

■ Kraus-Johnsen (Hrsg.)

# Schimmelpilz- Handbuch

## Praxiswissen zu Schimmelpilz- schäden in Gebäuden

- Mikrobiologie + Gesundheit
- Bautechnik + Arbeitsschutz
- Versicherung,  
Bewertung + Recht

PDF

Lese-

probe



Bundesanzeiger  
Verlag

## Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

... „*schon wieder ein Buch über Schimmelpilze*“, werden Sie vielleicht gedacht haben, als Sie dieses Buch sahen. Es stimmt, über Schimmelpilze wurde in den letzten Jahren viel geschrieben und veröffentlicht. Da sollte man denken, dass mittlerweile alles über das Thema gesagt wurde.

Aber dem ist nicht so. Die Erkenntnisse über Schimmelpilze entwickeln sich weiter. Es gibt neue Untersuchungsmethoden und, daraus resultierend, neue Klassifizierungen der Schimmelpilzarten, deren Nomenklatur sich dadurch verändert. Neue Methoden zur Detektion und Beseitigung von Schimmelpilzen werden entwickelt und es gibt neue Denkansätze zum Thema. Je tiefer man in die Materie einsteigt, desto komplexer und facettenreicher wird sie.

Unerwünschter Schimmelpilzbewuchs in Gebäuden betrifft nicht nur die Nutzer, sondern ebenso die Eigentümer der Immobilie, konsultierte Ärzte, Rechtsanwälte, Sachverständige, Sanierungsfirmen und beteiligte Versicherungen. Auch bei der Bewertung von Gebäuden kann ein Schimmelpilzschaden eine Rolle spielen.

Häufig sind Schimmelpilzschäden so komplex, dass Vertreter mehrerer Fachdisziplinen zusammenarbeiten müssen, um Ursachen zu klären, Auswirkungen zu erkunden und um den Schaden zu beseitigen.

Aus diesem Grund ist das Schimmelpilz-Handbuch interdisziplinär konzipiert: Aus der Vielzahl der Berufsgruppen, die sich direkt oder indirekt mit Schimmelpilzen auseinandersetzen, haben die wesentlichen hier mitgewirkt. Namhafte Vertreter der ausgewählten Fachdisziplinen tragen ihr Wissen zusammen, um dem Leser eine möglichst umfassende Übersicht zum derzeit aktuellen Stand der Schimmelpilz-Problematik in Gebäuden zu bieten. Die Beiträge haben darüber hinaus das Ziel, die Leser für Risiken zu sensibilisieren und Denkanstöße zu geben.

Die seit Veröffentlichung des vom Umweltbundesamt herausgegebenen *Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden* eingeführte Bezeichnung „Schimmel“ umfasst sowohl Schimmelpilze, als auch Hefen und Bakterien, die bei Feuchteschäden eine Rolle spielen. Diese Bezeichnung wurde hier bewusst nicht übernommen. Schimmelpilze werden in der Gruppe dieser Mikroorganismen als Leitorganismen bezeichnet, da man über sie und mit deren Untersuchung die meisten Erfahrungen hat. Vor diesem Hintergrund befasst sich dieses Buch primär mit den Schimmelpilzen.

Das Buch richtet sich sowohl an Fachleute, die sich regelmäßig mit dem Thema beschäftigen, aber auch z.B. an Hausverwaltungen, Hausärzte oder Rechtsanwälte, die nur gelegentlich mit der Schimmel-Thematik in Berührung kommen. Das Schimmelpilz-Handbuch erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es setzt darüber hinaus auch eine gewisse Grundkenntnis über Schimmelpilze und ihre Entstehung voraus, da ansonsten der Rahmen dieser Veröffentlichung nicht ausgereicht hätte.

## Vorwort

---

Ich bedanke mich bei den Autoren dieses Buches und beim Bundesanzeiger Verlag für ihr Vertrauen, für die gute und konstruktive Zusammenarbeit und für ihre Geduld. Den externen Beratern Heinrich Immoor, Sabine Küpper, Dipl.-Ing. Ralf Schumacher und Dipl.-Biol. Hermann Walterbusch danke ich für ihre Anregungen sowie für Verbesserungsvorschläge. Meiner Familie danke ich für die Unterstützung, Motivation und für ihre Nachsicht.

Hamburg, im Mai 2018

Irina Kraus-Johnsen

# Inhalt

Vorwort .....	5
---------------	---

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

<b>1 Baukonstruktion und Mikrobiologie als Ursache für Schimmelpilzbildung</b> .....	11
<i>Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, Dr. Thomas Warscheid</i>	
<b>2 Chemische Eigenschaften von Baustoffen und ihr Einfluss auf die Schimmelpilzbildung</b> .....	33
<i>Dipl.-Chem. Wolfhard Böttcher</i>	
<b>3 Ableitung von Bewertungskategorien für Schimmelpilze und Bakterien in Baumaterialien</b> .....	45
<i>Dr. rer. nat. Dipl.-Biol. Christoph Trautmann, Dipl.-Inf.-Wirt, BSc. hon. Judith Meider</i>	

## Teil 2: Medizinische Diagnostik bei Schimmelpilzschäden

<b>4 Diagnostische Möglichkeiten bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen aus medizinischer Sicht</b> .....	87
<i>Dr. Thomas Fenner</i>	

## Teil 3: Diagnostik bei Schimmelpilzschäden

<b>5 Sachgerechte Anwendung von Feuchtemesstechnik bei der Detektion von Schimmelpilzschäden</b> .....	111
<i>Dipl.-Ing. (FH) Arndt Lubrich</i>	
<b>6 Mikrobiologische Untersuchungsmethoden zur Schimmelpilzdiagnostik, fachgerechte Durchführung und Bewertung</b> .....	137
<i>Dr. rer. nat. Lothar Grün, Dr. rer. nat. Klaus Klus</i>	
<b>7 Methoden der optischen Bauforensik für die Schimmelpilzdetektion</b> ..	177
<i>Prof. Dr. Andreas O. Rapp</i>	

## Teil 4: Schimmelpilzsanierung und Präventionsmaßnahmen

<b>8 Sanierung von schimmelpilzbelasteten Bereichen</b> .....	213
<i>Martin Gemballa</i>	
<b>9 Schimmelpilzschäden unter Estrichen – Erkunden, Bewerten und Sanieren</b> .....	239
<i>Dipl.-Biol. Nicole Richardson, Mario Hänseler</i>	

## Inhalt

<b>10</b>	<b>Gefahren durch Asbest bei der Schimmelpilzsanierung</b> .....	261
	<i>Dr. sc. agr. Uwe Koop</i>	
<b>11</b>	<b>Gefahren durch Holzschutzmittel bei der Schimmelpilzbekämpfung</b> ...	283
	<i>Dipl.-Ing. (FH) Ekkehard Flohr, Dr. Robby Wegner</i>	
<b>12</b>	<b>Risiken durch holzerstörende Pilze bei der Schimmelpilzsanierung</b> ....	305
	<i>Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt</i>	
<b>13</b>	<b>Arbeitsschutzanforderungen bei der Schimmelpilzsanierung</b> .....	351
	<i>Dipl.-Ing. Andrea Bonner</i>	
<b>14</b>	<b>Die Bedeutung der technischen Trocknung bei der Sanierung von Wasser- und Feuchteschäden vor dem Hintergrund der aktuellen Schimmelpilzdiskussion</b> .....	375
	<i>Dr. Ernst J. Baumann</i>	
<b>15</b>	<b>Technik der Bautrocknung – „Nach der Trocknung ist vor der Trocknung“</b> .....	405
	<i>Michael K. Resch</i>	
<b>16</b>	<b>Schimmelpilzprävention vor, während und nach der Bauphase</b> .....	435
	<i>Dipl.-Ing. (FH) Architektin Irina Kraus-Johnsen</i>	

## Teil 5: Schimmelpilzschäden im Versicherungsfall

<b>17</b>	<b>Schimmelpilzschäden aus Sicht der Versicherer</b> .....	463
	<i>Dr. Sven Dreher</i>	

## Teil 6: Rechtliche Bewertung von Schimmelpilzschäden

<b>18</b>	<b>Schimmelpilz und Mietrecht – rechtliche Grundlagen</b> .....	491
	<i>Prof. Jürgen Ulrich</i>	
<b>19</b>	<b>Aspekte zum neuen Werkvertragsrecht und zur Gewährleistung bei der Schimmelsanierung</b> .....	547
	<i>RA Jochen Kern</i>	

## Teil 7: Schimmelpilzschäden bei der Immobilienbewertung

<b>20</b>	<b>Schimmel als Einflussfaktor auf Immobilienwerte</b> .....	567
	<i>Ina Viebrok-Hörmann</i>	
	<b>Herausgeberin</b> .....	595
	<b>Autorinnen und Autoren</b> .....	597
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	603
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	621

# 1 Baukonstruktion und Mikrobiologie als Ursache für Schimmelpilzbildung

*Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, Dr. Thomas Warscheid*

## Inhalt

- 1.1 Ausgangssituation
- 1.2 Ursachen von Schimmelpilzbildungen
- 1.3 Verantwortlichkeiten
- 1.4 Ursachen von Feuchtebelastungen in Gebäuden
- 1.5 Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen
  - 1.5.1 Feuchteanpassung von Schimmelpilzen
  - 1.5.2 Eingeschränkte Prognose bei physikalischen Rechenmodellen
  - 1.5.3 Baupraktische Aspekte des Schimmelpilzwachstums
  - 1.5.4 Fazit
- 1.6 Prophylaxe
- 1.7 Leitfäden und Richtlinien
  - 1.7.1 UBA-Leitfäden
  - 1.7.2 BVS-Richtlinie zum sachgerechten Umgang mit Schimmelpilzschäden in Gebäuden
    - Erkennen, Bewerten und Instandsetzen
- 1.8 Ausblick

## 1.1 Ausgangssituation

Schimmelpilze bilden einen wichtigen, nicht zu unterschätzenden ökologischen Bestandteil in der natürlichen wie auch anthropogenen Umwelt, ob als wichtiges Kettenglied im Kohlenstoffkreislauf, unverzichtbare Grundlage vieler Lebensmittel und Pharmazeutika oder als biotechnologische Anwendung bei der Schadstoffinstandsetzung. Wachsen sie aber auf Baustoffen und Beschichtungen in Wohn- und Arbeitsräumen, sind sie sowohl aus ästhetischen als auch aus gesundheitlichen Gründen unerwünscht.

