

Schimmelpilze in Wohngebäuden

- Ursachen, Vermeidung und Sanierung -

von
Peter Rauch

Leipzig 12/2003 ISBN 3-00-012946-4

Mit Ergänzungen vom 18.07.2005

Autor/Herausgeber:

Dipl.-Ing.oec., Dipl.-Betw.(FH), Ing. Peter Rauch

Ingenieurbüro Peter Rauch
Bucksdorffstr.28, D-04159 Leipzig,
Tel./Fax. ++49 (0) 341-9015382
© www.ib-rauch.de
Email: info@ib-rauch.de

Im Auftrag von: Leipziger Institut für Bildung und Forschung e.V.
Bucksdorffstr.28, 04159 Leipzig,
Amtsgericht:Leipzig VR 1081
www.leipzigerinstitut.de

Achtung! Das Buch ist durch das Urheberrecht geschützt. Das Verwenden von Texten aus dem Buch auf eigenen Webseiten oder in anderen Medien verletzt das Urheberrecht. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie die Übersetzung, sind vorbehalten. Kein Teil des Buchs darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Betreibers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet oder vervielfältigt werden. Hierunter fällt auch das Veröffentlichen im Web, in Intranets, in Online-Diensten, Mailboxen oder ähnlichen Medien. Unter Beachtung der Zitatregele dürfen Sie Textteile und Bilder verwenden. Dieses kostenfreie Buch dürfen Sie ohne Rückfrage an Freunde oder andere Interessenten weitergeben, in dem Sie die Webadresse **www.schimmelpilzbuch.de** nennen. (Die auf dem Deckblatt genannten Adressen stammen von der Herausgabe des Buches 2003. Die aktuelle Adresse des Autors Dr. Peter Rauch finden Sie [hier](#))

Weitere Fachbücher von Faching., Dipl.-Ing.oec., Ing.oec., Ing. Peter Rauch PhD

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Schimmelpilze
 - 2.1. Charakteristik der Schimmelpilze und ihre Stoffwechselprodukte
 - 2.2. Nahrung und Lebensbedingung
 - 2.3. Vorkommen in der Luft
 - 2.4. Vorkommen in der Innenluft
3. Ursachen der Entstehung in den Wohnungen
4. Schimmelpilze in Innenräumen
5. Pilze als Erreger von Krankheiten bei Menschen und Tieren
 - 5.1. Gesundheitliche Auswirkungen
 - 5.2. Vorkommen auf der menschlichen Haut
 - 5.3. Mykosen
 - 5.3.1. Einleitende Bemerkungen
 - 5.3.2. Aspergillosen
 - 5.3.3. Penicilliosen und Phykomykosen
 - 5.4. Mykogene Allergien
 - 5.4.1. Allgemeines zur Allergie
 - 5.4.2. Asthma bronchiale
 - 5.4.3. Allergische Alveolitis
 - 5.4.4. Allergische bronchopulmonale Aspergillose
 - 5.4.5. Organische Staubsyndrom
 - 5.4.6. Andere Formen
 - 5.5. Mykotoxikosen
 - 5.6. Mycetismus
 - 5.7. Allergose
 - 5.8. Toxine
 - 5.9. Besonders gefährdete Personengruppen
 - 5.10. Problematische Schimmelpilze
6. Schimmelpilze als Materialzerstörer
 - 6.1. Schimmelpilze im Ökosystem
 - 6.2. Materialzerstörung
 - 6.3. Holz, Moderfäule
 - 6.4. Papier
 - 6.5. Textilien
 - 6.6. Wolle
 - 6.7. Leder
 - 6.8. Kunststoffe, Natur- und Synthetsegummi
 - 6.9. Farben und Anstriche
 - 6.10. Glas
 - 6.11. Mineralische Baustoffe
 - 6.12. Kohlenstoff
 - 6.13. Metall
 - 6.14. Andere Nahrungsgrundlagen
7. Die Vermeidung der Schimmelpilzbildung
 - 7.1. Wichtige Ursachen der Entstehung
 - 7.2. Luftfeuchtigkeit in der Wohnung - Ursache für die Schimmelpilzbildung
 - 7.2.1. Luftfeuchtigkeit
 - 7.2.2. Feuchtigkeit in der Wohnung

- 7.2.3. Gas-Dampf-Gemisch (Feuchtigkeit in der Luft)
- 7.2.4. Wärmeenergie in einem Gas-Gemisch und Lüftungsaustausch
- 7.2.5. Die Feuchteproduktion und der Lüftungsaustausch
- 7.2.6. Der Lüftungsaustausch im Gebäude
- 7.3. Andere bauphysikalische Einflussfaktoren - Wärmebrücken an der Bauhülle
 - 7.3.1. Was sind Wärmebrücken
 - 7.3.2. Die Außendämmung - Probleme und Lösungen
 - 7.3.3. Die Innendämmung - Probleme und Lösungen
 - 7.3.4. Dachgeschoßausbau - Probleme und Lösungen
 - 7.3.5. Andere konstruktive Ursachen - Probleme und Lösungen
 - 7.3.6. Fenster
- 7.4. Richtige Baustoffauswahl und die Mauerfeuchtigkeit
 - 7.4.1. Allgemeines
 - 7.4.2. Feuchteverhalten und der Feuchteausgleich
 - 7.4.3. Feuchtigkeit im Mauerwerk
 - 7.4.4. Wechselwirkung der Luft- und Mauerfeuchtigkeit
 - 7.4.5. Kondenswasserbildung an der Wandkonstruktion
 - 7.4.6. Mauersalze
- 7.5. Baustoffe
 - 7.5.1. Wandbaustoffe
 - 7.5.1.1. Keramische Baustoffe
 - 7.5.1.2. Lehm
 - 7.5.1.3. Kalksandstein
 - 7.5.1.4. Porenbeton (Gasbeton)
 - 7.5.1.5. Beton
 - 7.5.1.6. Holz
 - 7.5.2. Putze, Bindemittel und Mörtel
 - 7.5.2.1. Gipsmörtel
 - 7.5.2.2. Frischer Kalk- und Zementmörtel
 - 7.5.2.3. Lehm und Lehmputze
 - 7.5.2.4. Sanierputzsysteme- WTA
 - 7.5.2.5. Gipskartonbauplatten
 - 7.5.3. Beschichtung der Innenwand
 - 7.5.3.1. Einleitung
 - 7.5.3.2. Anstriche/Beschichtungen
 - 7.5.3.3. Tapeten
 - 7.5.3.4. Innendämmung und Innenverkleidung
- 7.5.4. Fußboden
- 8. Sanierung des Schimmelpilzbefalls
 - 8.1. Allgemeine Grundlagen
 - 8.2. Bestimmung von Schimmelpilzbelastung
 - 8.3. Chemische Bekämpfung
 - 8.3.1. Was ist eine chemische Bekämpfung?
 - 8.3.2. Bekämpfungsvarianten
 - 8.3.3. Anwendung und Umgang mit chemischen Mitteln
 - 8.4. Bekämpfung durch Hitze
 - 8.5. Sanierungsmaßnahmen
 - 8.5.1. Kurzfristige Maßnahmen

- 8.5.2. Langfristige Maßnahmen
- 8.6. Sanierung von schimmelpilzbefallenen Materialien
 - 8.6.1. Einleitung
 - 8.6.2. Glatte Oberflächen
 - 8.6.3. Poröse Oberflächen
 - 8.6.4. Holz
 - 8.6.5. Möbel
 - 8.6.6. Haushaltkeramik
 - 8.6.7. Textilien
 - 8.6.8. Stockflecken
 - 8.6.9. Leder
 - 8.6.10. Außenfassaden
- 8.7. Schutzmaßnahmen bei der Sanierung
- 8.8. Vorsichtsmaßnahmen zur Verringerung der Schimmelpilzgefährdung
- 8.9. Kurze Zusammenfassung zum schadstoffarmen Haus
- Anlage 1 Checkliste um die Schimmelpilzentstehung zu vermeiden
- Anlage 2 Toxine
- Anlage 3 Innen- und Außendämmung bei einer Außenwand
- Anlage 4 Luftfeuchte und Taupunkttemperatur
- Anlage 5 Teilauszug Mollier-Diagramm
- Anlage 6 Klinisch relevante Schimmelpilze und die verursachten Erkrankungen
- Anlage 7 Bestimmung der relativen Luftfeuchte an der Wandoberfläche
- Anlage 8 Chemikalien für die Schimmelbekämpfung
- Anlage 9 Ausgewählte bauphysikalische Begriffe
- Anlage 10 Betrachtung der Oberflächenfeuchte an einer Außenwand

1. Einleitung

Schimmel ist die Trivialbezeichnung für makroskopisch erkennbare meist watteartige Myzelien und/oder Conidienträger. Pilze, die Schimmel bilden, lassen sich nicht systematisch eingrenzen. Sie gehören verschiedenen Gruppen an. Mit dem Schimmelpilzbegriff werden verschiedene Strukturen und Erscheinungen in Verbindung gebracht, z. B. Schwarz- u. Grünschimmel, Roter Brotschimmel, Edel-, Gießkannen-, Pinsel-, Köpfchenschimmel u.a. Darüber hinaus werden auch viele als Schimmel bezeichnet (Blau-, Grau-, Schneeschimmel usw.) [1]

Mit der Energieeinsparung und der damit im Zusammenhang stehenden Verringerung des hygienischen Lüftungsaustausches im Gebäude, bauphysikalische Veränderungen sowie Verwendung von unzuverlässigen Bau- bzw. Beschichtungsmaterialien u. a. werden die schon immer vorhandenen Schimmelpilze und auch Bakterien durch lokale Konzentrationserhöhungen, z. B. durch Schimmelflecken an der Tapete oder Stockflecken an Gegenständen, sichtbar.

Es gibt in Deutschland noch keine verbindlichen Bewertungskriterien für eine Schimmelpilzbelastung im Innenraum. Der Nachweis einer Schimmelpilzbelastung durch einen qualifizierten Fachmann (Mikrobiologisches Labor) dient dabei unterschiedlichen Zielen, dazu gehören:

- dem Nachweis einer Außenluftquelle,
- dem Nachweis einer Innenraumluftquelle oder eine
- gesundheitliche Bewertung der Schimmelpilzbelastung.

Von den ca. 100.000 Schimmelpilz-Arten weisen ca. 30 Allergene auf. Sie haben in der Natur die Aufgabe, organische Substanz abzubauen und in Form von Erdboden den Pflanzen als Nährstoffquelle zugänglich zu machen. [2] Nur so wird der Stoffkreislauf (Kohlenstoffkreislauf, Stickstoffkreislauf usw.) geschlossen. Ohne diese wichtige Aufgabe der Mikroorganismen könnte es keine (neuen) Pflanzen und Tiere geben. Die Mehrheit der uns umgebenden Schimmelpilze und auch Bakterien sind nützlich. Der Mensch ist deshalb an dem Vorhandensein von Mikroorganismen und so auch an Schimmelpilzen in seiner Umgebung angepasst und weist eine hohe Resistenz auf. Er reagiert folglich nur selten mit Krankheitssymptomen auf eine Schimmelpilzexposition. Bakterien leben in Pflanzen, Tieren und Menschen als Symbionten, d. h. der Wirt bietet ihnen Vorteile, aber auch sie selbst sind dem Wirt nützlich. Natürlich gibt es auch gefährliche Parasiten und Krankheitserreger. [3]

Entscheidend für die Wirkung von inhalativ aufgenommenen Schimmelpilzen sind die Konstitution, die Pathogenität, die Gesamtanzahl der einwirkenden Pilze und die Häufigkeit. Die Belastung und Beanspruchung von Menschen sind aber bei Außen- und Innenraumquellen im Wesentlichen gleich. [4] Allgemein stellen kleine Befallsbereiche kein gesundheitliches Problem dar. Allerdings muss eine hohe Schimmelpilzbelastung im Gebäude nicht in jedem Fall optisch durch einen Befall an einer Bauteilfläche erkennbar sein. Eine Schimmelpilzbestimmung im Labor ist vordergründig zur Klärung von spezifischen Sachverhalten sinnvoll,

- wenn eine ernsthafte Erkrankung der Bewohner vorliegt und die Ursachen für die Krankheiten wie Allergie oder Atemwegserkrankungen ungeklärt sind,
- wertvolle Kulturgüter geschädigt sind/werden oder
- wenn die Quelle (Ursache) nicht zweifelsfrei bestimmt werden kann.¹

Die richtige Beseitigung des Schadens kann nur durch das Erkennen der Ursachen erfolgen. Dazu gehören bauphysikalische und oder baustoffspezifische Zusammenhänge, das Nutzungsverhalten der Bewohner, die Wechselwirkung zu den Alltagsgiften uvm.

Auf den beiden Bildern 1 und 2 werden typische Schimmelpilzbilder gezeigt.

Bild 1.1.: Wärmebrücke, ungenügende Beheizung und hohe Luftfeuchtigkeit in der Wohnung über 70% relative Luftfeuchte



Bild 1.2.: Wasserleitungsschaden wurde nicht getrocknet



Schimmelpilze sind allgegenwärtig (ubiquitär) vorkommende Pilzarten, die bei erhöhten Vorkommen deutliche gesundheitliche Beeinträchtigung auslösen können. Viele Bewohner von mit Schimmelpilz belasteten Räumen leiden häufig unter Kopfschmerzen, Augenbrennen und Erkältungssymptomen. Bei entsprechender Neigung kann es bei längerem Einatmen von Schimmelpilzsporen zur Allergie kommen. Diese körperliche Abwehrreaktion kann zu einem Bronchialasthma führen und andere gesundheitliche Probleme an den Atmungsorganen verursachen. [5]

Die Schimmelpilze gehören zu den Mikroorganismen. In diesen Sammelbegriff „Mikroorganismen“ werden viele verschiedene Gruppen von Kleinstlebewesen, wie Bakterien, Hefen, Aktinomyzeten, Algen, Pilze und Protozoen zusammengefasst. Eine Zuordnung in die Flora oder Fauna ist möglich. Algen, Bakterien, Aktinomyzeten und Pilze werden dem Reich der Pflanzen, insbesondere der Mikroflora zugeordnet; lediglich die Algen sind eindeutig Pflanzen. Dies macht sich u. a. durch die zelluloseartige Zellwand und das Chlorophyll zur Energiegewinnung mit Fotosynthese bemerkbar.

Die tierischen Eigenschaften der Bakterien, Aktinomyzeten und Pilze sind unter anderem die überwiegend chemoheterotrophe Lebensweise und die Bildung von Glykogen, einem stärkeähnlichen Polysaccharid, das auch als tierische Stärke bezeichnet wird. Dennoch lässt die Zellstruktur die Zuordnung zur Fauna nicht zu. Eine Ausnahme sind die Protozoen, die eindeutig zum Tierreich gehören. [6]

Bakterien sind über all auf der Erde in ungeheurer Individuenzahl verbreitet. Sie nehmen wie die anderen Mikroorganismen eine wichtige Rolle im Stoffwechselgleichgewicht der Natur ein. Sie finden bei vielen industriellen Verfahren Anwendung. Die Bedeutung der Bakterien für die Nahrungs- und Futtermittel wird in zwei Aspekte eingeteilt. Einmal, die zur Herstellung, Verarbeitung und Veredlung dienen und die an der Verderbung dieser beteiligt und darüber hinaus für Vergiftungen und Infektionen verantwortlich sind. Dominierend für die Betrachtung der biologischen Schäden im Gebäude sind die Schimmelpilze. Auf Bakterien wird nur dann eingegangen, wenn bestimmte Sachverhalte erläutert oder ergänzt werden.

