankheitsbilds führen können.

### 3 Schimmelpilze in Gebäuden

Schimmelpilze sind nicht erst seit dem Einbau von isolierverglasten Fenstern zu einer Plage für die Bewohner geworden. Bereits im Alten Testament finden sich entsprechende Hinweise:

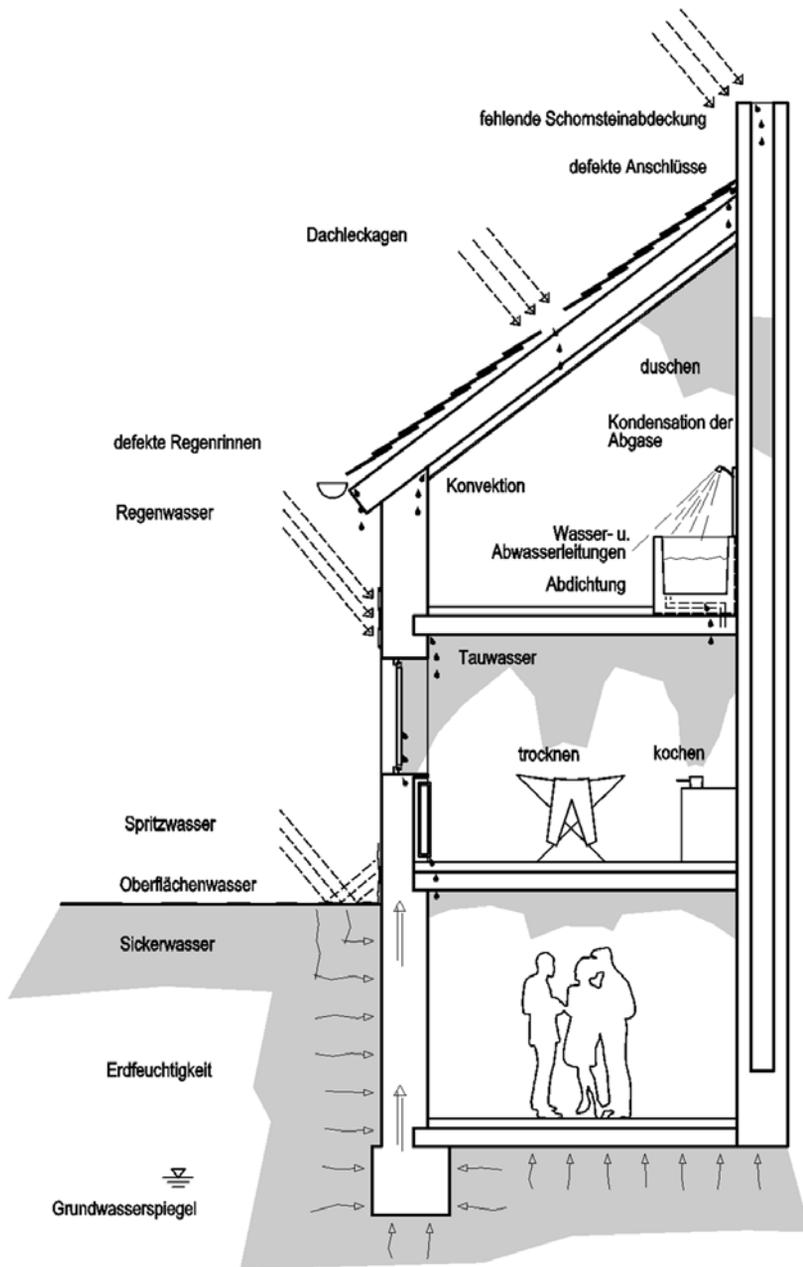
Altes Testament, Drittes Buch Mose, Kapitel 14, Vers 33–57:

*„Gesetz über Aussatz an Häusern*

*Und der HERR redete mit Mose und Aaron und sprach: Wenn ihr ins Land Kanaan kommt, das ich euch zum Besitz gebe, und ich lasse an irgendeinem Hause eures Landes eine aussätzige Stelle entstehen, so soll der kommen, dem das Haus gehört, es dem Priester ansagen und sprechen: Es sieht mir aus, als sei Aussatz an meinem Hause. Da soll der Priester gebieten, dass sie das Haus ausräumen, ehe der Priester hineingeht, die Stelle zu besehen, damit nicht alles unrein werde, was im Hause ist. Danach soll der Priester hineingehen, das Haus zu besehen. Wenn er nun den Ausschlag besieht und findet, dass an der Wand des Hauses grünliche oder rötliche Stellen sind, die tiefer aussehen als sonst die Wand, so soll er aus dem Hause herausgehen, an die Tür treten und das Haus für sieben Tage verschließen. Und wenn er am siebenten Tage wiederkommt und sieht, dass der Ausschlag weitergefressen hat an der Wand des Hauses, so soll er die Steine ausbrechen lassen, an denen der Ausschlag ist, und hinaus vor die Stadt an einen unreinen Ort werfen. Und das Haus soll man innen ringsherum abschaben und den abgeschabten Lehm hinaus vor die Stadt an einen unreinen Ort schütten und andere Steine nehmen und statt jener einsetzen und andern Lehm nehmen und das Haus neu bewerfen.*

*Wenn dann der Ausschlag wiederkommt und ausbricht am Hause, nachdem man die Steine ausgebrochen und das Haus neu beworfen hat, so soll der Priester hineingehen. Und wenn er sieht, dass der Ausschlag weitergefressen hat am Hause, so ist es gewiss ein fressender Aussatz am Hause, und es ist unrein. Darum soll man das Haus abbrechen, Steine und Holz und allen Lehm am Hause, und soll es hinausbringen vor die Stadt an einen unreinen Ort. Und wer in das Haus geht, solange es verschlossen ist, der ist unrein bis zum Abend. Und wer darin schläft oder darin isst, der soll seine Kleider waschen. [...]*

*Das ist das Gesetz über alle Arten des Aussatzes und Grindes, über den Aussatz an Kleidern und Häusern, über Erhöhungen, Ausschlag und weiße Flecken, damit man Weisung habe, wann etwas unrein oder rein ist. Das ist das Gesetz über den Aussatz.“*