In Innenräumen kann ein günstiges Umfeld für Schimmelpilze durch Feuchte und Nährstoffangebot bestehen. Um Maßnahmen gegen bestehenden Schimmelpilzbewuchs ergreifen sowie Strategien zu dessen Vermeidung entwickeln zu können, sind die grundsätzlichen mikrobiellen Wachstumsbedingungen auf Baustoffen und Beschichtungen zu klären. Die Bewertung der baulichen und ökologischen Zusammenhänge bildet die Grundlage einer Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit durch eine fachgerechte Instandsetzung. Das bedeutet, dass eine Instandsetzung bei Schimmelpilzschäden in Wohnräumen oder ähnlich genutzten Räumen nicht auf die vollständige Beseitigung allen mikrobiellen Bewuchses hinarbeiten kann, wie das bei Reinraumbedingungen z.B. in sensiblen Bereichen von Krankenhäusern oder in Wohnräumen von hypersensiblen Personen erforderlich ist. Patienten mit Immunsuppression zählen nicht zur Personengruppe, für die der übliche Zustand von Wohnräumen geeignet ist. Die allgemeine (und nicht die in besonderen Situationen anzunehmende) Gebrauchstauglichkeit zielt auf einen hygienischen Zu-

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

---

stand ab, der üblicherweise vor einem bestimmten Schadensereignis vorgelegen hat oder dieses anzunehmen ist.

### 1.2 Ursachen von Schimmelpilzbildungen

Neben der seit vielen Jahren diskutierten Hauptursache von Feuchtigkeitsangebot in Kapillarporen oder auf Bauteiloberflächen gibt es in der Baupraxis häufig keine Schimmelpilzbildung, obwohl die Rahmenbedingungen bezüglich des Feuchtigkeitsangebots gegeben sind. Andererseits kann es zu Schimmelpilzbildungen kommen, obwohl diese Rahmenbedingungen nicht gegeben sind. Nur aufgrund der baukonstruktiven und bauphysikalischen Situation kann also nicht mit ausreichendem Sicherheitsgrad prognostiziert werden, ob Schimmelpilze wachsen werden oder nicht.

Dabei nimmt die Wahrscheinlichkeit von Schimmelpilzbildungen durch sorptive Feuchtigkeit an inneren Oberflächen von Außenbauteilen mit dem immer besseren Wärmeschutz stetig ab. Guter Wärmeschutz sorgt für höhere Temperaturen an den Innenseiten der wärmeübertragenden Hüllfläche, sodass das bislang als wesentlich beschriebene Kriterium der 80 % relativen Luftfeuchtigkeit an Relevanz verliert. Die Untersuchungen des Aachener Instituts für Bauschadensforschung<sup>1</sup> haben gezeigt, dass vor und nach der energetisch bedeutsamen Wärmeschutzverordnung 1995 sich die Wahrscheinlichkeit von Schimmelpilzbildung nicht geändert hat. Allerdings sind nicht nur die Streitfällen zugrunde liegenden und häufig diskutierten Rahmenbedingungen aus einem zu geringen Wärmeschutz Ursache von Schimmelpilzbewuchs. Bei der breit aufgestellten Untersuchung wurden alle Formen von Schimmelpilzbildungen berücksichtigt, also vom kleinsten Schimmelfleck auf der Dichtstoffuge in der Dusche eines Badezimmers bis zu größeren, von Schimmelpilzen bewachsenen Flächen. Die Schadensquote aller Schimmelpilzbildungen wurde unabhängig vom Baujahr mit ca. 9 % aller Wohnungen festgestellt. Etwa ein Drittel davon beruht auf zu geringem Wärmeschutz mit einem Anteil von insgesamt ca. 3 %. Durch die weitere Steigerung der Anforderungen an den Wärmeschutz geht dieser Anteil zurück.

Neben den baulichen Bedingungen verbleibt der Aspekt der Raumluftqualität. Dabei stellt sich mittlerweile die Frage, ob raumlufttechnische Anlagen installiert werden müssen, die nutzerunabhängig einen ausreichenden Luftwechsel sicherstellen, oder ob Nutzer, die nur bei Anwesenheit wesentliche Mengen von Feuchtigkeit produzieren, auch für deren Ableitung zu sorgen haben.

In diesem Beitrag wird beleuchtet, dass trotz der für die baulichen Raumhygiene günstiger werdenden Rahmenbedingungen mit verbessertem Wärmeschutz und mittlerweile schon fast üblichen Anlagen zur nutzerunabhängigen Lüftung bzw. Unterstützung derselben dennoch Schimmelpilzbildungen nicht immer zu vermeiden sind und dass mittlerweile die Bedeutung weiterer Faktoren zunimmt. Dazu zählt auch der weitere Aspekt der Raumhygiene, nämlich die Reinigung von Oberflächen innerhalb von Wohnungen.

---

<sup>1</sup> Oswald, R., Liebert, G., Spilker, R. Schimmelpilzbefall bei hochwärmedämmten Neu- und Altbauten. Bauforschung für die Praxis, Band 84, IRB-Verlag, Stuttgart, 2008.

### 1.3 Verantwortlichkeiten

Kommt es zu Schimmelpilzbefall, stellt sich die Frage, worin die Ursache besteht. Gerichtliche Streitfälle beruhen regelmäßig auf Anspruchsverhältnissen, also auf berechtigten oder vermeintlichen Ansprüchen von Mietern gegenüber Eigentümer, Versicherungsnehmer gegenüber Versicherer oder Käufer gegenüber Verkäufer. Den Anspruchsverhältnissen liegen jeweils vertragliche Inhalte zugrunde, die jeweils danach zu prüfen sind, ob sich Ursache(n) aus dem vertraglichen Gegenstand ergeben oder ob andere Sachverhalte zur Schimmelpilzbildung geführt haben.

Ein Mieter wird sich nur gegenüber einem Eigentümer durchsetzen können, wenn der vertragliche Gegenstand, meistens die angemietete Wohnung, eine Beschaffenheit aufweist, die auch bei üblicher Nutzung zwangsläufig zu Schimmelpilzwachstum führen muss. Etwa vergleichbar liegen die Anspruchsverhältnisse von Käufern gegenüber Verkäufern. Allerdings bestehen Unterschiede, wenn z.B. Neubauwohnungen von einem Bauträger erstellt oder Gebrauchtimmobilien von einem Vorbesitzer gekauft werden, weil diese (mit Ausnahmen) nicht für Fehler am Gebäude haften. Versicherungsnehmer begründen ihre Ansprüche auf versicherte Ereignisse, etwa versicherte Folgen von Undichtheiten von wasserführenden Leitungen unter der Voraussetzung, dass die übliche Vorsorge zur Vermeidung solcher Schäden getroffen wurde.

Beruhend Schimmelpilze auf z.B. zu hoher relativer Raumluftfeuchtigkeit, lassen sich Fehler bei der Nutzung einer Immobilie gegenüber Verkäufern oder Vermietern üblicherweise nur dann durchsetzen, wenn gegen Schimmelpilzbildung gedachte Lüftungseinrichtungen erforderlich sind, diese von den Nutzern richtig bedient wurden, aber fehlerbehaftet sind. Sind Ursachen von Schimmelpilzbildungen auf die Möblierung der Räume zurückzuführen, stellt sich die Frage, ob die Anordnung der Möblierung bereits vertraglich z.B. durch fehlende Alternativen oder durch eine planerische Annahme so vorgesehen war oder ob ein reiner Nutzungsfehler vorliegt.

Die Analyse zur Ursache von Schimmelpilzbildung ist meistens sehr komplex, da selten nur eine einzige Ursache, sondern sich überlagernde Bedingungen vorliegen. Das wiederum führt dazu, dass derjenige, der sich mit den Ursachen beschäftigt, den dazu erforderlichen Aufwand in Relation zum tatsächlichen Problem sehen muss, damit die Verhältnismäßigkeit zwischen Ursachenfeststellung und Problemlösung gewahrt bleibt – es sei denn, dass die Betroffenen – möglicherweise auch unvernünftigerweise – etwas anderes wollen.