In diesem Buch werden schwerpunktmäßig die wichtigsten Lebensgrundlagen verschiedener Schimmelpilze, die Ursachen der Schadensentstehung, Vorschläge für die Vermeidung und für eine sinnvolle Bekämpfung dargestellt.

2. Schimmelpilze

2.1. Charakteristik der Schimmelpilze und ihre Stoffwechselprodukte

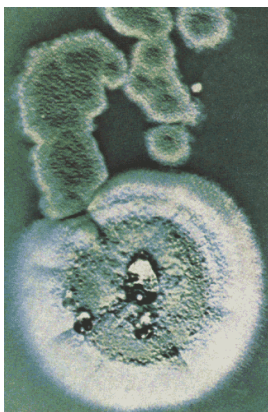
Als Schimmelpilze werden alle Pilze bezeichnet, welche überwiegend morphologische aber auch eine Reihe ökologischer Gemeinsamkeiten aufweisen.

Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf der Oberfläche ein watteförmiges, fädigen oder pulverartiges Aussehen (schimmelig) haben. Dies wird verursacht, da das Wachstum nicht nur im Materialinneren, sondern an der Oberfläche erfolgt. Es gibt aber auch Bakterien, die ein pilzartiges Aussehen beim Wachstum zeigen. Hierzu gehören die sogenannten Strahlenpilze oder Actinomyceten.

Man kann zur Charakterisierung der Schimmelpilze hervorheben:

Aspergillus und Penicillium (Bild 2.1.1.) sind die am weitesten verbreiteten Schimmelpilze. Sie gehören der Abteilung Eumycota (Echte Pilze), Klasse Ascomycetes (Schlauchpilz), Unterklasse Euscomycetidae, Ordnung Eurotiales, Familie Eurotiaceae an. Es handelt sich bei allen um Saprotrophe, also Pilze, welche sich von toten, abgestorbenen oder künstlich synthetisierten organischen Substraten ernähren, z. B. auf Nahrungsmittel, wie Brot, Früchten, Milch u. a. Die Pilze entwickeln ein ganz typisches echtes Myzel, welches reich verzweigt ist und sich im Substrat oder auf dessen Oberfläche ausbreitet.

Bild 2.1.1.:Penicillium (Pinselschimmel) [7]



Ihre Vermehrung erfolgt fast ausschließlich durch ungeschlechtliche Mitosporen (anamorphe Fruktifikation), durch Ausbildung von Endosporen (Sporangiosporen) oder Exosporen (Konidien), mitunter Chlamydosporen. Die Konidienträger sind jeweils recht typisch gestaltet und bieten die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale. So enden bei *Aspergillus* die Konidien bildenden Hyphen in einer Blase, die intensiv mit stäbchenförmigen einzelligen Organen bedeckt ist und als Sterigma bezeichnet wird. Die Konidienträger von *Penicillium* verzweigen sich an der Spitze in dünne Ästchen. Jedes dieser Ästchen trägt ein Sterigma, das von einer Konidienkette bekrönt wird. Das Myzel ist mehr oder weniger farblos. Die Konidien tragen Farbstoffe, die der Pilzkolonie ihre spezifische Färbung, schwarz, braun, grün, gelb oder weiß bei *Aspergillus* und hauptsächlich blaugrün bei *Penicillium* (auch Grünschimmel), verleihen. Bei *Aspergillus* ist die Farbgebung von Spurenelementen im vorgefundenen Substrat abhängig. Z. B. *Aspergillus niger* färbt sich intensiv schwarz (auch Schwarzschimmel), wenn Kupfer anwesend ist, ansonsten nimmt es eine hellgelbe Färbung an. [8]

Da die Fortpflanzung fast ausschließlich durch die o. g. Konidien erfolgt, werden keine auffälligen Fruchtkörper hervorgebracht. Wenn überhaupt sexuelle Fortpflanzungsorgane gebildet werden, dann nur winzig kleine.

Zellsprossung und Bildung von Sprosszellen, wie sie Hefen oder hefeähnliche Pilze charakterisieren, tritt nur in ganz seltenen Fällen unter bestimmten Bedingungen ein.

Ihr Lebensraum ist bevorzugt der Erdboden, vermögen auch andere Lebensräume zu erobern, wie feuchte Räume oder Klimazonen. [9]

Die charakteristisch flüchtigen Stoffwechselprodukte von Schimmelpilze MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds) umfassen Verbindungen mit Siedepunkten von 0 – 250 °C und können ein breites Spektrum unterschiedlicher chemischer Stoffklassen zugeordnet werden, wie z. B. den Alkanolen, Alkenolen, Ketonen, Terpenen, Aldehyden, Alkanen, schwefelhaltige Verbindungen, Ethenen, Ester, Karbonsäuren u. a. Es wurde bis 2001 ca. 30 solcher Verbindungen in Innenräumen und in der Außenluft nachgewiesen, die von Schimmelpilzen gebildet werden können. [10]

Der muffige Geruch ist häufig auf die Bildung von MVOC durch Schimmelpilze oder Bakterien zurückzuführen. Folgendes Spektrum von Verbindungen ist charakteristisch:

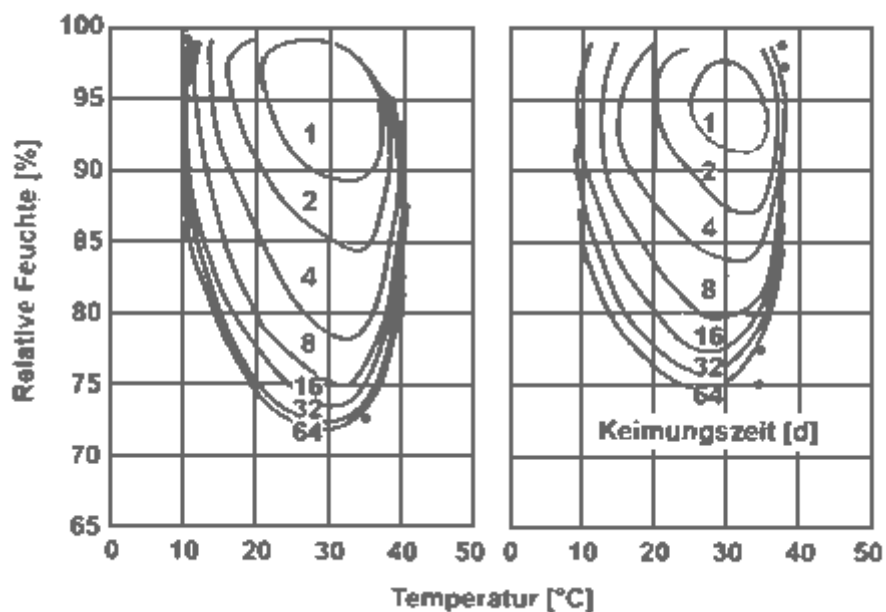
3-Methylfuran, Geosmin, 1-Octen-3-ol, 3-Methyl-1-butanol, 2-Pentanol, 2-Hexanon, 2-Heptanon, 3-Octanon und Dimethyldisulfid. [10] In höheren Konzentrationen weisen einige MVOC eine toxische Wirkung auf. In den Innenräumen liegen meist niedrige Werte vor, die zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung beitragen. Die Bedeutung der MVOC ist noch nicht ausreichend erforscht. [11] Es ist auch zu beachten, dass nicht alle flüchtigen Stoffwechselprodukte, die von Mikroorganismen produziert werden, nur von mikrobieller Herkunft stammen. Sie werden auch von Pflanzen produziert, sind Bestandteil von Aromastoffen und technischen Lösungsmitteln.

2.2. Nahrung und Lebensbedingung

Pilze sind chlorophyllfreie Organismen. Die Pilze ernähren sich im Wesentlichen heterotroph - von organischen Substanzen lebender und toter Organismen. [12] Als Nahrung dient überwiegend Glucose, Maltose und Saccharose (z. B. Tapetenkleister, Raufasertapete, Dispersionsfarben, Holz, Papier, Textilien, Kunststoffe und Gummi durch die beigefügten

Weichmacher, Staub und Fette. Gute Lebensbedingungen liegen bei einem pH-Wert zwischen 2 bis 6,5 auch bis 8 und einer Temperatur von 0°C bis +40°C vor. Man unterscheidet hier die Schimmelpilze nach ihren optimalen Wachstumstemperaturen, mesophile Schimmelpilze bei 25-35°C, thermotolerante Schimmelpilze bei 30-40°C und thermophile Schimmelpilze bei 35-55°C (max. ca. 60°C) [13] Auch werden keine Ansprüche an die Zusammensetzung der Atmosphäre gestellt. Die Lebensbedingungen sind recht unterschiedlich, verbessern sich diese wieder, so kann selbst scheinbar abgestorbenes Myzel auch nach Monaten neu auskeimen. [14]

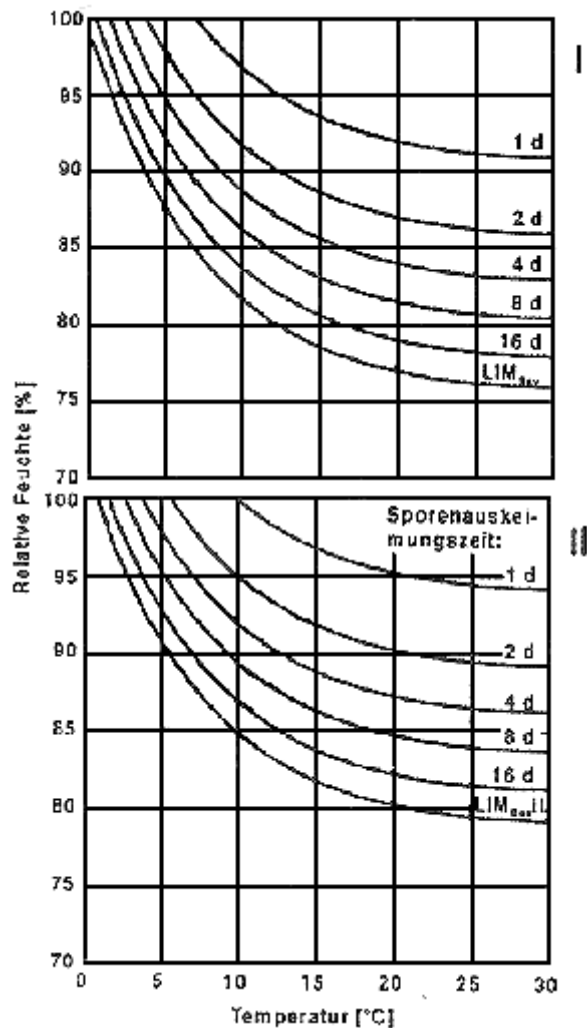
Bild 2.1.: Isoplethensysteme für Sporenauskeimung der Schimmelpilze (*Aspergillus restrictus* (links) und *Aspergillus versicolor* (rechts)). [15]



Die wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen sind die Temperatur, die Feuchte in der Luft und das Substrat, welche über eine bestimmte Zeitperiode vorliegen muss. [16] Nachfolgend soll das Isoplethensystem für Sporenauskeimung der Schimmelpilze dargestellt werden (Bild 2.1.). Hier wird jedoch der Einfluss von Substraten (Baustoffe und Verschmutzung) und anderer Randbedingungen nicht berücksichtigt. Es soll hier auch nur als Modell betrachtet werden, damit die Zusammenhänge deutlich werden.

Hier wird Folgendes deutlich. Auch bei einer hohen relativen Luftfeuchte von 90 bis 95% muss nicht unbedingt sofort eine Schimmelpilzbildung entstehen, wenn die Temperatur niedrig ist und andere Wachstumsvoraussetzungen, z. B. Substratzusammensetzungen vorliegen. Hinzu kommt auch, dass die Schimmelpilzarten einen bestimmten a_w -Wert (Wasseraktivität)² benötigen, unter den sie nicht mehr wachsen. Z. B. *Aspergillus restrictus* benötigen eine Feuchte von 71-75%, dagegen benötigt *Stachybotrys chartarum* eine Feuchte.

Bild 2.2.: Verallgemeinerten Isoplethensystem für die Sporenauskeimung, das für alle Pilze der Substratgruppe I Bild oben) und II (Bild unten) gilt.



von 94%. Im Winter haben wir nicht durchgängig eine gleiche Außentemperatur. Über mehrere Tage (ca. 10-14 Tage) liegt eine sehr niedrige Außentemperatur vor, dann wechselt das Wetter und es wird wieder wärmer. Bei dieser weniger warmen Außentemperatur sinkt die Oberflächentemperatur an der Innenwandoberfläche, je nach Wärmespeichervermögen und Wärmeleitfähigkeit des Wandbaustoffs. Damit erhöht sich auch die relative Luftfeuchte an der Oberfläche. (Vergleiche Punkt 7.2.) Obwohl eine hohe Feuchtigkeit (z. B. 80-85%) vorliegt, kann sich bei einer niedrigeren Oberflächentemperatur die Sporenauskeimungszeit soweit verlängern, dass in dieser Zeitperiode kaum eine Sporenauskeimung erfolgt. Siehe hier im Bild 1.3. die Sporenauskeimzeit im Temperaturbereiche zwischen 0 bis 10 °C. Hingegen kann bei einer wesentlich höheren Oberflächentemperatur, z. B. 15 bis 18 °C, und bei niedrigerer relativer Luftfeuchte von 77 bis 80% am gleichen Wandbaustoff bereits nach wenigen Tagen eine Schimmelpilzbildung erfolgen. In der Anlage 10 werden einzelne Beispiele gegenübergestellt.

Hier werden aber eine Reihe von anderen Faktoren, z. B. Substrate usw., nicht berücksichtigt, daher hat man ein weiteres Modell entwickelt. In diesem wird der Feuchtehaushalt einer Spore in Abhängigkeit von instationären Randbedingungen rechnerisch ermittelt, so dass auch ein zwischenzeitliches Austrocknen der Pilzsporen berücksichtigt wird. (Der Grundgedanke beruht auf das instationäre biohygrothermische Verfahren und soll hier nicht weiter erläutert

werden. Mehr unter [17]. In der Grafik (Bild 2.1.) werden die verallgemeinerten Isoplethensysteme für die Sporenauskeimung dargestellt. Die Limo-Kurve stellt dabei die temperaturabhängig tiefste relative Feuchte dar, bei der eine Sporenauskeimung erfolgen kann. Werden diese Werte unterschritten, so ist unter normalen Bedingungen nicht mit einer Schimmelpilzbildung an der Wandoberfläche zu rechnen.

Der Substratgruppe I gehört an:

Biologisch verwertbare Substanzen, wie z. B. Tapete (vor allem Raufasertapete), Gipskartonbauplatten, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, dauerelastische Fugenmaterialien

Der Substratgruppe II gehören an:

Baustoffe mit porigem Gefüge, z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter die Gruppe I fallen.