**Abb. 3.1:** Feuchtequellen in Gebäuden

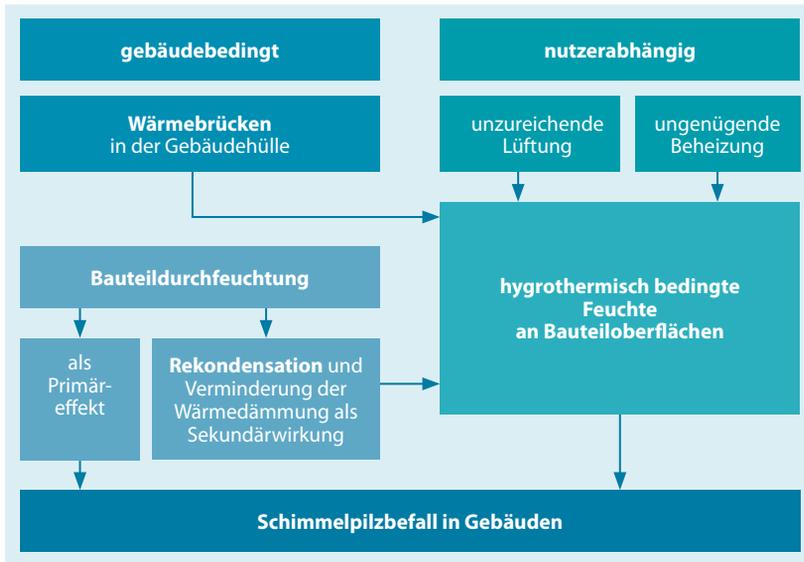


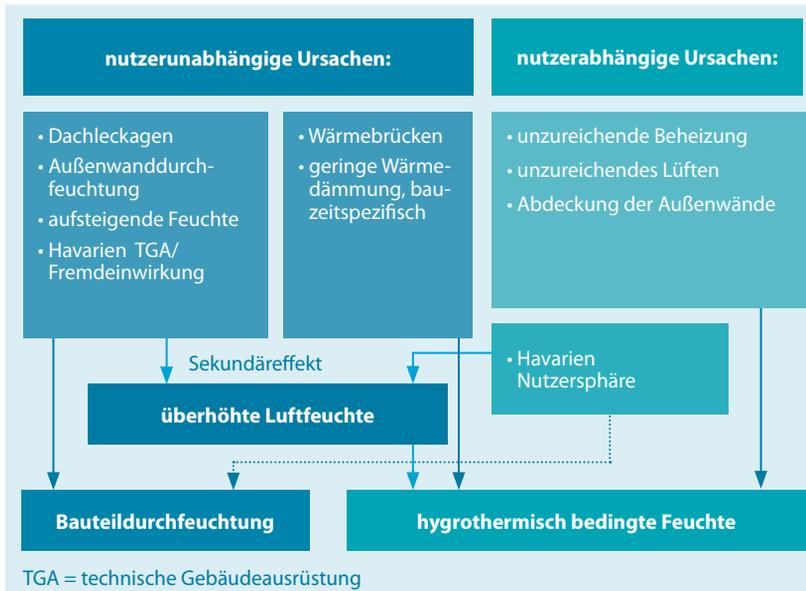
Abb. 3.2: Ursachen von Schimmelpilzbefall in Gebäuden

### 3.1 Feuchte in Gebäuden

Wesentliche Voraussetzung für einen mikrobiellen Befall ist die frei verfügbare Feuchte auf dem Substrat. Ein Substrat ist ein Material mit einem bestimmten energiereichen Nährstoffangebot, das als Unterlage für mikrobielles Wachstum dienen kann (siehe Kapitel 1.3.1.4). Substrate können im Gebäude in der Form von feuchten Raufasertapeten, Holz, Farben und in vielerlei weiteren Stoffen vorkommen. Die Keimung der Sporen findet in der Regel bei einer hohen relativen Feuchte von mehr als 80 % statt, d. h., sie benötigen zum Keimen eine Feuchteanreicherung an der Bauteiloberfläche oder im Material. Wenn die Sporenkeimung erst einmal stattgefunden hat, sind einige xerophile und stark xerophile Schimmelpilze auch noch bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 70 % entwicklungsfähig (siehe Kapitel 1.3.1.4).

Die für ein Schimmelpilzwachstum erforderliche Feuchte kann auf verschiedene Weise im Gebäude entstehen (siehe Abb. 3.1).

Für die erstmalige Ansiedlung von Schimmelpilzen ist neben anderen Lebensbedingungen zunächst ein hohes Maß an verfügbarer Feuchte unmittelbar an der Oberfläche des Substrats (Putz, Tapete usw.) erforderlich. Bei einem Schimmelpilzbefall in Gebäuden gilt es daher in der Regel zunächst, die Feuchtequelle zu ermitteln und damit Ursachenforschung zu betreiben. Es werden dabei die Bauteildurchfeuchtungen, die mit Defekten an der Wetter-schutzebene der Gebäudehülle oder an der Abdichtung des Gebäudes gegenüber dem Erdreich zusammenhängen, von den hygrothermisch bedingten Schäden unterschieden (siehe Abb. 3.2). Die bei einer Bauteildurchfeuchtung entstehende Anreicherung der Luft mit Feuchte findet nutzerunabhängig statt und bildet deshalb einen Sonderfall des hygrothermisch bedingten Schadens (siehe Abb. 3.3).



**Abb. 3.3:** Ursachen der Entstehung hygrothermisch bedingter Feuchte (Quelle: Hanhammer, 2005a, S. 44)

Tabelle 3.1 gibt die statistische Häufigkeit des Auftretens der genannten Ursachen eines Schimmelpilzbefalls anhand von 104 eigenen, gerichtlich beauftragten Gutachten des Autors wieder. Verglichen wird die Häufigkeit rein baulich bedingter Ursachen mit rein nutzerabhängigen Gründen für einen mikrobiellen Befall. Zudem ist die Quote der grenzwertigen Fälle aufgeführt, bei denen beide Ursachen in Wechselwirkung miteinander zum Befall geführt haben. Je nach Schwerpunkt der Beauftragung und der Zielrichtung des Beweisantrags können dabei auch abweichende Ergebnisse zustande kommen.

**Tabelle 3.1:** Häufigkeit der verschiedenen Ursachen eines Schimmelpilzbefalls (Daten des Autors)

Ursachen	Häufigkeit in %
baulich	50
nutzerverschuldet	15
baulich und nutzerverschuldet	35