### 1.4 Ursachen von Feuchtebelastungen in Gebäuden

Die Ansiedlung und das Wachstum von Mikroorganismen hängen stark von der Feuchtigkeit ab. Diese kann in Gebäuden auf Bau(rest)feuchte, Tauwasser oder auf Durchfeuchtungsschäden beruhen:

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

- Materialfeuchte der Baustoffe (z.B. Neubaufeuchte, Abb. 1)
  - Raumfeuchte resultierend aus zu geringer Beheizung und Luftbewegung im Raum (z.B. erhöhte Nutzungsfeuchte, unzureichende Lüftung, zu dicht vor Außenwänden gestelltes Mobiliar ohne Hinterströmung, Abb. 2)
  - Tauwasser an kühlen Oberflächen (z.B. an Wärmebrücken, Abb. 3)
  - unzureichende Absorption von Feuchte an Oberflächen (z.B. nicht saugende Oberflächen, geringer Porenraum, Abb. 3)
  - Wasserschäden aufgrund fehlerhafter Abdichtung, Leitungswasserschäden oder Überschwemmungen (Abb. 4)
- sowie
- dem umgebenden Makroklima am Objekt (z.B. Nebelbildung, Vegetation)



Abb. 1: Neubaufeuchte



Abb. 2: Nutzungsfeuchte



Abb. 3: Geringe Absorption von Feuchtigkeit an Bauteiloberfläche an Wärmebrücke



Abb. 4: Leitungswasserschaden

Quellen für alle Fotos: Dr. Thomas Warscheid

# 1 Baukonstruktion und Mikrobiologie als Ursache für Schimmelpilzbildung

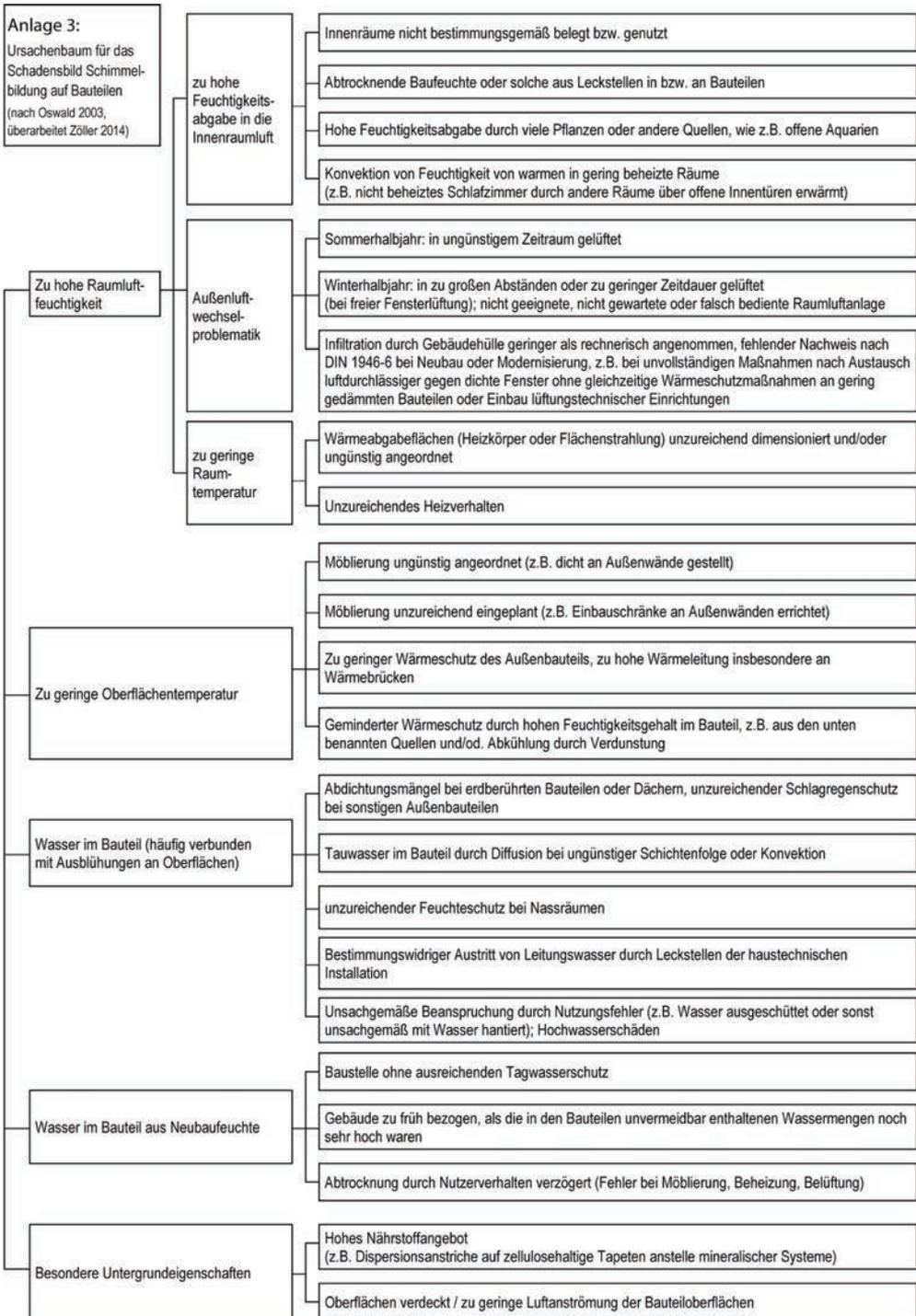


Abb. 5: Ursachenbaum für Schimmelpilzbildung auf Bauteilen

Quelle: UBA-Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelfall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“), Umweltbundesamt Berlin 2017.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

---

Der Ursachenbaum des UBA-Schimmelleitfadens setzt als Ursache von Schimmelpilzbildungen primär das Angebot von Feuchtigkeit voraus. Dabei wird nach den möglichen Ursachensphären differenziert, ob sich Feuchtigkeit aus der Innenraumluft an den Innenseiten von Außenbauteilen bildet, ob Feuchtigkeitsquellen innerhalb der Bauteile durch z.B. undichte wasserführende Leitungen vorliegen oder witterungsbedingte Feuchteereignisse gegeben sind.

Um Schimmelpilzwachstum im Innenraum zu vermeiden, vertraute man bislang auf das „80 % r.F. Kriterium“ als einen „praktikablen Grenzwert“ (z.B. in DIN 4108-2<sup>2</sup>). Das aber scheint im modernen Wohnungsbau nicht mehr auszureichen, da der heute übliche energetische Wärmeschutz zu hohen inneren Oberflächentemperaturen führt, bei denen dieses Kriterium keine Rolle mehr spielt. Schimmelpilze dürften dort auch bei sonst für sie günstigen Rahmenbedingungen eigentlich nie wachsen. Daher drängt sich die Frage nach tatsächlichen Ursachen auf.

Gegenüber den vorhergehenden Fassungen wurden deshalb im Ursachenbaum die Ebenen gestrafft, dafür aber andere, denkbare Gründe zum Schimmelpilzwachstum aufgenommen. Dazu zählen gute Nährstoffangebote bei Oberflächenbaustoffen mit hohen organischen Bestandteilen oder die Exposition der Flächen hinsichtlich einer Luftanströmung, da Schimmelpilze bevorzugt in Bereichen wachsen, bei denen keine Zugluft herrscht. Dabei gilt auch hier, dass nicht immer nur eine einzige Ursache vorliegt, sondern sich mehrere überlagern.

### 1.5 Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen

Das Wachstum von Mikroorganismen auf Werkstoffoberflächen wird durch das Angebot an Feuchtigkeit, die Materialeigenschaften der jeweiligen Werkstoffe, die betreffende Feuchtigkeit zu binden bzw. abzugeben, die Verfügbarkeit von materialimmanenten als auch aus der Umwelt zugetragenen Nährstoffen sowie dem zusätzlichen Einfluss potenzieller Infektionsherde von außen bestimmt.

Insbesondere bei einer ausreichenden Feuchteversorgung haben Mikroorganismen im Laufe der Erdgeschichte besondere Fähigkeiten entwickelt.

In marinen Systemen, bei denen das Wasser aufgrund des hohen Salzgehaltes biologisch nicht ohne Weiteres für Mikroben verfügbar ist, haben die dort lebenden Mikroorganismen mit der Bildung von sog. kompatiblen Soluten und deren Eigenschaft als hochkonzentrierte, jedoch stoffwechselfysiologisch indifferente Osmolyte die Möglichkeit erreicht, auch gegen die hohe Salzkonzentration lebenswichtiges Wasser aufnehmen zu können. Ähnliche stoffwechselfysiologische Mechanismen helfen Mikroorganismen in der Wüste die nur kurzzeitig verfügbare Taufeuchtigkeit am Morgen und am Abend rasch und effizient zu binden<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> DIN 4108-2: 2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

<sup>3</sup> Krumbein, W. E. (2008). Biogenerated Rock Structures. Space Sci. Rev. 135, 81-94.

In stark feuchten bis nassen Habitaten wachsen meistens keine Schimmelpilze. Eine besondere Ausnahme bildet die Gattung *Fusarium* spp., die z.B. in Schwimmbädern auf verunreinigten oder schlecht vernetzten Polymerverfugungen auch unter Wasser wachsen und dort zu unansehnlichen, schwer zu entfernenden Verschwärzungen sowie hygienisch relevanten Belastungen führen kann. Feuchte Tropfsteinhöhlen sind sehr oft hygienisch unbedenklich und werden sogar für die Therapie bei Lungenerkrankungen genutzt. Sinkt aber in diesen Höhlen aufgrund natürlicher oder anthropogener Einflüsse die relative Luftfeuchtigkeit auf nahe 95 % r.F., können insbesondere bei geringer Luftbewegung Schimmelpilze wachsen. In Höhlen mit frühgeschichtlichen Höhlenmalereien können so entstandene Schimmelpilze erhebliche Schäden anrichten, obwohl die Höhlen seit der Entstehung der Malereien vor etwa 18.000 Jahren kaum Veränderungen unterlagen<sup>4</sup>.

### 1.5.1 Feuchteanpassung von Schimmelpilzen

Die meisten Schimmelpilze sind Mehrzeller, sie wachsen in fädigen Hyphenstrukturen und bilden im fortgeschrittenen Stadium verschiedenartige Sporenträger aus, von denen die überdauerungsfähigen Sporen zur Verbreitung in die Umwelt freigesetzt werden.

Zur Energiegewinnung nutzen Schimmelpilze die Oxidation organischer Verbindungen über die sauerstoffgebundene Atmung oder die weniger energiebringende Fermentation bzw. Gärung bei Luftabschluss. Beim Stoffwechsel bilden Schimmelpilze verfärbende Pigmente, schädigen Werkstoffe durch Biokorrosion (Abb. 6) und Biooxidation und können potenziell hygienisch relevante, allergene Sporen sowie Stoffwechselprodukte freisetzen.