Der Substratgruppe III gehören an:

Alle Baustoffe, die unter normalen Bedingungen nicht abgebaut werden und keine Nährstoffe enthalten. [17]

Mit dieser Grafik kann in Zusammenhang mit der Anlage 4 (Luftfeuchte und Taupunkttemperatur) die Möglichkeit einer erhöhten Schimmelpilzbildung an einer Wandoberfläche unter normalen Bedingungen abgeschätzt werden. Es wirken jedoch noch eine Vielzahl anderer Faktoren, die in den Folgepunkten behandelt werden.

Unter dem Link www.ib-rauch.de/Beratung/schim/feucht1.php steht ein Tool zur Bestimmung der feuchteabhängigen Schimmelpilzbildung unter Berücksichtigung der o. g. Einflussfaktoren zur Verfügung.

Wichtig ist auch die Zeitdauer der höheren Feuchtebelastung (ca. ab einer relativen Luftfeuchte von 80%) der Raumluft oder an der Baustoffoberfläche. Die Gipswand eines Badezimmers muss mindestens die Hälfte des Tages trocken sein, um keine Pilze zu züchten. In einem stationären Laborversuch wurde eine Periode von 4 Stunden Wachstumsklima pro Tag ermittelt, wo ein Pilzwachstum erfolgt. In der Praxis sollte sich diese Periode über einige Tage (5) wiederholen. [18] Eine andere Quelle besagt eine Zeitdauer von 3 Stunden und bei Feuchtespitzen bis 2 Std. erfolgt keine Schimmelpilzbildung. Solche Feuchtebelastungen treten z. B. unbewusst durch die Nachtabenkung oder durch offene Türen zu kühleren Räumen besonders an kalten Wintertagen auf.

2.3. Vorkommen in der Luft

Die Konzentration der Sporen ist im Winter verhältnismäßig niedrig, sie steigt dann in Mitteleuropa in den Sommermonaten (September) beachtlich an. Dabei hängt diese einmal von der höheren relativen Luftfeuchte und der Temperatur sowie auch von der Staubmenge in der Raumluft ab, da sich Mikroorganismen an Staubteilchen anhängen. (Bei den Sterilversuchen [1983-85] hatten wir bei Extremfällen Größenbereiche, die weit über die erfassbaren Messwerte reichten ($> 10^6$ Teilchen/m³.) Ihre Anzahl steigt besonders dann an, wenn mit Materialien gearbeitet wird, wo viel Staub entsteht, wie in Scheunen, Mühlen, Tierställe, in der Holzverarbeitung uvm. In der freien Luft ist die Lebensdauer von Pilzsporen von der Temperatur, der Luftgeschwindigkeit und der Sonneneinstrahlung abhängig. Farblose Sporen werden rasch durch die UV-Strahlung abgetötet. Daher dominieren pigmentierte

Sporen von *Alternaria* und *Cladosporium*, Schwärzepilze, die überall auf verrottendes organisches Material wachsen. Alle Mikroorganismen beginnen ihr Leben als einzelne Zelle oder Spore und sind in der natürlichen Umgebungsluft vorhanden. Dabei können jahreszeitlich abhängig Größenordnungen von 1000 bis 10.000 Pilzsporen/m³ Umgebungsluft vorhanden sein. Dem gegenüber ist die Anzahl von Bakterien in der Luft nicht vom Nährstoffangebot, der Feuchtigkeit und Temperatur abhängig. Die Keimzahl in der Luft ist kein Ausdruck von Wachstum und Vermehrung, sie wird vom Anteil der Luftverschmutzung (Staubpartikel) bestimmt. Diese ist wiederum abhängig von den geografischen Bedingungen, Wetter, Klima, Besiedlungsdichte, Jahre- und Tageszeit, Bodenbedeckung und Landschaftsstruktur. Meist bleiben Bakterien in unmittelbarer Nähe ihres Herkunftsortes. [19]

Durch das Belüften des Gebäudes findet zwangsläufig auch eine Verringerung der Konzentration an Mikroorganismen und Schadstoff-Vorkommen statt. In der Regel sollte eine Verdünnung erfolgen. Ist die Konzentration in unmittelbarer Nähe des Gebäudes oder an der Außenseite höher, so werden lebende oder tote Pilzteile herein gelüftet, analog betrifft dies auch für Bakterien zu. Empfindliche Bewohner (weiter unter Punkt 5.1.) sollten diesen Aspekt berücksichtigen. Man kann bewusst darauf Einfluss nehmen, dass die Konzentration von Mikroorganismen im Außenbereich den natürlichen Umfang nicht wesentlich überschreitet. Das ist z. B. die Vermeidung von optimalen Lebensbedingungen z. B. für Bakterien, Algen und Pilze. Die Übertragung von pathogenen Bakterien durch die Luft ist zwar möglich, jedoch im Allgemeinen selten. Bakterien benötigen wie bereits genannt Staub oder feinste Wassertröpfchen (Husten oder Niesen) an den sie anhängen und so „transportiert“ werden. Unter den Einfluss des Sonnenlichts werden diese rasch abgetötet. [19]

2.4. Vorkommen in der Innenluft

In Innenräumen sind Schimmelpilze besonderen Umweltbedingungen ausgesetzt. Hier liegt in der Regel eine höhere Staubbelastung vor. Eine Verdünnung durch Luftbewegung wird verhindert, ebenso fehlt die abtötende Wirkung der UV-Strahlung. Die Wärmeschutzverglasung lässt gegenüber der einfachen Verglasung weniger UV-Strahlung durch. Auch vor dem Austausch des Kastenfensters ist dieser Gesichtspunkt zu berücksichtigen. In geschlossenen Räumen dominiert dann xerotolerante Arten, wie z. B. solche der Gattung von *Penicillium* und *Aspergillus*, aber auch andere, wie *Cladosporium* und *Mucor* usw. [9], [20] Schimmelpilze, die in der Innenraumluft nachgewiesen werden, können aus der Außenluft stammen oder die Quelle befindet sich im Raum selbst. Daher ist bei einer Innenraummessung parallel eine vergleichende Messung in der Außenluft vorzunehmen.

Eine erhöhte Schimmelpilzbelastung im Innenraum ist nicht nur an verschimmelten Tapeten bzw. Gegenständen erkennbar. Meist sind optisch gar keine Merkmale erkennbar. Erhöhte Konzentrationen in der Luft lassen sich dann durch die entsprechenden Nachweisverfahren feststellen. In Einzelfällen aber erst nach dem Auftreten der entsprechenden Krankheitsbilder, wenn die Ursachen ermittelt werden.

3. Ursachen der Entstehung in den Wohnungen

Feuchte Wände, klamme Wohnungen und als Folge Schimmelpilzbildungen hat es schon immer gegeben. Je nach wirtschaftlicher Situation wurden solide oder preiswertere Gebäude gebaut, wo unterschiedliche bauphysikalische Parameter vorliegen. Laut Statistik ist aber festzuhalten, dass es innerhalb der letzten Jahre zunehmend zur sichtbaren Schimmelpilzbildung in Wohnräumen gekommen ist.

Als Beispiele sollen hier folgende Faktoren aufgeführt werden:

1. Die früher verwendeten Baustoffe wie Ton, Lehm oder Holz haben deutlich günstigere bauphysikalische Eigenschaften als die neueren Baustoffe, wie Beton, Polystyrol usw., in Bezug auf Dampfdiffusion und Wasserdampfaufnahmevermögen.
2. Die Wandoberflächen wurden mit Kalk-, Kreide oder Leimfarben versehen, die eine ungehinderte Wasserdampfdiffusion ermöglicht und zusätzlich ein Festigkeits- und Spannungsausgleich bedingen (gleiche Eigenschaften hat auch die Silicatfarbe). Dagegen werden heute bindemittelreiche Dispersionsfarbenanstriche und Tapeten mit hohen Kunststoffanteilen verwendet, die eine Wasserdampfdiffusion bzw. die Adsorption (Eigenschaft der Baustoffe kurzzeitig Feuchtespitzen aufzunehmen) behindern. Einige Anstriche bilden eine Dampfsperre. Es kommt zur Durchfeuchtung zwischen dem Putz und der Beschichtung sowie zur Blasenbildung und zum Abblättern.
3. Bei einer Beheizung mit Öfen wurde gleichzeitig für einen zusätzlichen Luftaustausch gesorgt. Die benötigte Verbrennungsluft bewirkte ein Nachströmen von kühlerer und somit trockener Außenluft durch die Fensterfugen. Bei einer zentralbeheizten Wohnung tritt dieser Effekt nicht auf. Demzufolge führt diese auch zu einer höheren Konzentration an Raumfeuchte.
4. Die Entwicklung des Wohnungsstandards hat sich verändert. So betrug vor 40 Jahren der häusliche Wasserverbrauch nur einen Bruchteil des heutigen. Damit wurde auch nur ein kleinerer Teil der Wasserdampfmenge freigesetzt. So waren Toiletten außerhalb der Wohnung, in den meisten Fällen gab es eine Wasserzapfstelle, es gab keine Waschmaschinen und wo kein Badezimmer vorhanden war, ging man in die öffentlichen Badeanstalten. [21]
5. Dem gegenüber steht eine Verringerung der Familiengröße oder anders, die Wohnfläche und damit das Raumvolumen pro Bewohner sind größer geworden (Zunahme an Singlehaushalten).
6. Durch die ständige Verringerung des zur Verfügung stehenden Haushaltseinkommens sind Sparmaßnahmen erforderlich. Dies drückt sich in kleinere Wohnung (Raumvolumen/Person) und Einsparungen bei der Heizung aus.
7. Sozioökonomische Merkmale, wie z. B. selbst genutztes Wohnungseigentum, beeinflussen die Schadenshäufigkeit, sodass die Anzahl der Feuchteschäden geringer ist. [22]
8. Bei den Fenstern hat eine Entwicklung stattgefunden, die gleich in mehrfacher Hinsicht die Feuchtigkeitsprobleme in den Wohnungen verschärft:
 - An den Einfachverglasungen stellten sich die eindeutig niedrigsten Temperaturen in der gesamten Wandfläche ein. Waren die Scheiben beschlagen, wurde dem Wohnungsnutzer signalisiert, dass gelüftet werden sollte. Heute können selbst innenliegende Wände (z. B. Treppenhauswand vgl. Punkt 7.3.2.) eine niedrigere Oberflächentemperatur haben.
 - Durch den Einbau von Isolierverglasung speziell im Altbaubereich verlagert sich die kältere Temperaturzone an die Wandanschlüsse. Es entstehen so neue Wärmebrücken bzw. vorhandene werden jetzt deutlich. Es kommt zur Tauwasserbildung. (Bilde 3.1. und 3.2.)

- Gegenüber mehrflügeligen Fenstern ragt der heutige große Fensterflügel zu weit in den Raum. Es wird die Kippstellung zum Lüften bevorzugt, was jedoch feuchtetechnisch ungünstig und zu dem Energie verschwendend ist.

Bild 3.1. und 3.2.: Auf den beiden Bildern ist deutlich erkennbar, dass sich jetzt das Tauwasser nicht mehr auf der Glasscheibe, sondern neben dem Fenster am Wandanschluss bildet.



- Durch die Fugen zwischen Rahmen und Flügel konnte auch bei geschlossenem Fenster kontinuierlich ein Lüftungsausgleich erfolgen. Bei den heutigen Konstruktionen wird dies nahezu vollständig unterbunden. Ein bewusstes Lüftungsverhalten ist nur zu realisieren, wenn ein lüftender Bewohner ständig anwesend ist. Bei einer Berufsausübung ist man unter Umständen 10 oder mehr Std. nicht anwesend, so dass sich die Lüftung auf 1 bis 2 Stoßlüftungen beschränken muss. Aus diesem Grund baut man heute undichte Dichtungen und Lüftungsschlitze in die modernen fugendichten Fenster ein.

9. Durch vorsätzliche und falsche Handlung einiger Mieter werden Schäden verursacht. Eine Außenwanddecke ist eine geometrische Wärmebrücke und kein Baumangel. Diese Gegebenheit muss akzeptiert werden und es kann z. B. hier kein großer Schrank oder andere Einrichtungsgegenstände aufgestellt werden, sodass die Temperierung der Außenwand unterbrochen wird. Ebenso ist in einer Wohnung nicht waschmaschinenweise die Wäsche zu trocknen.

10. Durch Eigentümer sind trockene, für Wohnzwecke geeignete Räume zur Verfügung zu stellen. Hier sollen nur beispielhaft aufgezählt werden, Baufeuchtigkeit, Feuchtigkeit nach größerem Wasserschaden, kaputte Dachentwässerung, aufsteigende Feuchtigkeit, fehlende ausreichende Lüftungs- und Heizungsmöglichkeiten usw.

11. Durch die ständig steigenden Energiepreise werden die Heizungskörper in einigen Räumen abgestellt. Die indirekte Heizung der Räume erfolgt über offene Zimmertüren. Wärmere Luft strömt an die kühlen Außenwände (meist über der Sockelleiste befindet sich die kälteste Fläche) und die Feuchtigkeit taut aus. Liegen unterschiedliche Raumtemperaturen in einer Wohnung vor, so sind die Türen geschlossen zu halten. In den kühleren Räumen ist an kalten Wintertagen die Heizung wenigsten zeitweise auf einer niedrigen Stufe zu betreiben.

12. Es werden heute zusätzlich Räume zu Wohnzwecken oder als Büro genutzt, die bisher die Funktion einer Abstellkammer, Keller oder als Trockenboden hatten. Eine Funktionsänderung gerade bei vielen älteren Gebäuden war konstruktiv nicht vorgesehen. Wohnräume stellen wesentlich höher Anforderungen an das Raumklima als Nebenräume. Diese Kriterien müssen bei der Planung und Ausführung berücksichtigt werden.

4. Schimmelpilze in Innenräume

Die Verbreitung kleiner Partikel in Innenräume wird durch die Bewegung der Luft bestimmt. Bereits ohne zusätzliche Lüftung reicht die thermische Konvektion aus, eine Zirkulation der Luft in einem Raum zu bewirken. Dies führt zu einer gleichmäßigen Verteilung der Pilzsporen, auch zwischen verschiedenen Räumen und Stockwerke. So kann ein Gramm Hausstaub bis zu 3,2 Millionen lebende Pilzsporen enthalten. So dominieren in der Außenluft Cladosporium-Arten und als typische "Raumpilze" kommen die Arten der Gattung *Aspergillus* und *Penicillium* vor, die auf Lebensmittel, feuchtem Leder, Papier, Baumwolle und Wolle wachsen. Daneben sind auch *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Fusarium* und *Wallemia sebi* nachweisbar. (Beispiele Bild 4.1. u. 4.2.)

Bild 4.1. u. 4.2.: *Penicillium*-Arten für grünliche und *Fusarium roseum* für die rötlichen Flecken. Links hinter einer Holzverkleidung (Wärmebrücke und fehlende Hinterlüftung) und rechts auf einer Tapete nach einem Wasserleitungsschaden im Raum und fehlende Lüftung. Diese rötlichen Flecken wurden auch schon mit dem Vorhandensein vom Echten Hausschwamm (*Serpula lacrimans*) vorgefunden. So wurde statt einer Schwammsanierung eine Schimmelpilzbekämpfung (irgendwelche Gifte) durchgeführt.