---

4 Oriol, G., Bousta, F., Francois, A., Pallot-Frossard, I., Warscheid, Th. (2013). Managing Biological Activities in Lascaux: Identification of Microorganisms, Monitoring and Treatments. In: Proceedings of the International Symposium „Lascaux and Preservation Issues in Subterranean Environments“ (Ed.: Noel Coye), Documents d'archaologie française – dAf 105 (Chapter 9), 220-251.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden



Abb. 6: Mikrobielle Zersetzung von feuchteschädigten Baustoffen in einer Fußbodenrandfuge

Quelle: Dr. Thomas Warscheid

Schimmelpilze können ein weites Nährstoffspektrum selbst bei geringen Konzentrationsangeboten unter sehr variablen Feuchtigkeitsangeboten an Bauteiloberflächen nutzen. Dabei passen sie sich der Materialfeuchtigkeit an, die sich durch Sorption (der Anlagerung von Wassermolekülen in Poren von Baustoffen, die überwiegend von der relativen Umgebungsfeuchte abhängt) bei relativen Luftfeuchten zwischen 65 % und 95 % einstellt.

Können diese Wachstumseigenschaften der Schimmelpilze auf Innenräume, insbesondere im Hinblick auf die erwähnten Feuchteansprüche, übertragen werden oder liegen hier besondere Anpassungsmöglichkeiten vor?

Die Angaben über die Bandbreite der Temperatur- und Feuchteansprüche verschiedener Schimmelpilzarten entstammen vor allem aus der Lebensmittelbranche. Sie wurden auf verschiedenen Nährmedien mit unterschiedlichen osmotischen Eigenschaften bestimmt. Die jeweilige Abhängigkeit des Schimmelpilzwachstums von Temperatur, pH-Wert und Feuchtegehalt wurde dabei jeweils separat und nicht in einem Gesamtzusammenhang bewertet, der in der komplexen Gebäudesituation zu berücksichtigen wäre<sup>5</sup>.

Welche Bedeutung die Zusammenhänge für das Wachstum von Schimmelpilzen in Innenräumen haben können, zeigt eine aktuellere Untersuchung des CBS Utrecht<sup>6</sup>. In dieser Stu-

5 Magan N., Lacey J. (1984). Effect of water activity, temperature and substrate on interactions between field and storage fungi. In: *Trans. Br. Mycol. Soc.* 82, 83-93.

6 Bekker, M., Huinink, H.P., Adan, O.C.G., Samson, R.A., Wyatt, T., Dijksterhuis, J. (2012). Production of an Extracellular Matrix as an Isotropic Growth Phase of *Penicillium rubens* on Gypsum. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol 78 No. 19, 6930-6937.

## 1 Baukonstruktion und Mikrobiologie als Ursache für Schimmelpilzbildung

die wurde festgestellt, dass das Keimverhalten von trockenen Sporen bzw. feuchten Sporensuspensionen sehr unterschiedlich ausgeprägt ist und einen bedeutenden Einfluss auf die späteren Feuchteansprüche von Schimmelpilzen in Innenräumen nehmen kann. Nur luftgetragene Sporen mit geringem Wasseranteil und hohen Anteilen energiereicher Speicherstoffe, die i.d.R. in Innenräumen vorkommen, können eine hygroskopische und viskose „extrazelluläre Matrix“ (ESM, ein Biofilm) als Schutz vor Austrocknung und Keimfähigkeitsverlust (bis < 40 % r.F.) aufbauen. Der Aufwuchs von Schimmelpilzen mit reiner Sporensuspension zeigte dagegen keine Ausbildung einer derartig feuchtekonservierenden ESM. Die Ausbildung von derartigen Biofilmen als schützende Mikronischen kannte man bislang fast ausschließlich von feuchteempfindlichen Bakterien<sup>7</sup>. Auf Grundlage der oben genannten Studie ist davon auszugehen, dass auch Schimmelpilze in der Lage sind, insbesondere unter realen Bedingungen in Innenräumen, schützende Biofilme auszubilden, die auch das Austrocknungs- und Benetzungsverhalten der betreffenden Baustoffe verändern (Abb. 7).



Abb. 7: Geändertes Benetzungsverhalten eines Baustoffes ohne (links) und mit Biofilm (rechts)

Quelle: Dr. Thomas Warscheid

Schimmelpilze sind, wenn sie in der kolloidalen Schleimmatrix eines Biofilms eingebunden sind, sowohl vor Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen als auch vor osmotischen sowie pH-relevanten Einflüssen geschützt. Die Ionen-Austauschkapazität der Biofilme erhöht zudem die Resistenz gegenüber Biozid- bzw. Desinfektionsbehandlungen, was die Behandlung von ausgewachsenen mikrobiellen Befallsherden deutlich erschwert.

Die Ergebnisse der vorgenannten Studie aus den Niederlanden relativieren auch die Aussagekraft der in der Baustoffindustrie verwandten Standardverfahren für die Prüfung der mikrobiellen Anfälligkeit von Baustoffen und Beschichtungen. Auch medizinische Desinfektionsprüfungen, die mit den jeweils dort eingesetzten Sporensuspensionen keine praxisnahe Expositionssituation nachbilden, tragen der vermeintlichen Resistenz und Überlebensfähigkeit von Schimmelpilzen in einem Biofilm nicht hinreichend Rechnung.

Die Untersuchungen belegen aber die Notwendigkeit von Sofortmaßnahmen bei einem Schimmelpilzbefall. Entdeckt ein Nutzer einen kleineren Befall und tut nichts, trägt er nicht nur unwesentlich dazu bei, dass ernsthafte Probleme durch Ausweitung des Befalls entste-

<sup>7</sup> Flemming, H.-C. (1994). Biofilme, Biofouling und mikrobielle Schädigung von Werkstoffen, Oldenbourg Verlag.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

---

hen können. Ein kleiner Befall kann in Grenzfällen durch die zuvor beschriebenen Mechanismen auch ohne weitere bauliche Ursache die Grundlagen der Ausbreitung selbst schaffen.

### 1.5.2 Eingeschränkte Prognose bei physikalischen Rechenmodellen

Isoplethenmodelle, die auf Basis empirischer und labortechnischer Datengrundlagen die Wachstumsgeschwindigkeit verschiedener Schimmelpilzarten in Abhängigkeit von Feuchtigkeit und Temperatur angeben, sind eher theoretischer Natur, da sie nutzungsbedingte und natürliche Expositionsfaktoren (u.a. Schmutzanreicherungen, mikrobielle Filme) weitgehend unberücksichtigt lassen<sup>8</sup>.

Auch der Zeitraum der Feuchtebeaufschlagung kann entscheidend für die Keimung und das Wachstum von Schimmelpilzen sein. Xerophilen (= trockenheitsliebenden) Pilzspezies reicht bereits ein sich regelmäßig wiederholendes Feuchteangebot über mindestens zwölf Stunden pro Tag (i.e. TOW = time of wetness > 0,5), um einen Schimmelpilzbewuchs bei Wasseraktivitäten von  $a_w$  0,6 innerhalb von drei Wochen auszubilden.

Das Feuchtigkeitsangebot hat auch einen bestimmenden Einfluss auf die vermeintlich gesundheitsrelevanten Auswirkungen eines Schimmelpilzbewuchses. Während bei Feuchtigkeitsgehalten von unter 90 % r.F. selbst potente, feuchteschadenstypische Schimmelpilzspezies des Innenraums (u.a. *Stachybotrys chartarum*, *Chaetomium globosum* und *Aspergillus versicolor*) keine Mykotoxine bilden, steigt mit zunehmender Trocknung eines Feuchteschadens das Risiko einer potenziell allergenen Sporenfreisetzung. Vor Trocknungsmaßnahmen sollte daher stets der mikrobielle Befall entfernt werden.

Wegen der offensichtlich flexiblen Anpassungsfähigkeit von Schimmelpilzen in Innenräumen ist die Aussagefähigkeit statischer (z.B. Glaser) oder dynamischer Rechenmodelle (z.B. Wufi oder Delphin) zur Prognosewahrscheinlichkeit eines Schimmelpilzbewuchses als kritisch einzuschätzen. Diese Rechenprogramme beschränken sich auf die physikalische Gegebenheit, die relative Luftfeuchtigkeit an einer bestimmten Bauteiloberfläche, lassen aber sonstige Rahmenbedingungen außer Acht – dazu sind sie auch nicht entwickelt worden. Aufgrund der variablen Anpassungsfähigkeit von Schimmelpilzen bleibt es schwierig, alleine auf Grundlage theoretischer Ableitungen eine Auskeimung bzw. ein Wachstum von Schimmelpilzen auf Bauteiloberflächen im Innenraum vorauszusagen bzw. zu kontrollieren. Das bisherige „80 %-Kriterium“ kann nur zur groben Orientierung, nicht als fester Grenzwert verstanden werden.

### 1.5.3 Baupraktische Aspekte des Schimmelpilzwachstums

Zur Schimmelpilzbildung in Innenräumen tragen bei (siehe auch Abb. 5):

- das Wohnverhalten (z.B. zeitbegrenzte Wohnraumnutzung, höhere Raumtemperaturen bei unzureichendem Luftaustausch im Winterhalbjahr),

---

<sup>8</sup> Sedlbauer, K. (2001). Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart.