Küchen: In Kühlschränken, an Brotschneidemaschinen, auf verschimmeltem Brot sowie über Mülleimer ist *Penicillium roqueforti* zu finden. Rosa, Rosaroter oder Roter Brotschimmel ist die Bezeichnung für *Neurospora sitophila*, die mitunter auch für andere Arten (*Neurospora crassa*, *Neurospora tetrasperma*) benutzt wird und auf die Myzelfarbe und das oft besiedelte Brot Bezug nimmt (Brotpilz, Bäckereipilz). [1] (Weitere Ausführungen zu Lebensmittel in den anderen Punkten.)

Toiletten und Bäder: Bei Temperaturen über 24 °C können in der Raumluft über den Vorlegern vor Toilettenschüsseln *Aspergillus flavus* und *Aspergillus parasiticus* auftreten.

Wohnzimmer: Das Klopfen der Bodenbeläge führt zu einer starken Erhöhung der Keimzahlen. So wurden in Belgien in 130 Wohnzimmern überwiegend *Aspergillus vericolor* und *Cladosporium sphaerospermum* gefunden.

Schlafzimmer: Der Matratzenstaub enthält ziemlich einheitlich zusammengesetzte xerophile (Trockenheit liebend) Schimmelpilzflora: es überwiegen Eurotium (*Aspergillus repens* und

Aspergillus penicilloides). In der Schlafzimmerluft tritt die höchste Keimzahl im November und Dezember bedingt durch die Heizung auf. Der Matratzenstaub erreicht das Maximum im Juli. Dies beruht auf der erhöhten relativen Luftfeuchtigkeit (70-80%). Ebenso führt das Bettenmachen stets zu einem deutlichen Anstieg der Sporenzahl in der Luft.

Schwimmbäder und Saunen: Die Schimmelpilze sind gleichmäßig auf Umkleidekabinen, Schwimmbereich, Dusche und WCs verteilt. Die Fußböden sind am stärksten befallen. Im Marburg wurden besonders häufig die Vertreter der Dematiaceae (*Fungi imperfecti* mit dunklen Sporen und/oder Hymen) festgestellt.

Schulräume: Studien an US-amerikanischen Schulen ergaben Luftkeimgehalte im Bereich 100-15.000 Sporen/m³. Dabei waren am häufigsten die Vertreter der Gattung *Cladosporium* anwesend.

Krankenhäuser: Sporen der Außenluft gelangen regelmäßig in Krankenhäuser und können dort zu einem ausgeprägten Schimmelwachstum führen. (So fand man in einem Behandlungsraum in den USA thermotolerante Penicillin.)

Biotonnen sind Innenräume besonderer Art, die vor den keimhemmenden UV-Strahlen geschützt sind. Beim Umgang mit Biomüll gelangen zwangsläufig Schimmelsporen in die umgebende Luft und von dort aus durch Einatmen auch in den menschlichen Körper. So kann *Aspergillus fumigatus* für Menschen mit verminderter Immunabwehr als Folge einer chronischen Grunderkrankung sehr gefährlich werden und zur tödlich verlaufenden invasiven Aspergillose führen. Daher sollten abwehrgeschwächte Personen den Umgang und den Kontakt mit Bioabfall meiden. Kleine portionsweise Verpackung in Zeitungspapier sowie eine Reinigung der Tonne mit Essigwasser und das Aufstellen in einem schattigen Ort verringern deutlich den Sporenanteil. Die Leerung sollte 1 Woche nicht überschreiten. [20]

Jeder kennt verschimmeltes Brot und weiß, wie schnell dieses gerade im Sommer und vor allem an schwülwarmen Tagen verschimmeln kann. Lebensmittel und gerade Teigwaren stellen geradezu eine optimale Nahrungsgrundlage dar. Daher werden Rezepturen zugegeben, die eine gewisse Haltbarkeit ermöglichen. Ich musste jetzt zweimal feststellen, dass die Brötchen und das Brot bereits nach 4 bzw. 5 Tagen verschimmelt waren.³ Während dieser Zeit lag die Temperatur in der Küche zw. 23 bis 25 °C und die rel. Luftfeuchte lag zwischen 40 bis 63%. Die Luftfeuchte im Gebäude lag weit unterhalb der Wachstumsgrenze, wie sie im Isoplethensystem im Bild 2.1. oder 2.2. dargestellt wird, wo eine Schimmelpilzbildung (theoretisch) erfolgen kann. Liegen bestimmte optimale Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen vor, so wachsen diese auch bei einer relativen Luftfeuchte < 70%. Die Ursache dürfte darin begründbar sein, dass nicht alle Einflussfaktoren und ihre gegenseitigen Wechselbeziehungen hinreichend bekannt sind. Wenn bestimmte Grenzbereiche bereits erreicht wurden, so kann z. B. der zusätzliche kleine Blumentopf den optisch sichtbaren Schimmelbefall bewirken. Die Ursache ist nun nicht der kleine Blumentopf, sondern die Summe aus den vielen einzelnen Einflussfaktoren.

Das ist eigentlich der Grund, warum in 9 von 10 gleichen Wohnungen kein Schimmelpilzbefall sichtbar ist. Auch wenn in der zehnten Wohnung 1 m² Wandfläche verschimmelt ist, kann insgesamt die Konzentration der Pilzsporen geringer sein, als in den übrigen 9 Wohnungen, wo optisch nichts sichtbar ist.

Das Argument, wenn sichtbar Schimmelpilze in der Wohnung vorhanden sind, „es wird zu wenig oder falsch gelüftet“, sollte wirklich nur unter Vorbehalt verwendet werden.

Es gibt natürlich auch Ausnahmen, wo man annehmen kann, der Lebensinhalt des Nutzers besteht geradezu darin, große Mengen an Mikroorganismen in der Wohnung zu züchten.

5. Pilze als Erreger von Krankheiten bei Menschen und Tiere

5.1. Gesundheitliche Auswirkungen

Krankheiten, hervorgerufen durch Pilze, sind bei den Pflanzen gänzlich anders als bei den Menschen und höheren tierischen Organismus. Aber auch hierbei ergeben sich dennoch manche Übereinstimmungen, welcher durch die parasitäre heterotrophe Ernährungsweise hervorgerufen wird.

Je nach Art des Schadenbildes kann unterschieden werden:

Mykose

Mykotoxikose

Mycetismus

Allergose

Im feuchten (unter Umständen) mit Schimmelpilz befallenen Gebäude werden Sick-building-Symptomaten wie Ausschläge, Juckreiz, Nasenbluten, Husten und Kopfschmerzen [2] ebenso werden Magen-Darm-Probleme und ZNS-Symptomaten (Schwindel, Übelkeit, Konzentrationsschwächen, Müdigkeit) geschildert.

Die gesundheitlichen Auswirkungen werden hier kurz zusammengefasst und in den Nachfolgebunkten ausführlicher erläutert.

- Allergene Wirkung

Der Dosis-Wirkungszusammenhang ist in diesem Fall sehr komplex. Er hängt u. a. von der individuellen Prädisposition (empfindlich für eine Krankheit) sowie vom allergenen Potenzial der Schimmelpilzsporen ab. Bei Sensibilisierungen richtet sich das Auftreten allergischer Reaktionen nach dem Grad der Sensibilisierung, der Membranfunktion von Haut und Schleimhäuten und der Allergendosis pro Fläche. Ca. 5% der Bevölkerung der BRD sind sensibel gegen Schimmelpilze.

- Toxische Wirkung

Die Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen (z.B. Mykotoxine), sowie die Zellwandbestandteile (Glukane) wirken toxisch. Als immuntoxische Wirkung ist auch die Freisetzung von Interleukinen und sonstigen Entzündungsmediatoren in Haut und Schleimhäuten bei Schimmelpilzeinwirkungen zu sehen. Ausgelöst durch Innenraumbelastungen ist allerdings kaum mit einer solchen Wirkung zu rechnen.

- Infektiöse Wirkung

Die infektiöse Wirkung spielt vor allem bei immungeschwächten Menschen eine Rolle. Ausgelöst durch Innenraumbelastungen ist allerdings kaum mit einer solchen Wirkung zu rechnen. [23]

- Geruchsbelästigung

Sie beeinflusst beträchtlich die Lebensqualität. Sie kann aber auch von Bakterien oder durch Baustoffe (Lösungsmittel) verursacht werden.

In der Anlage 6 werden die klinisch relevanten Schimmelpilze und die verursachten Erkrankungen zusammengefasst.

Auch wenn sich in den letzten Jahren typische Beschwerdebilder herauskristallisiert haben, sind die Kenntnisse über die genaue Pathogenese von Wirkungen der Schimmelpilze auf den Menschen zurzeit noch lückenhaft, sodass wissenschaftlich abgesicherte Aussagen hierzu nur sehr eingeschränkt möglich sind. Der Zusammenhang von Dosis und Wirkung zwischen Messungen von lebenden Pilzen in der Raumluft und gesundheitlichen Beschwerden ist nur sehr schwer nachzuweisen, da auch abgestorbene Schimmelpilze und von ihnen freigesetzte Stoffe Wirkungen haben. [24]

Es gibt aber auch eine Vielzahl von Schimmelpilzen, die bewusst genutzt werden. So führte die Entdeckung von dem schottischen Mikrobiologen Alexander Flemming 1928 zu den Antibiotika Penizillin, welches durch *Penicillium notatum* und *Penicillium chrysogenum* produziert wird. Bei der Lebensmittelproduktion wird das auffällige Flavour mehrerer Käse, wie Roquefort, dänisch blau, Camembert, und Brie durch den Reifeprozess in Anwesenheit von Schimmelpilzen (Edelschimmel), wie der Gattung *Penicillium*, erzielt. Zu nennen sind auch die Hefepilze, die zur Alkoholerzeugung genutzt werden, z. B. die Weinhefe (*Saccharomyces ellipsoideus*) und die Bierhefe (*Saccharomyces cerevisiae*). Weinhefe führt die im Most enthaltene Glucose in Alkohol über, während die Bierhefe auf die Vergärung der Maltose spezialisiert ist. [25], [26] Auch im Sauerteig oder Brotteig verwandelt zugesetzte Hefepilze den Zucker in Alkohol, der während des Backprozesses verdampft und die Kohlendioxidbläschen den Teig auflockern. An der Umwandlung frischer Milch in gegorene Milch, vor allem in der Form von Joghurt, sind maßgeblich Hefepilze beteiligt. Der Pilz, unter dem Namen Mutterkorn bekannt, ist ein Parasit auf Getreide, speziell auf Roggen, der eine sehr schwere Erkrankung (Kriebelkrankheit auch Ergotismus) hervorruft. Die krampferzeugende Wirkung beruht in erster Linie auf dem Alkaloid Ergototin. Es findet Anwendung in der Frauenheilkunde und Geburtshilfe. Das Mutterkorn gehört zu den ältesten Heilpflanzen, das bereits chinesischen Ärzte der Frühzeit kannten. [26]

Bild 5.1.1.: Mutterkorn, ein Parasit auf Getreide [27]



5.2. Vorkommen auf der menschlichen Haut

Auf der gesunden Haut, auf Schleimhäuten und in den Organsystemen befinden sich stets ubiquitäre (überall vorkommend) Vertreter der Gattung *Aspergillus*, *Penicillium* und der Familie der Mucoraceen (*Absidia*, *Mucor*, *Rhizopus*) ohne pathogen zu sein. Wird jedoch die Immunabwehr infolge von Infektionen oder chronischen Erkrankungen vermindert, so können sich diese Pilze bevorzugt im Bronchopneumonalsystem ausbreiten und Mykosen (direkter Kontakt mit Pilzen entstehend) hervorrufen.

Neben den o. g. Erkrankungsformen ist auch eine Vielzahl von Vergiftungserkrankungen bekannt, die durch Giftstoffe (**Mykotoxine**) hervorgerufen werden, die gewisse Schimmelpilze in ihrem Stoffwechsel produzieren. Diese Krankheitsform fasst man unter dem Begriff Mykotoxikosen zusammen.

Eine besondere ökologische Nische für Schimmelpilze sind die Fingernägel. In einer indischen Studie wird aufgeführt, dass im Fingernagelschmutz 61 Stämme von *Aspergillus flavus* isoliert wurden. Ein großer Teil von ihnen produziert Aflatoxine B1⁴ und B2 (lebensschädigend und krebserregend) [Zu den Aflatoxikosen gehören, primärer Leberkrebs, andere Krebsformen, Hepatitis, Reye-Syndrom und Knashiorkor]. [20] Aflatoxine kommen auch bei Hasel- und Paranüssen vor, die häufig befallen sind. Den Nüssen kann man es nicht ansehen und sollte daher bitter schmeckende Kerne ausspucken. Kinder sollten daher wenig Paranüsse essen. Auf den Verzehr von Pistazien aus dem Iran sollte man ganz verzichten (Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz). [28]

5.1.: Schimmelbefall einer Nuss [29]



5.3. Mykosen

5.3.1. Einleitende Bemerkungen

In geschlossenen Räumen werden fakultativ-pathogene Schimmelpilze überwiegend durch die Luft verbreitet. Diese Pilze können über drei Wege in den menschlichen Körper gelangen:

Akzidentelle Exposition: Aufnahme von pilzlichem Material infolge bautechnischer Mängel (Belüftung mit sporenhaltiger Luft [Lüftungsanlagen], Feuchtigkeit in Wohnräumen) sowie über Lebensmittel, Müll und Schmutz.

Unauffällige konstante Exposition: Diese geht aus von bestimmten Elementen der häuslichen Umwelt, wie von Zimmerpflanzenerde oder Futter für Haustiere. Auch der Mülleimer oder falsch gelagerte Lebensmittel sollen hier genannt werden.

Berufliche Exposition: Ein Einatmen von Konidien und Sporen ist in Bereichen gegeben, wo viel Staub vorliegt. Getreide, Heu, Stroh, Verarbeitung von Nüssen, Leder und Holz, Ölmühlen, Restaurierung von Archivalien, u. a.)

Das Problem Mykotoxine besteht darin, dass diese Moleküle bemerkenswert stabil sind. Sie überstehen hohe Temperaturen und gewisse industrielle Verfahren. Kochen bietet keinerlei Schutz. Auch wenn der betreffende Pilz abgetötet wurde, kann das Gift noch vorhanden sein. Vorbeugende Maßnahmen können nur über die gesamte Lebensmittelkette, also auch auf den vorgelagerten Stufen, ausgehen. Es werden auch andere Wege der Vorbeugung geprüft. So wirken gewisse antioxydierende Substanzen, insbesondere die essenziellen Öle, die Bildung von Mykotoxinen entgegen. Es wird auch die „biologische Bekämpfung“ untersucht, wo man Kulturen bewusst zugibt, die eine spätere Einnistung eines gefährlichen Konkurrenten verhindern könnte und so die Toxinmenge um 60 bis 70% senkt. Mehr leisten auch die chemischen Fungizide nicht. [29] Wissenschaftler der Universität Bonn und des International Institute of Tropical Agriculture in Ibadan (IITA), Nigeria, wollen den hochgiftigen Schimmelpilz *Aspergillus flavus* durch "impfen" der Felder mit einer Aspergillus-Variante bekämpfen, die kein Toxin produzieren kann. Unterstützt werden sie dabei von Forschern aus dem US-Bundesstaat Arizona, die mit dieser Methode die Toxin-Belastung von Baumwolle bereits um 98 Prozent reduzieren konnten. [149]

Natürlich ist auch am Ende der Lebensmittelkette, also im Haushalt, ein entsprechender Umgang erforderlich, wie Lagerung, Haltbarkeitsdatum usw. Die Berichterstattung zur Lebensmittelüberwachung 2003 nennt 415.903 untersuchte Proben, hiervon entfallen 386.044 Proben auf Lebensmittel, wovon 16,3 % mikrobiologische verunreinigt waren. [30]

5.3.2. Aspergillosen

Einige Aspergillus-Arten besiedeln vor allem das bronchopulmonale Organsystem und können dort Pilzkolonien bilden. Im Extremfall können klumpenförmige Mycelansammlungen, Aspergillome, entstehen.