## 1 Baukonstruktion und Mikrobiologie als Ursache für Schimmelpilzbildung

---

- unzureichende Instandhaltung eines Wohnraums (z.B. unzureichende Reinigung, unangepasstes Heiz-Lüftungs-Verhalten, Übermöblierung, Innenseiten von Außenbauteilen so abgedeckt, dass keine Raumluft über die Oberflächen streichen kann),
- unzureichende Raumluftwechsel durch ggf. ungeeignete Lüftungseinrichtungen,
- Zeitdruck bei der Durchführung von Baumaßnahmen (z.B. unzureichende Bautrocknung, hoher Wasseranteil und zunehmend organische Zusätze in immer rascher zu verarbeitenden Baustoffen) sowie
- Verwendung wenig feuchteabsorbierender Baustoffe und Beschichtungen mit für Schimmelpilze günstigen Substraten (Kunststoff(schaum)- und Glasfasertapeten, versiegelte Böden und Dekordecken).

### 1.5.3.1 Sauberkeit und Lüftung

Oberflächige Schmutzanreicherungen begünstigen nicht nur die weitverbreitete Hausstauballergie, sondern auch das Schimmelpilzwachstum. Schmutz erhöht die hygroskopische Wasseraufnahme (Sorptions) und damit die Verfügbarkeit von Feuchtigkeit sowie die Faser- und Partikelanhaftungen. Schimmelpilzen stehen darüber zusätzliche Nährstoffe aus Verunreinigungen zur Verfügung.

In gering feuchtebelasteten Wohn- und Arbeitsräumen kann durch eine ausreichende Luftbewegung einem erneuten (nicht akuten) Befall von Schimmelpilzen wirkungsvoll begegnet werden. Schimmelpilze meiden nachweislich selbst für sie sonst günstig feuchte Baustoffoberflächen, wenn Luft über die Bauteiloberflächen streicht.

Wohnungsnutzer sollten Hinweise zur ausreichenden Lüftung, einer gleichmäßigen Erwärmung der einzelnen Räume und der Bauteile sowie zu Instandhaltungsmaßnahmen, insbesondere zur Reinigung von Bauteiloberflächen, beachten. Solche „Gebrauchsanleitungen“ von Wohnräumen sind sowohl beim Umweltbundesamt als auch bei Miet- oder Vermieterorganisationen erhältlich.

### 1.5.3.2 Baustellenhygiene, Baufeuchte, Baustoffstruktur und Zeitdruck

Bei der Erstellung und Durchführung von Baumaßnahmen wird oft zu wenig Wert auf eine angemessene Baustellenhygiene gelegt. Rasche und gezielte Bautrocknung, der Schutz von mikrobiell empfindlichen Baustoffen (z.B. Holzwerkstoffe, Gips- oder Papierprodukte) vor vermeidbaren Feuchtebelastungen und Verschmutzungen beim Transport und auf der Baustelle sind wichtige Voraussetzungen zum Schutz gegen mikrobiell bedingte Schäden.

Unter Zeitdruck begangene handwerkliche Fehler bei den immer umfassender werdenden haustechnischen Installationen sind zunehmend Ursache kostenträchtiger Wasserschäden. Diese können bei den inzwischen häufig eingesetzten organisch basierten und damit mikrobiell sensiblen Baustoffen zu drastischen Schimmelpilzschäden führen.

Neben einer ausreichenden Feuchteversorgung spielt die Struktur eines Baustoffs eine wichtige Rolle.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

Moderne, polymervergütete Baustoffe und Beschichtungen nehmen üblicherweise weniger Feuchtigkeit auf als mineralische Systeme und tragen damit weniger zum Feuchteausgleich in Innenräumen bei.

Wasserabweisende Beschichtungen (z.B. organisch basierte und damit nährstoffreiche Silikonharzfarben) vermeiden zwar den Eintrag von Feuchtigkeit, jedoch binden sie an den Oberflächen schneller Schmutz. Durch Schmutz, erhöhte Oberflächenfeuchtigkeit und das stofflich bedingte Nährstoffangebot können sie einen mikrobiellen Befall begünstigen, solange sie nicht mit anhaltend wirksamen keimhemmenden Zusätzen (Biozide) ausgestattet sind – diese aber können sich in Einzelfällen negativ auswirken und so dem Gesamtziel einer gesunden Wohnumgebung entgegenstehen, wenn sich diese Stoffe in der Innenraumluft wiederfinden.

Bei durchweg mineralischen Systemen ist das Porensystem weitgehend offen. Die Porenoberfläche ist im Vergleich zu kunststoffbasierten Systemen wesentlich größer. Dabei sind Kalkputze zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall günstiger als Gipsputze (Abb. 8 und 9).

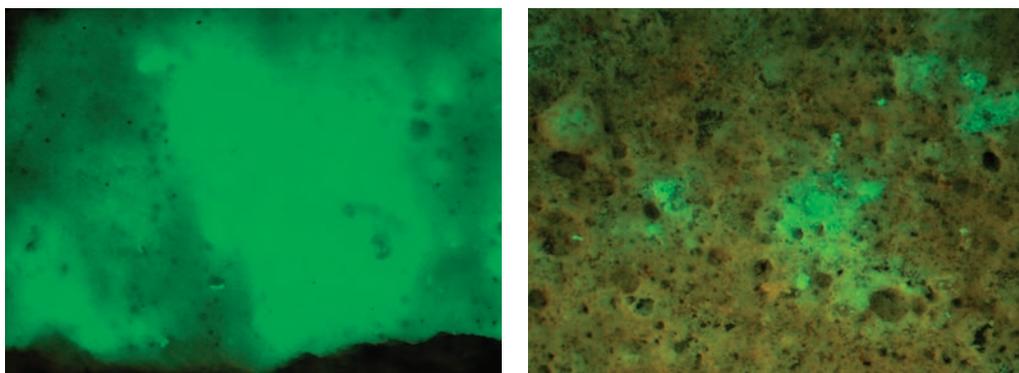


Abb. 8 und 9: Fluoreszenzmikroskopische Analyse (FDA) eines mikrobiell empfindlicheren Gipsputzes (i.e. deutliche mikrobielle Befallsherde, Abb. 8) und eines mikrobiell resistenteren Kalkputzes (i.e. sehr vereinzelte mikrobielle Befallsherde, Abb. 9) nach 6-monatiger Feuchteinkubation in einer Vermikulitkammer<sup>9</sup>

Quelle: Dr. Thomas Warscheid

Bei zeitweise sich bildender Oberflächenfeuchte an z.B. Wärmebrücken kann zunächst Feuchtigkeit in größeren Mengen im Porenraum von Kalkputzen gespeichert werden. Diese kann bei temporär geänderten Rahmenbedingungen, bei z.B. höheren Temperaturen oder mehr Luftbewegung, bei diffusionsoffenen Kalkputzen schneller abtrocknen als bei kunststoffbasierten Beschichtungen. Mineralische Systeme funktionieren so als Feuchtepuffer.

<sup>9</sup> Warscheid, Thomas Wandbaustoffe aus Kalk. Ein natürlicher Schutz gegen Schimmelpilzbildung in Innenräumen. BauSchäden. Jg.3, Nr.1 (2007), Abb., S.11-16.

## 2 Chemische Eigenschaften von Baustoffen und ihr Einfluss auf die Schimmelpilzbildung

*Dipl.-Chem. Wolfhard Böttcher*

### Inhalt

- 2.1 Einleitung
- 2.2 Sorptionsverhalten
- 2.3 Beschaffenheit der Oberfläche
- 2.4 Nährstoffgehalt
- 2.5 Dichtstoffe
- 2.6 Chemische Zusammensetzung des Untergrundes (pH-Wert)
- 2.7 Besonders gut zu besiedelnde Materialien
- 2.8 Fazit

### 2.1 Einleitung

Schimmelpilze brauchen für ihr Wachstum einen geeigneten Untergrund. Grundsätzlich kann jeder im Gebäude vorhandene Baustoff unter bestimmten Randbedingungen von Schimmelpilzen besiedelt werden, wenn eine ausreichend hohe Feuchtigkeit vorhanden ist.

Ein Schimmelpilz wird sich aber unter gleichen Bedingungen umso mehr ausbreiten, je besser der Baustoff, auf dem er wächst, dafür geeignet ist. Nachfolgend werden die verschiedenen Parameter behandelt, die Einfluss auf Schimmelpilzwachstum auf unterschiedlichen Materialien haben können.

### 2.2 Sorptionsverhalten

Grundsätzlich ist der wesentliche Einflussfaktor des Baustoffes sein Feuchtegehalt. Dass aber nicht allein der absolute Feuchtegehalt ausschlaggebend ist, zeigen beispielhaft Sorptionsisothermen von verschiedenen Putzen.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

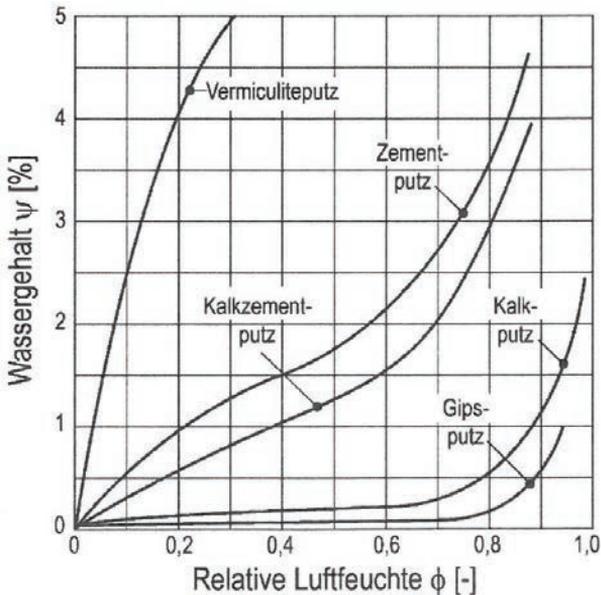


Abb. 1: Speicherisothermen von Putzen.

Quelle: Wolfgang M. Willems, *Lehrbuch der Bauphysik*, 8. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden 2017, S. 180. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages.