Befallene Körperteile sind vor allem die Lunge, aber auch Zentralnervensystem, das Herz, die Leber, die Nieren und der Verdauungstrakt. Über 90% der Aspergillosen sind auf *Aspergillus fumigatus* zurückzuführen. Er hat mit Abstand die stärksten pathogenen Potenzen, die vermutlich auf die Ausschüttung von Proteinasen und Ribonukleotoxin beruht. Sein Wachstumsoptimum liegt bei 37 bis 43°C. Häufig ist der Pilz in Substanzen zu finden, in denen es zu einer Selbsterhitzung kommen kann, wie Heu, Kompost, Torf, Blumenerde und Müll. Das betrifft auch die Topferde von Zimmerpflanzen besonders die über einem Heizkörper.

Aspergillus niger scheint seltener an der Entstehung von Aspergillose beteiligt zu sein. [20] Dieser Pilz findet z. B. bei der technischen Zitronensäureherstellung Anwendung. [31]

Bild 5.3.1. : Bereits nach einer Woche ist ein Prüfkörper mit schwarzem Pilzrasen vom *Aspergillus niger* überzogen [32]

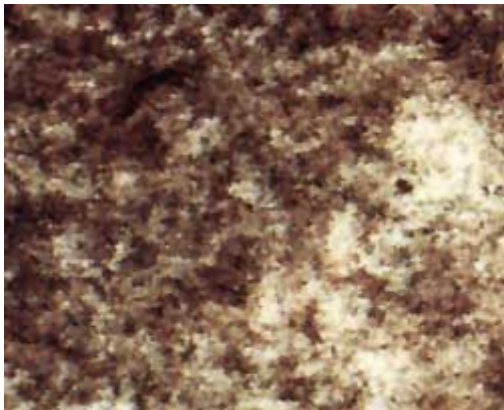


Bild 5.3.2. : Der Fruchtkörper als filziger, flächiger Belag [32]



5.3.3. Penicilliosen und Phykomykosen

Penicillium-Arten treten selten als Krankheitserreger auf. Einige Schimmelpilzarten der Familie der Mucoraceen können bei dem Menschen insbesondere die Blutgefäße der Lunge, Rachen oder Magen-Darm-Trakt befallen.

5.4. Mykogene Allergien

5.4.1. Allgemeines zur Allergie

Ca. 20% aller Menschen sind empfindlich gegenüber Allergenen. Die wichtigste Infektionsquelle ist die Innenraumluft mit dem Hausstaub. Daneben können auch Pilzkolonien auch an feuchten Wänden, Tapeten, Textilien, Polstermöbeln, Matratzen und Klimaanlage allergieauslösende Sporen in die Luft abgeben. Niemand kann sich vor einem Kontakt mit allergenen Schimmelsporen schützen.

Besteht eine Schimmelpilzallergie, so wird empfohlen (Kersten 1985):

- bei starkem Sporenflug kein Aufenthalt im Freien,
- keine Ernte-, Garten- und sonstige landwirtschaftliche Arbeiten,

- Beachtung spezieller Hygienemaßnahmen bei der Zubereitung von Nahrungsmitteln.

Allergene sind nicht nur an den Schimmelpilz oder seine Sporen gebunden, sondern werden auch an den umgebenden Staub abgegeben. Schimmelpilze, die zahlreiche Sporen an die Raumluft abgeben oder in hohen Konzentrationen in der Umwelt auftreten, wie z. B. die phytopathogenen (pflanzenfressend) Pilze im Sommer, verursachen häufiger Allergien. [4] Für Allergien können aber auch Fein- bis Ultrastäube verantwortlich sein.

5.4.2. Asthma bronchiale

Etwa 10% der allergischen Asthmatiker sind gegen Schimmelpilz sensibilisiert. Im Frühjahr und Sommer ist die Sporenkonzentration am größten, daher sind gerade in dieser Zeit die meisten Asthmaanfälle.

5.4.3. Allergische Alveolitis

betrifft in allgemeinen die mittleren und oberen Atemorgane sowie das Lungenparenchym und ist durch periodische Schübe von Frösteln, Fieber, Husten und Kurzatmigkeit gekennzeichnet. Hierzu gehören die Käsewäscher-Krankheit, Paprikaspalter-Lunge und die Farmerlunge.

5.4.4. Allergische bronchopulmonale Aspergillose

wird durch *Aspergillus fumigatus* ausgelöst. Nach Inhalation von Aspergillus-Conidien (Umgang mit verschimmeltem Heu, Arbeit im Bergwerkstollen, wo das Grubenholz stark mit Pilzen befallen ist oder mit Aspergillus besiedelte Zimmerpflanzen im Krankenzimmer) kommt es gelegentlich zur intrabronchialen Pilzbesiedlung und damit zur allergischen bronchopulmonale Aspergillose. [33]

5.4.5. Organisches Staubsynodrom

entsteht nach Inhalieren hoher Konzentrationen von organischen Substanzen z.B. Heu oder Silage etwa nach 4-5 Stunden und wird durch Kopf- und Muskelschmerzen, Unwohlsein, Fieber und Leukocytose gekennzeichnet.

5.4.6. Andere Formen

sind vorwiegend berufsbedingt, wie die Malzarbeiter-Krankheit, Bäcker-Asthma, Saunabesucherlunge, Getreidefieber und Holzarbeiter-Erkrankung.

5.5. Mykotoxikosen

Gefährliche Mykotoxine können durch bestimmte Pilze auf Getreide gebildet werden. Diese Toxine sind gegenüber einem Kochprozess und auch gegenüber Magensäure widerstandsfähig. So nimmt eine sehr große Zahl von Menschen ihr ganzes Leben lang diese Giftstoffe auf. Dieses Problem ist nicht erst neu, sondern es scheint bereits vor Jahrtausenden aktuell gewesen zu sein. Im 3. Buch Moses (vor ca. 2200 Jahren geschrieben) (14. Kapitel,

Vers 35-48) wird beschrieben, wie bei Anwesenheit von grünen oder rötlichen Grüblein an der Hauswand vorzugehen ist. Wahrscheinlich handelt es sich hier um Schimmelpilzkulturen

an der feuchten Wand. *Penicillium*-Arten für grünliche und *Fusarium roseum* für die rötlichen Flecken. Schoental (1984) nimmt an, dass die zehnte Plage im alten Ägypten zur Zeit Moses- der Tod aller Erstgeborenen (2. Moses 11. Kapitel, Vers 5) - auf den Verzehr von verschimmelten Lebensmitteln zurückzuführen ist, die durch die Plagen (Regen, Hagel, Finsternis) verdorben worden waren. Gerade die Erstgeborenen Kinder erhielten die meiste Nahrung und waren damit einem erhöhten Mykotoxin-Risiko ausgesetzt. Auch unter besonders trockenen Bedingungen können Getreidekörner durch bestimmte Spezies von *Aspergillus*, *Penicillium* und *Eurotium* befallen werden. [25]

Eine Reihe von Mykotoxine ist in der Lage, die angeborene und erworbene Widerstandskraft gegen Infektionskrankheitserreger herabzusetzen. Dies ist gekennzeichnet durch verminderte Aktivität der T- und B-Lymphozyten sowie durch unterdrückte Bildung von Immunglobulinen und Antikörper. [20]

Bisher konnten Mykotoxine nicht mit standardisierten Verfahren in der Luft nachgewiesen werden. Es gibt nur wenige Untersuchungen zur Wirkung luftgetragener Mykotoxine auf den Menschen, [34] damit kann keine Aussage zur Bedeutung in der Innenraumluft getroffen werden. Zur Entdeckung einer Verseuchung, z. B. für die Lebensmittelhersteller oder Gesundheitsbehörden hat das Mycotoxin Prevention Cluster verschiedene spezifische Instrumententypen entwickelt: DNS-Arrays, PCR in Echtzeit, Elisa-Test, lateral flow devices usw. Einige dieser Techniken reagieren höchst sensibel auf Konzentrationen von 0,02 ppm (parts per million). Andere weniger genauere Schnelltest sind kostengünstiger und für den Einsatz am Ort vorgesehen. Bisher sind nur wenige Personen und Labors fähig entsprechende Kontrollen durchzuführen. [29]

5.6. Mycetismus

Ist ebenfalls eine Vergiftung durch Pilze. Hier werden Pilztoxine nicht unbewusst aufgenommen, wenn sich in der Pilzmahlzeit giftige Fruchtkörper befinden. In Mitteleuropa sind ca. 20 Arten infolge ihres Giftgehaltes als besonders gefährlich anzusehen. Der gefährlichste Giftpilz unserer Wälder ist der Grüne Knollenblätterpilz, *Amanita phalloides*. Ebenso tödlich giftig ist der Weiße Knollenblätterpilz, *Amanita verna*.

5.7. Allergose

Einige Pilze enthalten Substanzen, die im menschlichen und tierischen Körper eine Sensibilisierung mit dem Erscheinungsbild einer Allergie hervorrufen. Auf den Unterschied zur tiefen Mykose soll hier nicht eingegangen werden. Als Allergene können aber auch inhalierte Sporen kultivierter *Plenrotus ostreatus* (Austernseitlinge) oder des holzerstörenden *Serpula lacrimans* (Echter Hausschwamm) sein und zu Erkrankung der oberen Luftwege führen. [9]

Bild 5.7.: Fruchtkörper und Sporen vom Echten Hausschwamm [35]



5.8. Toxine

Toxine ist die Bezeichnung für alle Stoffwechselprodukte von Bakterien, Tieren oder Pflanzen, die eine starke Giftwirkung auf den Organismus von Säugetieren und besonders den des Menschen ausüben. Die größte Gefahr geht über die Nahrungsaufnahme aus. Bei stark belasteten Räumen erfolgt die Aufnahme über die Atmung oder auch in Einzelfällen durch den Kontakt. In der Anlage 2 sind ausgewählte Toxine von Schimmelpilzen aufgeführt.

Schimmelpilze können ebenso wie Zerfallsprodukte aus ihrer Zellwand (Glukane) auf Haut und Schleimhäute durch Freisetzung von Entzündungsmediatoren aus Epithelzellen und Makrophagen toxische Wirkung haben. [36] Gerade im Bereich der toxischen Effekte bewegt man sich noch in einer wissenschaftlichen Grauzone. Die genauen Ursachen der toxischen - irritativen Wirkung sind im Einzelnen nicht bekannt. Möglicherweise handelt es sich um additive Wirkungen einer Vielzahl von Einzelkomponenten. [34]

5.9. Besonders gefährdete Personengruppe

- Es sind bevorzugt Personen betroffen, die einer erhöhte Allergieneigung, häufig auf Basis einer familiären Disposition, unterliegen. Menschen mit schon manifestiertem Asthma oder Heuschnupfen sind auch hinsichtlich Schimmelpilzallergien stärker gefährdet.
- Bei Typ III-Allergien⁵ sind Risikofaktoren weniger bekannt. Untersuchungen weisen darauf hin, dass sie bei Nichtrauchern häufiger auftreten als bei Rauchern.
- Menschen mit massiver lokaler oder allgemeiner Abwehrschwäche sind gegenüber Infektionen stärker gefährdet.
- Gerüche können zur erheblichen Belästigung führen, ohne dass eine konkrete Gefährdung vorliegt. [37]

Wegen der adversen Effekte von Schimmelpilzen sollte eine Minimierung der Exposition angestrebt werden. Besonders wichtig ist dies bei Personen mit bestehender

Schimmelpilzkrankung und bei Risikogruppen. Auch aus Vorsorgegründen ist die Exposition im Wohn- und Arbeitsbereich niedrig zu halten.

5.10. Problematische Schimmelpilze

- In Bezug von Allergien sind besonders Schimmelpilze mit ausgeprägter Sporenbildung problematisch. Es ist zu beachten, dass auch Allergene an den Staub abgegeben und bei Zerfall der Schimmelpilze frei werden.
- Beim Auftreten von Infektionen ist die Bedeutung des *Aspergillus fumigatus* als wichtigster Mykoseerreger am größten. Weiterhin gehören noch die eingestuften Schimmelpilze der Risikogruppe 2 und 3 nach TRBA 460 (Anlage 6) dazu.
- Mykotoxinbildner sollten als problematisch angesehen werden. Allerdings werden nicht immer Mykotoxine gebildet und meist sind hohe Keimzahlen erforderlich. Ausgenommen bei *Stachybotrys chartarum* können bereits bei geringen Sporenbelastungen in der Raumluft Toxinwirkungen (Satratoxin) auftreten. Diese sind daher als problematisch einzustufen.
- Für *Stachybotrys chartarum* (Satratoxin) sowie *Aspergillus fumigatus* (Fumagillin, Fumigatin u. a.), *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* und *Aspergillus nomius* (Aflatoxin B1, B2, G1, Asperfuran u. a.) können nur deutlich geringe Expositionen toleriert werden. [37], [38]

6. Schimmelpilze als Materialzerstörer

6.1. Schimmelpilze im Ökosystem

Schimmelpilze haben im Kreislauf der Ökosysteme eine bedeutende Rolle. Ihr natürliches generelles Vorkommen in Wald- und Ackerböden lässt die Universalität ihrer Fähigkeiten erahnen, jede von Pflanzen und Tieren gebildete Substanz abzubauen und so ihre Bestandteile dem Kreislauf des Ökosystems wieder zuzuführen. Vom Standpunkt des Menschen werden zwei Richtungen vertreten:

Biodegradation - der gewünschte Abbau z. B. Kompostieren, Erzeugung von bestimmten Gütern,

Biodeterioration - die unerwünschte Veränderung der Eigenschaft eines Materials, sodass das Aussehen verändert oder eine Nutzung nicht mehr möglich ist.

6.2. Materialzerstörung

Bei einer chemischen Veränderung bis hin zum Abbau benutzt der Pilz das Material als Nährsubstrat. So kann z. B. Zellulose über die Cellobiose durch Endo- und Exo-1,4 b-Glucanasen und schließlich b-Glucosidase bis zur Glucose gespalten werden (Hemicellulosen durch entsprechende Enzyme zu Pentosen, Hexosen und Uronsäuren). Ebenso kann der Handelswert eines Produktes herabgesetzt werden, in dem Ausscheidungsprodukte das Aussehen verändern und als Verfärbungen des Holzes, Papier, in Textilien, Anstriche u. a. zu erkennen ist. Die physikalische Art wird dadurch gekennzeichnet, dass sich z. B. dichtes Pilzgeflecht im Werkmaterial ausbreitet und in Elektrogeräten die Isolierung überbrückt und so Kurzschluss verursacht.

Eine ganze Reihe von Schimmelpilzen der Gattung *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Myrothecium*, *Aureobasidium*, *Trichoderma* u. a. vermögen Zellulose in Pflanzenfasern jeder Art abzubauen. So wird auch Holz direkt angegriffen, allerdings nicht die Ligninkomponente.

6.3. Holz - Moderfäule und Holz verfärbende Pilze

Die auffällige Verfärbung (Vergrauung) und Verlust an Gewicht sowie Festigkeit von bis 98% zeigen die Tätigkeit von Ascomyceten und *Fungi imperfecti* an. Dabei wird lediglich die Oberfläche, nicht tiefer als 1 mm, geschädigt. In Risse kann sich Regenwasser ansammeln und z. B. sich unter Farbschichten oder Lack ausbreiten und so die Gefahr bzw. Ausbreitung der Schimmelpilze begünstigen. Das so vorgeschädigte Holz begünstigt einen Befall durch holzerstörende Pilze (Basidiomyceten). Auch die Spanplatten werden je Klassifizierung nach entsprechender Feuchtigkeitseinwirkung befallen. (Die unlängst zu lesende Behauptung eines Baustoffmarktes, dass V 100 Spanverlegeplatten in Feuchträume einsetzbar sind, kann nur als falsch eingestuft werden.) Sie dürfen maximal mit einer Holzfeuchte von $u = 18\%$ belastet werden. Für Holzfasernplatten beträgt der Höchstwert max. $u = 12\%$. [39] Auch frisch mit, z. B. fluoridhaltiges, Holzschutzmittel imprägniertes Bauholz (Bild 6.3.1.) sowie durchfeuchtetes Holz (Bild 6.3.2.) wird an der Oberfläche durch Schimmelpilze befallen, wenn diese unsachgemäß oder unter Luftabschluss (Folie) gelagert bzw. verbaut werden. Die Holzfeuchte liegt oberhalb der Fasersättigung und das Optimum liegt bei einem pH-Wert von 4,5-6,5. Das Holz verfärbt sich grau-bläulich oder schwarz. Das Myzel ist meist grün bis blaugrün (z. B. von *Penicillium spp.* oder *Trichoderma viride*) oder schwarz (*Aspergillus niger*). [40]

Bild 6.3.1.: Schimmelpilzmyzel an einem frischen Sparren mit Holzschutzmittel und *Trichoderma viride* [41]

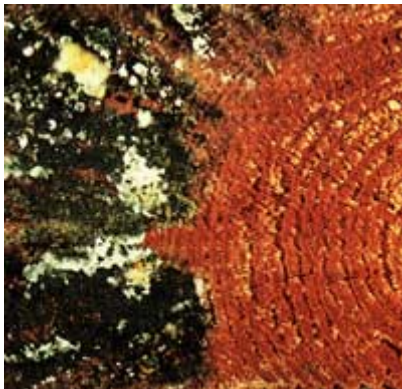


Bild 6.3.2.: Durchfeuchtete Dachlatte vor dem Einbau (u. a. mit verschiedenen Schimmelpilzarten bewachsen) [41]



Ein Schimmelpilzwachstum auf Holz ist nur sehr schwer zu sanieren und das Holz muss meist entsorgt werden. [42] Eine Bekämpfung erfolgt durch eine Austrocknung. [40] Da der Befall in der Regel nicht tiefer als 0,5 mm reicht, kann dieser durch Abschleifen der Oberfläche beseitigt werden. Da auch totes Pilzmaterial (Sporen und Myzel) zur gesundheitlichen Gefährdung führen, ist eine Atemschutzmaske zu tragen und eine Staubverteilung zu vermeiden. Im Bild 6.3.3. ist der komplette Fehlboden einer Holzbalkendecke nach einem Wasserleitungsschaden intensiv vorwiegend durch *Penicillium spp.* oder *Trichoderma viride* befallen. Bei der Sanierung wurden die Schüttung und alle Holzteile (Fehlbodenbretter, Leisten und Dielung) bis auf die gesäuberten Deckenbalken ausgebaut und entsorgt. Die verbliebenen Holzbalken wurden vorbeugend mit einem amtlich zugelassenen pilzwidrigen Holzschutzmittel vom DIBt⁶ imprägniert.

Bild 6.3.3.: Starker grüner Schimmelpilzbefall an einer Sparschalung im Fehlboden einer Holzbalkendecke nach einem Leitungswasserschaden



Holzwerkstoffe, wie Flachpressplatten oder Holzfaserplatten sind poröse Baustoffe. Hier erfolgt ein Bewuchs nicht nur an der Oberfläche, daher ist in dem meisten Fällen ein Austausch erforderlich. (Weitere Ausführungen im Punkt 8.5.). Im Bild 6.3.4. wird ein Holzfußboden neben einem Bad gezeigt. Durch einen Wasserleitungsschaden in einer unbewohnten Wohnung konnte Wasser zwischen dem dicht schließenden Fußbodenbelag (PVC o. ä.) und der Spanverlegeplatten und Dielung gelangen. Unter dem Belag konnte sich sehr vieles schwarzes Schimmelpilzmyzel bilden. Daneben wuchs auch der Echte Hausschwamm, der den Würfelbruch der Dielung und die vollständige Zersetzung der Spanplatte verursachte. Zusätzlich wirkte hier auch die Feuchtigkeit aus dem Kellergewölbe, welche durch den dicht schließenden Belag nicht nach oben entweichen konnte.

Bild 6.3.4.: Zerstörung einer Spanverlegeplatte und Dielung durch den Echten Hausschwamm und Schimmelpilze.

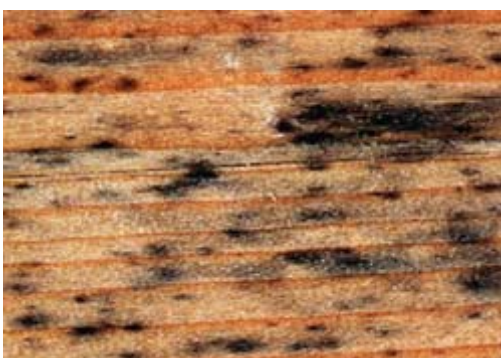


Ähnliche Schimmelpilz-Probleme werden in einem Fallbeispiel eines eingeschossigen Stahl-Glas-Gebäudes (Autohaus) beschrieben, wo Bodenfeuchtigkeit wegen mangelhafter dampfdichter horizontaler Sperrung in den Fußbodenaufbau (Spanverlegeplatte, Verbundplatte mit Spanplatte und Fermacell-Dämmung sowie Parkett) gelangen konnte. Zusätzlich wirkten auch noch Wärmebrücken mit Tauwasserbildung an den Stahlträgern. Die Spanverlegeplatten waren vollständig durchfeuchtet und konnten nicht mehr verwendet werden. [143]

Einer der gefährlichsten Parasiten ist *Graphium ulmi*, der das Ulmensterben verursacht und im Splint des heimischen Laubholzbaums lebt. Diese wird nach und nach vollständig zerstört. Er wird durch den Ulmsplintholzkäfer der Gattung *Scolytus* übertragen und entwickelt sich in den ausgedehnten Fraßgängen. *Ceratocystis piceae* siedelt sich auf gefällten Nadelbäumen an und färbt deren Holz graugrün. [8]

Eine der bekanntesten optischen Schäden an Holzteilen, wie Fensterrahmen, Türen, Balkone usw. ist die Bläue. Im Bild 6.3.5. wird die punktuelle Verfärbung an der Oberfläche eines mit Lasur behandelten Brettschichtträgers durch *Aureobasidium pullulans* [43] gezeigt. Diese Pilze stellen keine gesundheitliche Gefährdung dar. Sie leben im Inneren der Holzzellen und verbautes Holz kann daher bedenkenlos verwertet werden.

Bild 6.3.5.: Holz verfärbender Bläuepilz



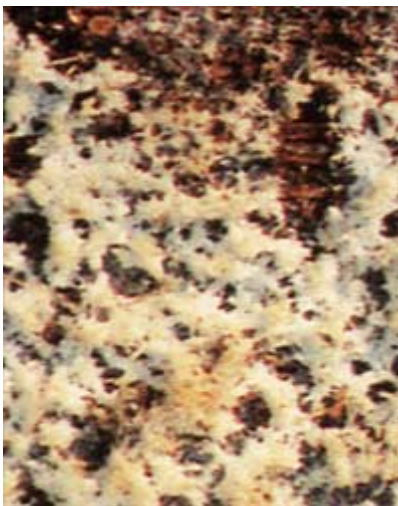
Hier soll auch noch kurz auf die Moderfäule eingegangen werden. Gegenüber den Holzerstörungen durch die Basidien (Ständerpilze) geht die Moderfäule immer von der Oberfläche aus und ist meist nur wenige Millimeter tief (Bild 6.3.6. und 6.3.7.) [44] Die Moderfäule wird durch eine hohe Feuchtigkeit an der Holzoberfläche, z. B. die Wetterschenkel am Fenster, begünstigt.

Die *Chaetomium*-Arten sind starke Zellulosezer-setzer. Einige Arten, wie die *Chaetomium globosum* und *Chaetomium cochloides* durchwachsen in verbautem oder unverbautem Holz die Sekundärwände der Holzzellen und verursachen die sogenannte Moderfäule. Auch die Gattungen *Ascotrisha* und *Lophotrichus* gehören hierzu. [45]

Bild 6.3.6.: Bräunlicher bis schwarz verfärbter sehr feiner Würfelbruch



Bild 6.3.7.: Moderfäulepilze, anfangs weißlich graues, kurzes, fast krümeliges Oberflächenmyze



Im Zuge der Fäulnisbildung am abgestorbenen Holz treten auch Bakterien in Erscheinung. Sie haben aber gegenüber den Pilzen nur eine untergeordnete Rolle.

6.4. Papier

Bei einer hohen Feuchtigkeit können Schimmelpilzschäden an verschiedenen Papierarten auftreten. Dies wird durch auffällige Verfärbung und ein modrig muffiger Geruch gekennzeichnet. Die grauschwarze Verfärbung auf Tapeten (Beispiel Bild 6.4.1.) stammen von *Alternaria*- und *Cladosporium*-Arten. Die erforderliche Luftfeuchtigkeit liegt bei über 65%. Begünstigt wird dies durch fehlerhafte Lüftung, zu dichte Papierstapel oder wenn diese in Folien gelagert werden. Ebenso abhängig ist dies von der Zusammensetzung des Papiers durch Zusätze von eiweiß- und stärkehaltigen Leimsubstanzen.

Bild 6.4.1.: Verschiedene Schimmelpilzarten an Tapeten im Wohnbereich [41]



Bild 6.4.2.: Zersetzung der Raufasertapete über den Fußboden an der Außenwand

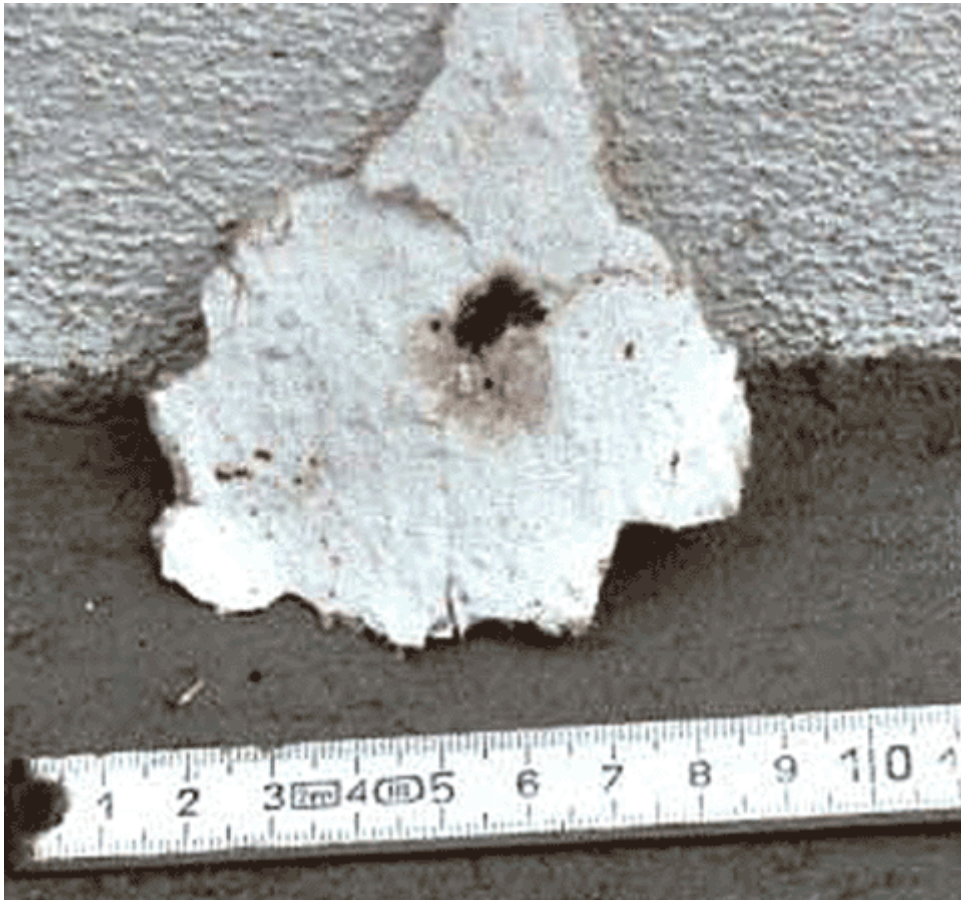


Im Bild 6.4.2. ist die Zerstörung der Tapete an der Außenwand über dem Fußboden erkennbar. Hier bildete sich Kondenswasser, was auch noch durch Baufeuchte nach der Sanierung begünstigt wurde. In dem Fall wurde der Raum im Winter durch die wärmere Raumluft eines anderen Zimmers beheizt. In der Anlage 4 ist sehr deutlich zu erkennen, wenn die Temperatur der Luft sinkt, so steigt die relative Luftfeuchte. Grundsätzlich ist jeder Raum eigenständig zu beheizen und wenn es nur zur Regulierung der Raumtemperatur dient.

Im Bild 6.4.3. wird ein Stück einer Raufasertapete gezeigt. Bei dem bräunlichen Fleck handelt es sich nicht um Schimmelpilze, sondern um einen kleinen Notfruchtkörper vom Echten Hausschwamm. Auf der Rückseite bzw. auf dem Putz ist ein Punkt, von diesem verzweigt sich deutlich sichtbar helles Myzel gleichmäßig in alle Richtung und bildet so etwa

einen Kreis. Erst bei größerem Myzel treten andere Merkmale deutlicher auf. Schimmelpilze dagegen haben nicht so ein ausgeprägtes Myzel.

Bild 6.4.3.: Notfruchtkörper von Echten Hausschwamm auf ein Stück Raufasertapete [46]



6.5. Textilien

Textilien aus Pflanzenfasern (Baumwolle, Leinfaser, Hanf, Jute usw.) unterliegen bei entsprechender Feuchtigkeit besonders unter Zusatz organischer Appreturen und Farben einer Zersetzung, welche sich in Verfärbungen und Verlust der Reißfestigkeit äußert. Hier sind dann vor allem Schäden durch *Chaetomium globosum*, *Myrothercium verrucaria*, *Stachybotrys atra* und *Trichoderma viride* gefürchtete. Schädigungen treten bei Materialien auf, die ständig Niederschlag ausgesetzt werden, wie Markisen, Taue, Seile, Kleidungsstücke, oder die in feuchtem Zustand verpackt werden, wie Zelte, Feuerwehrschräuche und Sandsäcke.