Eine Sorptionsisotherme gibt an, wie viel Feuchtigkeit verschiedene Materialien bei konstanter Temperatur und bestimmten Luftfeuchten aufnehmen. Je geringer der Wert ist, umso weniger Feuchtigkeit nimmt der Baustoff auf (und umso weniger wird sich der jeweilige Baustoff unter ansonsten gleichen Bedingungen als Untergrund für Schimmelpilze eignen). Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass Zementputz viel und Gipsputz wenig Feuchtigkeit aufnimmt, während Kalkzementputz und Kalkputz zwischen diesen beiden Baustoffen liegen. Offensichtlich ist also die Tatsache, dass aller Erfahrung nach Gipsputz leichter mikrobiell besiedelt wird als Kalkputz, weniger auf das unterschiedliche Sorptionsverhalten (gleich Aufnahmevermögen für Feuchtigkeit) beider Bindemittel zurückzuführen als auf die (im Diagramm nicht erwähnte) Desorption, wenn Gips die eingelagerte Feuchtigkeit langsamer abgibt als andere Baustoffe. Eine weitere Rolle können auch die unterschiedlichen pH-Werte des Porenwassers spielen.

### 2.3 Beschaffenheit der Oberfläche

Für das Wachstum von Schimmelpilzen spielt es keine entscheidende Rolle, ob die Oberfläche rau oder glatt ist. Indirekt ist die Gestaltung der Oberfläche aber schon von Bedeutung: Von verhältnismäßig glatten Flächen, wie Glas oder Metall, lässt sich ein Schimmelpilzbewuchs deutlich leichter entfernen als von rauen Oberflächen.

## 2 Chemische Eigenschaften von Baustoffen und ihr Einfluss auf die Schimmelpilzbildung

*Warscheid*<sup>1</sup> ordnet gut sorptionsfähigen Baustoffen eine geringe Neigung zum Schimmelpilzwachstum zu, da sie die Feuchte, die sich sonst auf der Oberfläche ablagern kann, in tieferen Zonen des Baustoffes sorbieren, sodass sie an der Oberfläche nicht zur Schimmelpilzbildung zur Verfügung steht. Dies kann im Einzelfall ein Kriterium sein (besonders dann, wenn ähnlich strukturierte Baustoffe hoher und niedriger Sorptionsfähigkeit verglichen werden). Auf einem Baustoff ohne Porengefüge ist zwar die Feuchteablagerung optimal für das Wachstum des Schimmelpilzes, andererseits aber auch das Entfernen des Schimmelpilzes leicht möglich. Beispielhaft seien Fliesen in Duschen genannt, die zwar Wasser meistens schlechter aufnehmen als die benachbarte Mörtelfuge, aber anders als Letztere eine glattere Oberfläche aufweisen und im Regelfall schlechter bewachsen werden.

*Block*<sup>2</sup> untersucht die Besiedlung von Glaswolle als Produkt, das kein Porensystem aufweist, näher. Bewuchs konnte erst oberhalb von 92 % relativer Feuchte festgestellt werden.

Baustoffe, bei denen das Porengefüge insoweit wachstumsfördernd wirkt, sind:

- bestimmte Natursteine (z.B. Sandstein),
- Kalksandstein,
- Ziegel,
- Beton (einschließlich Porenbeton),
- Mörtel,
- Tapeten,
- Gipskarton.

Keine Poren, die das Wachstum fördern können, besitzen folgende Stoffe:

- bestimmte dichte Natursteine (z.B. Granit oder Marmor),
- Glas,
- Kunststoff,
- Metall,
- dauerelastische Fugenmasse (siehe dazu aber auch die Ausführungen am Ende des Abschnittes 2.5).

Zur Kennzeichnung des Sorptionsverhaltens im Hinblick auf das Schimmelpilzwachstum schlagen *Reick/Setzer*<sup>3</sup> eine Feuchtepufferfunktion vor, wobei Porenbeton die meiste und

1 Warscheid, Thomas, Schimmelbewuchs – gilt noch das 80% r.F. Kriterium? In: Aachener Bausachverständigentage 2016, Praktische Bewährung neuer Bauweisen – ein (un-)lösbarer Widerspruch? Hrsg. von Martin Oswald und Matthias Zöller, AlBau – Aachener Institut für Bauschadensforschung und Angewandte Bauphysik gGmbH; Springer Fachmedien Wiesbaden.

2 Block, Seymour S., Humidity requirements for mold growth, in: Applied microbiology. Hrsg.: American Society for Microbiology, Washington DC, 1 (1953), Heft 6, S. 287 ff.

3 Reick, Martin; Setzer, Max, Erstellung eines materialspezifischen Kataloges für wohnraumumschließende Materialien, Bauphysik der Außenwände – Schlussbericht, Internationaler Bauphysikkongress, Berlin, 1997, Fraunhofer IRB-Verlag Stuttgart, S. 363 ff.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

---

Raufaser die wenigste Feuchtigkeit einlagern kann. Kalkzementputz und Kalksandstein weisen mittlere Werte auf. Ein funktionaler Zusammenhang zwischen Feuchteinlagerung und Diffusionswiderstand des Bauteils war hingegen nicht festzustellen.

Ein Beispiel für eine deutlich unterschiedliche Besiedlung benachbarter Materialien zeigt Abb. 2. Während auf der linken Fläche, die aus Beton besteht und die mit einem Anstrich versehen ist, keinerlei Schimmelpilzwachstum erkennbar ist, zeigt die rechte, aus Kalksandsteinmauerwerk bestehende Fläche deutlichen Schimmelpilzbewuchs. Sowohl Beton als auch Mörtel und Stein weisen grundsätzlich ein Porensystem auf, sind also nicht absolut dicht. Insbesondere in Kombination mit der Beschichtung dringt in Beton kaum Wasser ein, während die (rauere) Mauerwerksfläche bessere Möglichkeiten für die Aufnahme und das Speichern von Wasser bietet. Zudem ist Wasser, das mit Beton in Berührung kommt, immer alkalischer als Wasser, das mit Kalksandstein in Berührung kommt (und je alkalischer das Wasser ist, umso schlechter wächst der Schimmelpilz). Außerdem wird bei Kalksandstein die Alkalität schneller abgebaut als bei Beton. Zu erwarten ist demnach, dass sich ein Mauerwerk umso mehr (zement-)mörtelähnlich verhält (und damit schlechter besiedelt wird), je breiter die Fugen und je kleiner die Steine werden.



Abb. 2: Beispiel für unterschiedliche Besiedlung Beton (links) und Kalksandstein (rechts) nach einem Hochwasserschaden.

Quelle: Irina Kraus-Johnsen

## 2.4 Nährstoffgehalt

Nachwachsende Rohstoffe, insbesondere wenn sie pflanzlicher Herkunft sind, sollten von ihrer Zusammensetzung her einen guten Nährboden für Schimmelpilze bilden, da zu erwarten ist, dass Schimmelpilze auf diesen Untergründen Bestandteile vorfinden, die sie verstoffwechseln können (anders als bspw. bei Dämmung aus Mineralwolle). Dieser Einfluss ist von *Sedlbauer*<sup>4</sup> näher untersucht worden. Der Verfasser kommt zu dem Ergebnis, dass bei nachwachsenden Rohstoffen im Hinblick auf eventuellen Schimmelpilzbefall kein wesentlicher Unterschied zu anderen Dämmstoffen, die keine Nährstoffe zur Verfügung stellen, zu erwarten ist.

Andererseits differenziert der Leitfaden des Umweltbundesamtes<sup>5</sup> hinsichtlich der Frage, ob ein durch Feuchte beaufschlagter Fußboden zurückgebaut werden muss, unter „Kriterium IV“ zwischen schwer, weniger gut und leicht zu besiedelnden Materialien. In der zuletzt genannten Kategorie werden beispielhaft Kokosdämmplatten oder Sisalplatten genannt, bei denen es sich um nachwachsende Rohstoffe handelt, die nach Durchfeuchtung häufig einen mikrobiellen Bewuchs zeigen.

## 2.5 Dichtstoffe

Einen Sonderfall stellen Dichtstofffugen dar, die häufig intensiver als Fugen aus mineralischen Baustoffen befallen werden. Der Schimmelpilz kann in den Dichtstoff, der im Ursprungszustand kein Porensystem aufweist, einwachsen, was dadurch begünstigt wird, dass beim Reinigen der Oberfläche deren Rauigkeit und damit die Verschmutzungsneigung weiter zunimmt.

Bei ausreichend abgeordneten Dichtstoffen ist es eher unwahrscheinlich, dass Schimmelpilze die organische Fugendichtmasse verstoffwechseln, da sowohl bewachsene als auch nicht bewachsene Oberflächen ähnliche Eigenschaften zeigen (eine mit Schimmelpilz bewachsene Oberfläche ist nicht automatisch sichtbar angegriffen). Soweit Fugenmasse zerfällt, geht dies nicht notwendig mit einem Schimmelpilzbefall einher. Für einen Zerfall sind andere Ursachen (Weichmacherwanderung, Zersetzung durch Einfluss von Licht und Sauerstoff) denkbar. Bedeutend für einen Bewuchs ist,

- dass die zunächst weiche Oberfläche den unter Baustellenbedingungen immer reichlich vorhandenen Staub, der Nährstoffe für Schimmelpilz enthält, gut bindet und einlagert;
- dass sich in der weichen Oberfläche spätestens durch regelmäßige Reinigung Vertiefungen bilden, in denen sich Feuchtigkeit halten kann und die Schimmelpilze vor einer mechanischen Entfernung geschützt sind;

4 Sedlbauer, Klaus, Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und Schimmelpilze – ein Junktim? abgerufen am 1.12.2017 unter [https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publikationen/Konferenzbeitraege/Deutsch/KB\\_8\\_tcm45-30](https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publikationen/Konferenzbeitraege/Deutsch/KB_8_tcm45-30).