Daher werden diese Textilien antimikrobiell ausgerüstet, das sind chemische Verbindungen, die ein Pilzbewuchs verzögern bzw. verhindern.

Bodenbeläge deren Unterseite aus Jute besteht, kann von Pilzen bewachsen werden, was sich in auffälligen Verfärbungen und muffigen Geruch äußert. Es treten auch bakterielle Schädwirkungen an pflanzlichen und tierischen Fasern (Baumwolle, Flachs, Hanf, Jute, Wolle und Seide) sowie an deren Produkte auf, die als Stockflecken oder Verfärbungen sichtbar werden. Hier sind vor allem Zellulose abbauende Bakterien, die die Fasern schädigen, und Eiweißersetzer beteiligt. [19]

6.6. Wolle

Wolle besteht aus schwefelhaltigen Keratinen und kann durch Schimmelpilze, die proteolytische Enzyme ausscheiden, angegriffen werden, wenn die Materialfeuchtigkeit wenigstens 20% bis 30% beträgt, was eine Luftfeuchtigkeit von ca. 95% bedarf. Das Pilzwachstum wird zusätzlich durch Fett und Seifenreste begünstigt. Aus Wolle wurden isoliert: *Chaetomium globosum*, *Cladosporium herbarum* und *Penicillium lilacinum*.

Bestimmte Sporen von Bakterien können in der importierten Rohwolle enthalten sein, die bis zur endgültigen Verarbeitung durch viele Hände geht. Die Stäube können zu Erkrankungen, z. B. Milzbrand, führen. [19]

6.7. Leder

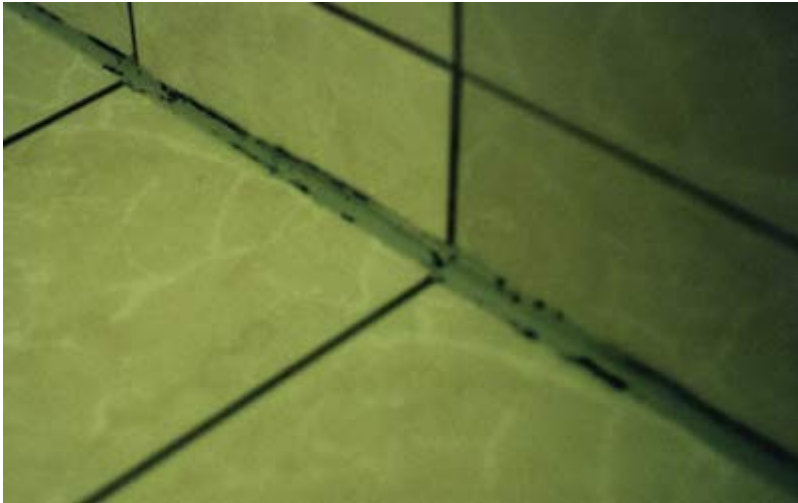
Tierische Häute werden als eiweißhaltiges Material schon während ihrer Verarbeitung zu Leder von Mikroorganismen besiedelt. Im Allgemeinen sind die unmittelbaren Schäden, die Schimmelpilze auf Leder hervorrufen, nicht gravierend. So bauen Schimmelpilze natürliche oder während der Verarbeitung aufgetragene Fette ab. Die freigesetzten Fettsäuren bilden an der Oberfläche einen feinen weißen Belag. Bei Leder ist die Verfügbarkeit des Wassers größer als z. B. bei Holz. (Siehe hier unter Punkt 7.4.3. zu a_w -Wert) Daher verschimmelt nicht jedes Material bei derselben Luftfeuchtigkeit. Auch Bakterien verursachen Verfärbungen und Stockflecken.

6.8. Kunststoffe, Natur- und Synthesegummi

Es sind nur wenige Schimmelpilzarten in der Lage diese Substanzen abzubauen. Meist ist diese Fähigkeit an den Zusatz von Weichmachern, Emulgatoren usw. in den Produkten in Verbindung mit Feuchtigkeit möglich. Von den Weichmachern sind mehrwertige Alkohole, Ester von Ricinoleinsäure, Kaurinsäure, Stearinsäure und Ölsäure sowie Derivate von Adipin- und Sebacinsäure, besonders geeignete Pilzsubstrate. Das Schimmelwachstum führt dann zu einer Verminderung der Reiß-, Zug- und Biegefestigkeit, der Elastizität und unter Umständen auch der Isolierwirkung der Kunststoffe. In Nassräumen können vollsynthetische Fußbodenbeläge (Polyamid, Polyester) durch Schimmelpilz befallen werden.

Die bei Abbau der Polyurethane mitwirkenden Enzyme sind Proteasen, Urease und Esterasen. Dabei werden folgende Schritte angenommen: Abbau verbleibender freier Isocyanatgruppen, Spaltung von Amidgruppen, Aufbrechen der Urethangruppen und Spaltung der Ringe der Isocyanatsäure-Einheiten. Ebenso tritt ein verstärkter Schimmelbefall bei Dichtstoffen (Polysulfid-, Silikon- und Polyurethan-Polymere) auf. Gerade bei Dehnfugen in Schwimmbädern zeigen schon nach wenigen Monaten dunkle Flecken, die auf eingewachsene Pilzmycelien zurückzuführen sind. Im Bild 6.8.1. wird eine Silikonfuge in einer Dusche eines Schwimmbades gezeigt. Voraussetzung für das Pilzwachstum auf Kunststoffen als Dichtungsmasse ist eine Verwertbarkeit der Polymere oder beigefügter Hilfsstoffe, wie etwa Weichmacher, als Kohlenstoffquelle. Im Allgemeinen sind Silikon-Dichtstoffe gegen Pilze und Bakterien in hohem Maße widerstandsfähig.

Bild 6.8.1.: Silikonfuge in einer Dusche. Hier kann man deutlich den Bewuchs durch Schimmelpilze erkennen



Im folgenden Beispiel, Bild 6.8.2., wird der Schimmelpilzbefall einer Acrylfuge zwischen Kunststofffenster und Fensterbank gezeigt. Dieser Schimmelpilz kann sich hier dann gut entwickeln, wenn die Fenster beschlagen und die Feuchtigkeit in Tropfenform auf die Fensterbank gelangt. Gleiches erfolgt auch, wenn die Fugen zwischen dem Rahmen nicht ausreichend mit dämmendem und fugendichtem Material abgedichtet sind. Hier bildet sich eine Wärmebrücke. Hier soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass diese Dichtungsmassen nicht alle Dehnungen der Fugen ausreichend ausgleichen. Sie sind kein Ersatz der Dichtungsbänder.

Bild 6.8.2.: Acrylfuge zwischen Kunststofffenster



Bild 6.8.3.:(Rechts) Hier liegt eine Kondensatbildung und Fensterbank an der Scheibe vor.



Kunststoffputze und Putzmörtel enthalten bis zu 3% Polyvinylacetat, wodurch die Verarbeitung erleichtert und die Festigkeit und Elastizität des Materials verbessert werden sollen. Auf solchen Putzen wachsen *Cladosporium herbarum* und *Stemphylium sp.* Polyvinylacetat selbst wird durch den Pilz nicht angegriffen. Im alkalischen Putz wird das Polymer jedoch zu Polyvinylalkohol und Acetat hydrolysiert; die letztere Verbindung dient den Pilzen dann als C-Quelle.

Auch Bakterien sind an der Zerstörung von Naturgrummi beteiligt, wahrscheinlich Mykobakterien und Streptomyceten [19], auch wenn er mit Giftstoffen versetzt wird.

6.9. Farben und Anstriche

Wand- und Deckenanstriche werden bei ausreichender Feuchtigkeit von Schimmelpilze besiedelt, die muffigen Gerüche und Verfärbungen von grau bis schwarz (z. B. durch *Alternaria*, *Aspergillus* und *Cladosporium*) grün (durch *Penicillium*-Arten) oder rötlich (durch *Fusarium roseum*) hervorgerufen und die Anstriche zerstören können. Dabei bauen die Enzyme insbesondere die mikrobiell abbaubaren Bindemittel in den Lacken oder Anstrichen ab. So wurde zu Beginn dieses Jahrhunderts zur Herstellung der Tapetenfarbstoffe Arsenverbindung (z. B. Arsenoxid) verwendet. *Scopulariopsis brevicaulis* und andere setzen daraus die giftigen Verbindungen Trimethylarsin und Kakodyloxid (?) frei, die bei Menschen zu Vergiftungen und Todesfällen führten. Diese Farbstoffe werden nicht mehr verwendet. Für den Feuchtehaushalt von Beschichtungen muss immer der Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) gemeinsam mit dem Diffusionswiderstand einer Farbbeschichtung (oder der damit gekoppelten Verdunstungsrate) beachtet werden. [47] Diese Werte sind als Laborwerte klar, verändern sich aber in der Praxis je nach dem vorliegenden räumlichen bzw. auch äußeren Klima (Luftzug bzw. Wind, Temperatur, Wärmestrahlung usw.)

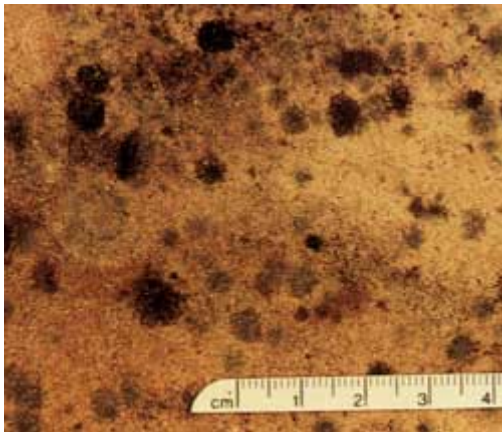
6.10. Glas

Schimmelpilze wachsen auf der Schmutzschicht (Fingerabdrücke, Schmiermittel u. a.). Zunächst wird der Durchblick durch Pilzmycel gestört. Dann kommen Verätzungen durch die Ausscheidung von organischen Säuren, wie Zitronen-, Oxal- oder Gluconsäure, hinzu, die durch die Stoffwechseltätigkeit entstehen. Ebenso können Bakterien, vor allem unter tropischen oder marinen Bedingungen an Bedeutung erlangen. [19]

6.11. Mineralische Baustoffe

An der Verwitterung von Gesteinen in Gebäuden und an Denkmälern sind neben den bekannten physikalischen und chemischen Umgebungsfaktoren auch Mikroorganismen beteiligt. Zu den aktivsten Vertretern der Schimmelpilze gehören Arten der Gattung *Aspergillus*, *Cephalosporium*, *Fusarium*, *Hormodendrum*, *Mucor*, *Penicillium*, *Spicaria* und *Trichoderma*. Die von diesen Organismen produzierten und ausgeschiedenen Säuren (Oxal-, Zitronen-, Gluconsäure) sind in der Lage, direkt Gesteine anzugreifen oder diese durch Entzug von Kationen (Ca, Fe, Mn) durch Chelatbildung zu zersetzen. Dazu kommen anthropogene Luftverschmutzungen, besonders aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, die den Abbau von Gestein beschleunigen. Hier ein Befall auf Trennwände im Dachbereich (*Alternaria sp.*) (Bild 6.11.1)

Bild 6.11.1.: Schimmelpilzkolonien auf Trennwände [41]



Verschiedene Bodenbakterien und Pseudomonaden sind zum Abbau unterschiedlicher Kunststoffe fähig. Bildung von Säuren ist oft die Ursache mikrobieller Zerstörung von Bauwerken. Dabei werden Salpetersäure, Schwefelsäure oder schweflige Säure gebildet. [19] Weitere Ausführungen zu Fassadenflächen unter dem Punkt 7.4.5.

6.12. Kohlenwasserstoff

Der mikrobielle Abbau von Kohlenwasserstoff findet immer in wässriger Phase statt. Der Befall ist so auf die Grenzfläche zu Wasser hin beschränkt. So kann z. B. *Cladosporium resinae* das Kerosin im Flugzeugtank bei Anwesenheit von Wasser (Kondenswasser) auftreten. Die Pilze wachsen dann an der Grenzfläche Wasser/Kerosin und können mit ihrem Mycel Leitungen und Filter verstopfen.

Auf Beschichtungen aus Asphalt und aus Bitumen auf Papier konnten Schimmelpilze gefunden werden.

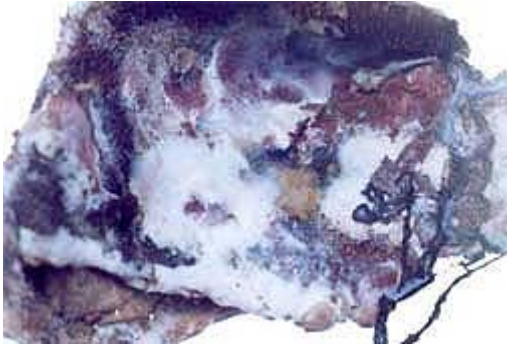
6.13. Metalle

Durch Ausscheidung von organischen Säuren (vor allem α -Oxoglutar- und Zitronensäure, aber auch Isocitronen- und cis-Aconitsäure) und anderen Stoffwechselprodukten können Schimmelpilze Korrosionsspuren auf der Oberfläche von Aluminium, Kupfer, Eisen und Blei hervorrufen. [9], [20] Schäden durch Bakterien können beträchtliche Ausmaße an eiserne Rohre und anderen Geräten annehmen. Diese werden durch Eisen- und Schwefelbakterien hervorgerufen, das sind Korrosionen, Verstopfungen der Leitungen durch Zellmassen von Sphaerotilus, Denitrifikanten, Desulfurikanten, Pseudomonaden u. a. [19] Ebenso werden einige Bakterien industriell für Erzaufarbeitung z. B. Kupfer, Mangan u. a. eingesetzt. [136] Ein Problem stellen schwermetallbelastete Böden dar. Bisher mussten die kontaminierten Bodenschichten großflächig abgetragen werden. Einer kostengünstigeren Alternative sind Bodenbakterien, die eine Resistenz gegenüber Nickel, Cadmium, Chrom oder Kupfer aufweisen. Es wurden mehrere Stämme gefunden, die die genannten Schwermetalle aus dem Boden aufnehmen und in ihren Zellen speichern können. Damit sind die Schwermetalle in den Mikroorganismen gebunden und können nicht mehr mit dem Sickerwasser in Flüsse und Grundwasser gelangen oder von Pflanzen aufgenommen werden. [140]

6.14. Andere Nahrungsgrundlage

Stellvertretend sollen hier nur ausgewählte Beispiele aufgeführt werden. Neben den bereits erwähnten Nahrungsmitteln werden auch lebende oder abgestorbene Pflanzen befallen. Bei diesem Beispiel (Bild 6.14.1.) wurde der Fruchtkörper des Echten Hausschwamms durch Schimmelpilze befallen.

Bild 6.14.1.: Der Fruchtkörper des Echten Hausschwamms wurde durch Schimmelpilze befallen.



Ein bekanntes Problem sind die verschimmelten Nahrungsmittel. In den anderen Gliederungspunkten werden zu diesem speziellen Thema ausgewählte Ausführungen gemacht, da diese zwangsläufig in Gebäuden vorkommen.