5 Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelpilz in Gebäuden. Herausgeber und Redaktion: Umweltbundesamt – Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau, Stand: November 2017, Anlage 6, Tabelle 6.1.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

---

- dass Dichtmasse, anders als mineralischer Mörtel, keine Verbindungen enthält, die in ähnlicher Weise wie bei diesem Mörtel Alkalien freisetzen und damit die Schimmelpilzbildung hemmen;
- dass Dichtmasse häufig Verbindungen wie Essigsäure freisetzt, die zwar zunächst den Schimmelpilz durch den niedrigen pH-Wert bekämpfen, aber nach Neutralisation mit dem alkalischen Wasser aus dem Kontakt mit mineralischen Baustoffen einen Nährstoff zur Verfügung stellen.

### 2.6 Chemische Zusammensetzung des Untergrundes (pH-Wert)

Anorganische Bindemittel, wie Kalk, Gips und Zement, können Schimmelpilzen nicht als Nahrungsbestandteil dienen. Die Zusammensetzung des Bindemittels kann aber fördernd oder hinderlich für sein Wachstum sein. Ausgedrückt werden kann dies durch den pH-Wert, der eigentlich für Flüssigkeiten definiert ist, aber unter bestimmten Randbedingungen auch auf Feststoffe angewendet werden kann. Für die pH-Wert-Messung eines Feststoffes wird dieser Stoff mit Wasser in Kontakt gebracht und der pH-Wert der so hergestellten Lösung wird gemessen. Bindemittel mit etwa ähnlichen pH-Werten können insofern identisch behandelt werden.

Optimal für ein Schimmelpilzwachstum ist ein pH-Wert im leicht sauren Bereich (pH-Wert etwa zwischen 4,5 und 6,5). Einzelne Spezies können bei pH-Werten zwischen 2 und 8 wachsen.<sup>6</sup>

Alle im Hochbau üblichen Baustoffe erreichen an ihrer Oberfläche pH-Werte oberhalb von 2 bis 3, sodass nicht zu erwarten ist, dass ein zu hoher Säuregehalt auf der Bauteiloberfläche ein Schimmelpilzwachstum begrenzen würde. Zum alkalischen Ende hin sind wachstumshemmend Produkte, die unter Verwendung der Bindemittel Kalk bzw. Zement hergestellt worden sind: Insbesondere bei frischem Zement können in Lösungen pH-Werte von über 12,5 gemessen werden.<sup>7</sup>

Es gibt allerdings Effekte, die den Einfluss des pH-Wertes auf die Schimmelpilzbildung gewissermaßen neutralisieren:

- Durch den Einfluss von Kohlenstoffdioxid der Luft verändert sich bei einer frisch hergestellten Baustoffoberfläche der pH-Wert allmählich von alkalisch in Richtung Neutralpunkt („Carbonatisierung“). Die Carbonatisierung beginnt grundsätzlich an der Oberfläche (also dort, wo auch der Schimmelpilz sein Wachstum startet). Dadurch kann der pH-Wert so weit abgesenkt werden, dass Schimmelpilze damit gut leben können!

Eine wenige Millimeter dicke carbonatisierte Schicht, die einem Schimmelpilzbewuchs insofern keinen Widerstand mehr entgegengesetzt, kann je nach den gegebenen Expositionsverhältnissen schon nach wenigen Wochen erreicht sein.

---

6 Mücke, Wolfgang; Lemmen, Christa, Schimmelpilze: Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen, Eco-med-Verlag, Landsberg am Lech, 3. Auflage 2004; Erhorn, Hans, Schimmelpilzanfälligkeit von Baumaterialien, IBP-Mitteilungen 17 (1990), Nr. 196, Hrsg. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart.

7 Zement-Taschenbuch 2002 Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.), Düsseldorf – Düsseldorf: Verlag Bau+Technik, 2002.

## 2 Chemische Eigenschaften von Baustoffen und ihr Einfluss auf die Schimmelpilzbildung

- Für eine Erstbesiedlung reicht auch bei alkalischer Oberfläche grundsätzlich bereits eine dünne Staubschicht aus, die sich auf der Bauteiloberfläche abgelagert hat.<sup>8</sup> Dadurch, dass der Schimmelpilz beim Wachstum saure Verbindungen bildet, kann sich das Milieu in unmittelbarer Umgebung der Wachstumsstelle zudem verändern, sodass der pH-Wert zumindest weit genug abgesenkt wird, um ein Schimmelpilzwachstum zu ermöglichen.

*Bielecki/Hempe*<sup>9</sup> beschreiben pH-Wert-Messungen an Tapeten unterschiedlichen Alters und unterschiedlichen Verschmutzungsgrades, wobei die Messergebnisse mit Werten zwischen 6,3 und 7,3 praktisch im Neutralbereich liegen. Lediglich eine Tapete ohne Anstrich weist mit 4,6 einen sauren pH-Wert auf (wobei eine Tapete ohne Anstrich in der praktischen Anwendung vor allem bei teilweise fertiggestellten Bauwerken von Bedeutung ist). Nach Einsprühen mit einer Kaliumcarbonatlösung werden pH-Werte über 11 gemessen, die im praktischen Versuch für eine gewisse Zeit die Schimmelpilzbildung hemmen. Diese Feststellung bestätigt die Auswirkung des pH-Wertes. Hingewiesen wird außerdem darauf, dass wässrige Lösungen von Essigsäure aufgrund ihres niedrigen (= im sauren Bereich liegenden) pH-Wertes zwar den Schimmelpilz entfernen, aber durch bestimmte mineralische Baustoffe (hier sind vor allem kalk- und zementhaltige Produkte zu nennen) neutralisiert werden und dann nicht mehr bekämpfend wirken, sondern sogar das Schimmelpilzwachstum fördern können, indem das Salz einer organischen Säure entsteht, das dem Schimmelpilz zumindest theoretisch auch als Nahrungsquelle dienen kann.

Bestätigt wird der Einfluss des pH-Wertes auf die Schimmelpilzbildung auch durch die Untersuchungen von *Ritschkoff/Viitanen/Koskela*<sup>10</sup>. Dabei sind verschiedene Baustoffe geprüft worden. Herausgestellt hat sich dabei, dass Oberflächen von Zementestrich bzw. Beton am schlechtesten besiedelt werden (aber auch bei sehr hohen Feuchtigkeiten Schimmelpilzwachstum zeigen können). Höchste Besiedelungsraten werden bspw. bei Holzoberflächen erreicht. Gipsoberflächen verhalten sich unterschiedlich und werden im Vergleich zu anderen Oberflächen bei niedrigerer Feuchte schlechter und bei höherer Feuchte besser besiedelt.

Im Unterschied dazu kommen *Gertis/Erhorn/Reiß*<sup>11</sup> zu dem Ergebnis, dass nur eine geringe Abhängigkeit vom Material des verwendeten Putzes besteht, während Anstriche und Tapeten Schimmelpilzwachstum fördern. In die Vergleiche einbezogen wurden auch Flächen mit intensiven Ablagerungen von organischen Stoffen, etwa in der Art, wie sie auch in sog. schwarzen Wohnungen vorhanden sind (Stichwort „Fogging-Effekt“). Aus den Untersuchungen geht hervor, dass derartige Ablagerungen ausreichen, das Schimmelpilzwachstum so zu fördern, dass die übrigen Eigenschaften des Baustoffes bedeutungslos werden.

8 Erhorn, Hans, Schimmelpilzanfälligkeit von Baumaterialien, IBP-Mitteilungen 17 (1990), Nr. 196, Hrsg. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart.

9 Bielecki, Roland; Hempel Barbara, Schimmelpilze – Alternativen zur Bekämpfung und Vorbeugung, in: Bauhandwerk, Fachzeitschrift für die gewerkeübergreifende Bauausführung, Bauverlag, Gütersloh, Heft 4/2000, S. 61 ff.

10 Ritschkoff, Anne-Christine; Viitanen, Hannu; Koskela, Kyösti, The response of building materials to the mould exposure at different humidity and temperature conditions, in: „Proceedings of Healthy Buildings 2000“, Vol. 3 (Microbes, moisture and building physics). Säteri, Olli (Hrsg.), SIY Indoor Air Information, Helsinki, 2000, S. 317 ff.

11 Gertis, Karl; Erhorn, Hans; Reiß, Johann, Klimawirkung und Schimmelpilzbildung bei sanierten Gebäuden, Bauphysik der Außenwände – Schlussbericht, Internationaler Bauphysikkongress, Berlin, 1997, Fraunhofer IRB-Verlag Stuttgart, S. 569 ff.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

---

*Manzke/Laar/Berg*<sup>12</sup> berichten, dass bei gleichzeitiger Anwesenheit von Gipsputz und Baufeuchte mit Schimmelpilzbildung zu rechnen ist. Gips ist nahezu pH-neutral (wenngleich Gips-Wandbauplatten üblicherweise pH-Werte zwischen 6,5 und 10,5 aufweisen)<sup>13</sup>. Bei Kalksandsteinen ist durch einen (geringen) Kalküberschuss mit einem pH-Wert von maximal 11 zu rechnen, der allerdings aufgrund der im Vergleich zu Beton deutlich größeren Poren deutlich schneller unter Bindung von Kohlenstoffdioxid abgebaut werden kann.

*Sedlbauer*<sup>14</sup> hat für sein Vorhersagemodell des Schimmelpilzwachstums den pH-Wert nur indirekt berücksichtigt, da Schimmelpilze in der Lage sind, durch Ausschütten von Säuren den pH-Wert in ihrer unmittelbaren Umgebung zu reduzieren. Dennoch ist der pH-Wert, wie die praktische Erfahrung zeigt, keine hinsichtlich des Schimmelpilzwachstums zu vernachlässigende Größe.

Wie bereits erwähnt, ist bei den meisten Baustoffen zu erwarten, dass sich ein pH-Wert im alkalischen Bereich einstellt. Eine Ausnahme hiervon stellt Bitumen dar: Durch Reaktion der im Bitumen enthaltenen Verbindungen mit Luftsauerstoff und Wasser bilden sich organische Säuren, sodass der pH-Wert von Wasser, das von Bitumen abläuft, verhältnismäßig niedrig sein kann. *Rückert/Neubauer/Zietelmann*<sup>15</sup> beschreiben Versuche, bei denen bei bestimmten Bitumenarten Durchschnitts-pH-Werte von minimal 3,1 im Ablaufwasser gemessen wurden. Dieser Effekt kann ein Grund dafür sein, dass Bitumen durchaus auch von Schimmelpilzen besiedelt wird, zumal das an sich saure Ablaufwasser von der Bitumenbahn selbst (pH-Wert minimal 3,1) durch Reaktion mit alkalischem Ablaufwasser bspw. von benachbarten Betonflächen (pH-Wert maximal 14) so verändert werden kann, dass sich auf der Oberfläche einer Bitumenbahn unterschiedliche pH-Werte zwischen ca. 3 und 14 einstellen können. Ein weiterer Grund kann sein, dass bei der Herstellung von Polymerbitumenmassen auch tierische oder pflanzliche Öle oder Fette als Weichmacher eingesetzt werden. Bei derartigen organischen Komponenten ist ein erhöhtes Wachstum von Schimmelpilzen möglich.

Wie die Untersuchungen von *Rückert/Neubauer/Zietelmann* auch gezeigt haben, reagieren unterschiedliche bitumenhaltige Produkte unterschiedlich mit Wasser, wenn betrachtet wird, welcher pH-Wert sich im Wasser, das im Kontakt mit dem Produkt steht, einstellt. Es ist also durchaus zu erwarten, dass unterschiedliche Bitumenbahnen auch unterschiedliche Neigung zum Bewuchs mit Schimmelpilzen zeigen. Eine Beurteilung eines bestimmten Produktes ist aber nicht so ohne Weiteres möglich, da es keine vom Hersteller einer Dichtbahn zu deklarierenden Eigenschaften gibt, die direkten Rückschluss auf die Neigung der Dichtbahn zur Besiedlung mit Schimmelpilzen zulassen. Erschwert wird eine Einschätzung noch dadurch, dass sich die (nicht deklarierten) Produkteigenschaften jederzeit ändern können,

---

12 Manzke, Jens; Laar, Claudia von; Berg, Alexander, Projektbezogene Untersuchung zu Schimmelpilzbefall auf Gipsbaustoffen, 23. Hanseatische Sanierungstage, Feuchte – Wärme – Schimmelpilz, BuFAS e.V. (Hrsg.), Heringsdorf, 2012, Berlin u.a.: Beuth; Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2012, S. 131 ff.

13 Möhring, Rolf (Hrsg.), Baustoffkenntnis, 18. Auflage, 2016, Bundesanzeiger Verlag, Köln.

14 Sedlbauer, Klaus, Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen, Universität Stuttgart, Dissertation, Stuttgart, 2001.

15 Rückert, Joachim; Neubauer, Franz; Zietelmann, Christina, Einfluß von bituminösen Dachbelagsmaterialien auf das Korrosionsverhalten von Dachentwässerungssystemen aus Zink und verzinktem Stahl, Bericht Nr. 91 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V., Düsseldorf, 1983.

ohne dass dies für den Verwender transparent wird. Erfahrungen aus der Vergangenheit mit einem bestimmten Produkt sind also im Zweifelsfall für die Zukunft wertlos.

### 2.7 Besonders gut zu besiedelnde Materialien

Erfahrungsgemäß besonders leicht besiedelt werden Gipskarton sowie Tapeten (wenn diese Tapeten auf Gipsputz aufgetragen werden, können sie mit Gipskarton praktisch gleichgestellt werden). Dies hat folgenden Hintergrund:

- Tapete bzw. Karton weist eine lockere Struktur auf, die den Schimmelpilzen die Besiedelung erleichtert und in der sich zudem Staub einlagern kann, dessen Bestandteile den Schimmelpilzen als Nahrung dienen.
- Sowohl in der Tapete als auch im Karton sind Komponenten enthalten, die ein Schimmelpilzwachstum fördern können. Es handelt sich dabei um natürliche Bestandteile wie Cellulose oder Lignin, die von Schimmelpilzen verstoffwechselt werden können. Beispielfür die (vergleichsweise) gute Besiedelung von Gipskartonplatten (und hier speziell von Karton) ist Abb. 3, die eine Feuchtesituation in einem Neubau zeigt, bei dem die Decke aus Gipskartonplatten besteht und die Wände mit Gips verputzt sind: Obwohl offenbar auch der Gipsputz unmittelbar unterhalb der Decke einen erhöhten Feuchteanteil aufweist, wie an der Dunkelfärbung zu erkennen ist, ist nicht dieser, sondern die Gipskartonplatte (genauer: die Papierkaschierung) besiedelt.

## Teil 1: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden



Abb. 3: Beispiel für unterschiedliche Besiedlung von Gipskarton (Decke) und Gipsputz (Wand).

Quelle: Bernd Gericke

- Sowohl Tapete als auch Karton verfügen über die Möglichkeit, Feuchte zu speichern, sodass dem Schimmelpilz ein Reservoir zur Verfügung steht, das ihm bei kurzfristiger Trocknung noch Wasser zur Verfügung stellt.
- Der pH-Wert des Baustoffes hinter dem Karton oder der Tapete spielt demgegenüber nur eine unbedeutende Rolle: Selbst dann, wenn hinter der Tapete bspw. ein Zementputz vorhanden wäre, ist nur im Ausnahmefall (etwa wenn die Tapete im Spritzwasserbereich einer Dusche liegt oder eine unter Putz liegende Leitung geborsten ist) auf der Wandoberfläche so viel Feuchtigkeit vorhanden, dass die Tapete durchdrungen wird und alkalische Bestandteile zur Bauteiloberfläche hin transportiert werden können. Wegen der optimalen Eignung dieses Untergrundes für einen Schimmelpilzbewuchs kann es daher durchaus vorkommen, dass nach einem Feuchteschaden Gipskarton massiv besiedelt ist, während benachbarte Bauteiloberflächen kein oder wenig Schimmelpilzwachstum zeigen. Die Bedeutung dieses Sachverhaltes für die Praxis kann auch Abb. 4 entnommen werden.



Abb. 4: Beispiel für unterschiedliche Besiedlung von Gipskarton (Wand) und Anhydritestrich (Decke) einerseits sowie Beton (Boden) andererseits.

Quelle: Wolfhard Böttcher

Das Bild stellt die Situation in einem Hohlraumboden nach einer längeren Beanspruchung durch Feuchtigkeit dar. Demnach konnten die Schimmelpilze an der Unterseite des Anhydritestrichs (im Bild oben) sowie auf der Gipskartonwand wachsen, nicht jedoch auf der Betondecke. Dies bestätigt die Beobachtung, dass Schimmelpilzbefall bei Feuchteinwirkung auf unterschiedliche Materialien auch zu unterschiedlichen Intensitäten des Bewuchses führt.

## 2.8 Fazit

Baustoffe werden in Abhängigkeit von ihrer Alkalität mehr oder weniger stark von Schimmelpilzen besiedelt. Den Baustoff, der nicht besiedelt werden kann, gibt es aber nicht: Wenn die Feuchtigkeit genügend hoch und die Einwirkzeit genügend lang ist, kann grundsätzlich jedes Material besiedelt werden (auch wegen der Fähigkeit von Schimmelpilzen, Staubablagerungen als Nahrungsquelle zu nutzen und sich das Milieu, das sie zum Wachstum benötigen, gewissermaßen selbst herzustellen).

■ Unerwünschter Schimmelpilzbewuchs in Gebäuden betrifft nicht nur die Nutzer, sondern ebenso die Eigentümer der Immobilie, konsultierte Ärzte, Rechtsanwälte, Sachverständige, Sanierungsfirmen und beteiligte Versicherungen. Auch bei der Bewertung von Gebäuden kann ein Schimmelpilzschaden eine Rolle spielen.

**Häufig sind Schimmelpilzschäden so komplex, dass Vertreter mehrerer Fachdisziplinen zusammenarbeiten müssen, um Ursachen zu klären, Auswirkungen zu erkunden und den Schaden zu beseitigen.**

Aus diesem Grund ist das Schimmelpilz-Handbuch interdisziplinär konzipiert: Aus der Vielzahl der Berufsgruppen, die sich direkt oder indirekt mit Schimmelpilzen auseinandersetzen, haben die wesentlichen hier mitgewirkt. Namhafte Vertreter der ausgewählten Fachdisziplinen tragen ihr Wissen zusammen, um dem Leser eine möglichst umfassende Übersicht zum aktuellen Stand der Schimmelpilz-Problematik in Gebäuden zu bieten.

### **IHRE VORTEILE**

- Der Blick über den Tellerrand: die Bewertung von Schimmelpilzschäden aus Sicht von Sachverständigen, Medizinern, Mikrobiologen, Bauschaffenden, Wissenschaftlern, der Bauberufsgenossenschaft, von Juristen und Versicherungen.
- Hoher Praxisbezug durch die Darstellungen zahlreicher Schadens- und Sanierungsfälle.
- Neben Grundlagenwissen werden neue Tendenzen, Forschungs- und Umfrageergebnisse vorgestellt.

### **AUS DEM INHALT**

- Gesundheitliche Aspekte von Schimmelpilzen und Bakterien
- Diagnostik bei Schimmelpilzschäden
- Schimmelpilzsanierung und Präventionsmaßnahmen
- Schimmelpilzschäden aus Sicht der Versicherer
- Rechtliche Bewertung von Schimmelpilzschäden