Im Bild 6.14.2. wird eine ausgebaute mineralische Sparrendämmung eines Fertigteilhauses einer bekannten deutschen Marke gezeigt. Als Deckenverkleidung diente eine Holzverschalung. Die dunkle Fläche befand sich auf der Innenseite direkt über der Dampfsperre. Deutlich lässt sich der Durchfeuchtungsverlauf in Richtung nach außen erkennen. Die Mineralfasern, speziell der Glasanteil wird nur von spezialisierten Spezies (siehe Pkt. 6.10. Glas) geschädigt, aber es befinden sich in den Dämmstoffen Bindemittel aus Kunstharz, Staub und andere Ablagerungen, die als Nahrungsgrundlage für Schimmelpilze dienen. Auch wenn durch den winddichten Abschluss (Dampfbremse) kaum Spuren in den Innenraum gelangen, sollte so ein Zustand auch wegen der möglichen Bauschäden vermieden werden. [48]

Bild 6.14.2.: Dunkelfärbung der mineralischen Sparrendämmung



In einem Fallbeispiel unter einer abgehängten Holzdecke eines Kindergartens wird der massive Schimmelbefall des Dämmmaterials (Steinwolle) vorwiegend durch *Penicillium*-Arten beschrieben. Hier war jedoch das Flachdach nicht dicht und nach der Schadensbeseitigung erfolgte keine ausreichende Austrocknung. [49]

Im Bild 6.14.3. wurden Schimmelpilze auf der 180 m² großen Unterspannbahn (ein spezialbeschichtetes Polypropylen-Spinnvlies, sd-Wert: < 0,1 m) im Dachbereich festgestellt. Der Schimmel (punktuell ca. 1x5 mm/cm², *Cladosporium sp.* / *Alternaria sp.* / *Trichoderma sp.*) ist komplett im Dach auf der ganzen Bahn und besonders im Traufenbereich verteilt. Die Holzkonstruktion (Sparren) zeigen keinen Befall. In diesem Fall führte die Baufeuchte, die nicht ausreichend über den First abgelüftet wurde, zu diesen Schäden. [50]

Bild 6.13.3.: Schimmelbefall an der Innenseite einer Unterspannbahn



7. Die Vermeidung der Schimmelpilzbildung

7.1. Wichtige Ursachen der Entstehung

Feuchte Wohnungen mit unterschiedlichen Ursachen hat es schon immer gegeben. Werden die Ursachen richtig erkannt, so können diese Schäden vermieden werden.

Leider haben die Erkenntnisse aus den Fehlern der Vergangenheit und vor allem der Gegenwart in Verbindung mit den Erkenntnissen aus den bauphysikalischen Zusammenhängen nicht zu schimmelfreien Wohnungen geführt.

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass wir uns dem Einfluss der Schimmelpilze nicht entziehen können. Lediglich die Konzentration der Sporen kann durch sinnvolle Maßnahmen reduziert werden. Bei optimalen Lebensbedingungen der Schimmelpilze in den Innenräumen werden nicht nur Materialien, sondern auch die Lebensmittel befallen bzw. mit höheren Konzentrationen beauflagt, sodass neben der direkten

auch eine indirekte Belastung auftritt. Die Zuordnung der Schimmelpilze zu den Vertretern unter Zygomyceten, Ascomyceten oder Deuteromyceten hat lediglich dann eine ausschlaggebende Bedeutung, wenn bestimmte Krankheitssymptome und die genaue Ursachenquelle bestimmt werden müssen und sich aus dem vorliegenden Bauzustand keine eindeutigen Schlussfolgerungen ziehen lassen.

Das einfachste Verfahren Schimmelpilze zu bekämpfen, ist eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit in der Wohnung. Weiterhin sind Einrichtungsgegenstände und Baustoffe trocken zu halten bzw. zu trocknen. Ein Schimmelpilz selbst in Duschen und im Bad lässt sich durch Lüften und Klimatisierung (trockene Wärme) vermeiden. Die relativ kurzen Feuchtespitzen stellen im Allgemeinen keine Gefahr dar, wenn anschließend wieder eine niedrigere Feuchte erreicht wird.

Die Schimmelschäden lassen sich nach folgenden Kriterien einteilen:

Sichtbare Schimmelschäden

Diese können in vielen Fällen bereits makroskopisch eindeutig erkannt werden. Die Kenntnis über die Größe des Befalls (Fläche, Tiefe und Intensität) ist allerdings eine entscheidende Voraussetzung für die Beurteilung eines Schimmelschadens und daraus resultierende entsprechende Sanierungsmaßnahmen.

Schimmelgeruch ohne sichtbaren Befall

In diesem Fall kann die Eingrenzung nur über die Wahrnehmung des Geruches erfolgen. Das können Unterseiten von Fußbodenbelägen oder die Rückseiten von Gipskartonständerwänden sein. Es ist zu beachten, dass holzerstörende Pilze unter Umständen ähnliche Gerüche abgeben.

Feuchtigkeit ohne sichtbaren Befall

Bei erhöhter Feuchtigkeit ("aufsteigende" Feuchte, Wasserleitungsschaden o. ä.) in Baustoffen ist die Wahrscheinlichkeit eines mikrobiellen Befalls sehr groß. Daher ist die Ausdehnung des Schadens schnell zu erfassen und eine wirkungsvolle Trocknung durchzuführen. Befallene Baustoffe sind auszubauen bzw. zu sanieren.

Problemkonstruktionen ohne sichtbaren Befall

Bestimmte Bauteile neigen durch ihre Konstruktion zu Schwachstellen, bei denen zeitlich bedingt starke Temperaturschwankungen auftreten und sich so Kondenswasser an der Oberfläche niederschlägt. In dieser Situation sind Kenntnisse der Bauphysik erforderlich. Diese Schäden können häufig nur aufgrund besonderer Erfahrungen lokalisiert werden. Beispiele sind hier Kellerwohnungen oder Fußböden im Erdgeschoss über kühle Keller.

Gesundheitliche Beschwerden

Sind keine Hinweise auf Feuchtigkeit oder einen Befall erkennbar, so ist dies durch einen Umweltmediziner und/oder Allergologen zu klären, ob eine Belastung durch Schimmelpilze für die Beschwerden verantwortlich ist. Die Beschwerden können auch auf Außenluftquellen zurückzuführen sein oder die Belastung erfolgt zeitlich und räumlich wo anders. [51]

Schimmelpilze benötigen bestimmte Lebensbedingungen (vgl. oben). Diese werden durch nachfolgende Kriterien begünstigt:

- Wärmebrücken z. B. Fensterlaibung, vor der Fassadendämmung (WVS) wurden die Beton- oder Steinfensterbänke nicht ausgebaut, Ringbalken, Kanalschächte an der Außenwand usw.
- Unzweckmäßige Baumaterialien, z. B. wird sehr gern Gipsspachtel auf feuchte belastetes Mauerwerk, wie in Treppeneingangsbereich, Keller, ältere EG-Wohnung, aufgetragen, damit die Wandoberflächen glatt werden. Dazugehört auch Raufasertapete mit Zellulosekleber und Dispersionsfarbe.
- Ungünstige raumklimatische Veränderung nach Sanierungen, z. B. nicht Beseitigung aller kühlen Oberflächen oder Verlagerung der kühlen Oberfläche an andere unzweckmäßige Bauteile, Verringerung der sorptionsoffenen Flächen. Z. B. in Bädern bis an die Decke gefliest u. a.
- Feuchte belastetes Mauerwerk, z. B. ältere Gebäude, wo aufsteigende Feuchtigkeit und vor allem salzbelastetes Mauerwerk vorliegen.
- Nutzungsverhalten, z. B. ungenügender Luftfeuchtigkeitsaustausch.
- Ungeeignete Nutzungsbestimmung, z. B. im Keller eines sehr alten sanierten Gebäudes wurde das Bad für die Wasserbehandlung der Physiotherapie eingebaut, die Lüftung ist nur über ein völlig verbautes Kellerfenster möglich.
- Ungeeignete Planungskonzeptionen, z. B. ein ca. 4 m² zentral gelegener Raum mit Fenster wurde als Abstellraum ohne Heizung projektiert. Das genutzte Zimmer wird so nur über die Luft des Korridors erwärmt, (kalte ungedämmte Außenwand) oder die ausgewiesenen Schlafzimmer sind wegen der geringen Deckenhöhe (Dachgeschoss) in ihrem Volumen viel zu klein.

Vorschläge, wie das Aufstellen der Möbel 15 cm von der Wand sind vollkommener Unsinn. Früher hatte die Möbelindustrie die Schränke mit Beinen hergestellt und so konnte von unten her auch die Rückseite des Schrankes hinterlüftet werden. Zum Beispiel bei einer 4 m langen Wand und einem Abstand von 15 cm werden so 0,6 m² Raumfläche verschenkt. Bei einer Miete von 5 Euro/m² sind das 60 Euro/Jahr, was ganz vereinfacht ausgedrückt bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren einen Wertverlust von ca. 900 Euro bedeutet. Wenn die Wohnung nur unter Einschränkung benutzbar ist, wo sind dann die Grenzen? Für den Mieter immer ein Anlass „Mängel“ zu suchen, ob berechtigt oder nicht, um eine Mietminderung zu erstreiten. Für den Vermieter gilt das Umgekehrte. Seit Jahrtausend baut man Gebäude. Mit der Einführung der EnEV und die damit verbundenen Maßnahmen kann man die Gebäude nur noch mit einer komplizierten Nutzungsanleitung bewohnen und dort wo es gar nicht klappt, dort legt man Nutzungseinschränkungen fest oder baut komplizierte Steuergeräte ein.

Ohne Ursachenbeseitigung ist langfristig keine Schadensbehebung möglich!

7.2. Luftfeuchtigkeit in der Wohnung - Ursache für die Schimmelpilzbildung

7.2.1. Luftfeuchtigkeit

Hier spielen die absolute und relative Luftfeuchte, die Sättigungstemperatur und der Wasserdampfdruck eine Rolle. Die Feuchtigkeit der Luft wird als Wasserdampf bezeichnet, welchen man nicht sehen, hören und riechen kann. Die absolute Luftfeuchtigkeit kann man

nicht messen. Sie ergibt sich aus der Temperatur und der relativen Luftfeuchte. Daher sind bei einer Feuchtebestimmung beide Messgrößen zu erfassen.

Relative trockene Luft hat selten die Neigung, Tauwasserfilme zu bilden. Hingegen können bei relativ feuchter Luft in Raumecken oder Fensterlaibungen Schimmelpilzbeläge entstehen. Die Grenze, wann ist Luft trocken, ist nicht genormt, die Grenzen sind fließend. Hierfür kann gelten:

Trocken	$j < 50\%$,	bei $p_i > 1150 \text{ Pa}$,
Normalfeucht $j = 50 \dots 60 \%$	bei $p_i > 1150 \dots 1400 \text{ Pa}$	
Feucht	$j > 60 \dots 75\%$	bei $p_i > 1400 \dots 1750 \text{ Pa}$
Nass	$j > 75\%$	bei $p_i > 1750 \text{ Pa}$.

(p_i -Werte für Raumtemperaturen von 18 bis 22°C.)

Ständig erhöhte Feuchtigkeit in Wohnräumen führt zu gesundheitlichen Risiken, wie chronische Hustenanfälle und asthmatische Erkrankungen, im Extremfall besteht die Gefahr der Schwindsucht. In den überwiegenden Fällen sind Feuchtigkeitsursachen vielschichtig und können sich gegenseitig begünstigen.

Auf den Bilder 7.2.1. und 7.2.2. werden typische Schimmelpilzerscheinungen gezeigt, die durch zu hohe Luftfeuchtigkeit und unzureichender Lüftung verursacht wurden. Alle anderen Wohnungen in den beiden Objekten waren vollständig Schimmelpilz frei. Solche Schäden sind eher eine Ausnahme.

Bild 7.2.1.: Schimmelpilzbildung in einem Wohnzimmer am Erker



Bild 7.2.2.: Schimmelpilzbildung in einer Küche, Eckbereich zum Nachbarzimmer



7.2.2. Feuchtigkeit in Wohnungen

Zunächst soll hier dargestellt werden, wo die Feuchtigkeit in der Wohnung herkommt.

Entstehung durch Nutzung (Wasserdampfproduktion)

- Wannenbad 1 Liter pro Person
- Zimmerpflanze 0,5 bis 1 Liter pro Tag
- Atmung 1 Person ca. 0,1 Liter pro Stunde
- Schlafphase bis ca. 1 Liter pro Person
- Trocknen von Wäsche 4,5 kg 1-1,5 Liter

Entstehung durch Beschaffenheit des Gebäudes

- Konstruktiv vorhanden
- Schwachstellen der Konstruktion
- Innere Einwirkungen
- Defekte an Wasserleitungen, Spritzwasser im Bad
- Äußere Einwirkungen

Dachbereich, undichte Fenster, Türen, Wände durch Niederschlag, aufsteigende Feuchtigkeit durch defekte Sperrung im Fundament- und Erdgeschossbereich

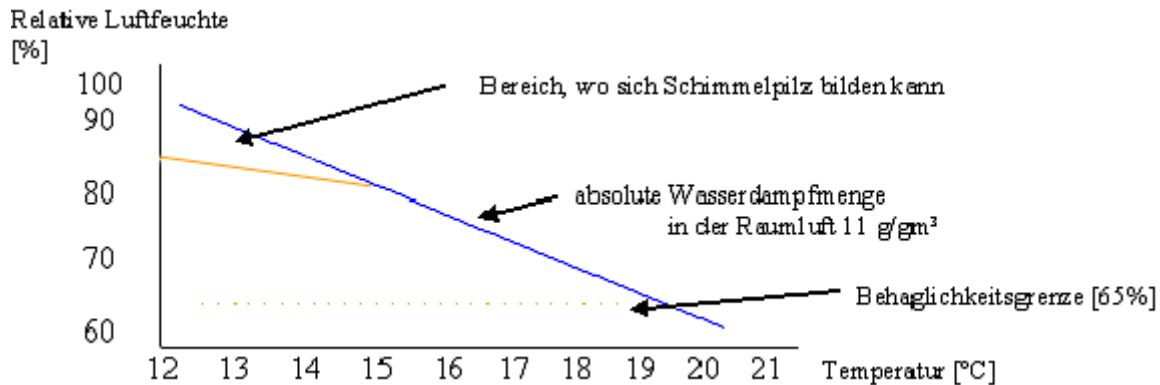
Beim Neubau und umfangreiche Renovation

Beimischung von Wasser für den Abbindeprozess von Mörtel (Gips, Kalk, Beton). Früher hatte man die neuen Gebäude "ausgewintert" und „trocken gewohnt“. Heute muss dies durch erhöhte Heizung und Lüftung austrocknen. [52] Eine dieser Schäden wird im Bild 6.13.3 gezeigt, wo die Feuchte zur Schimmelpilzbildung an der Innenseite der Unterspannbahn führte.

Eine zu große Feuchtigkeit in den Wohnräumen, die Behaglichkeitsgrenze liegt bei etwa 65% relative Luftfeuchtigkeit, führt einerseits zu Feuchteschäden und andererseits hat dies gesundheitliche Auswirkungen und im Extremfall kann sich Schimmelpilz bilden. Im Winter sollte die relative Luftfeuchte im Innenraum möglichst 50% nicht überschreiten. Die genaue Höchstbelastung hängt von verschiedenen Faktoren ab, die in den Punkten genauer erläutert werden. Ein um 100 g pro Tag und m² Wohnfläche steigender Feuchteintrag erhöht das

Risiko für das auftreten eines Feuchteschadens um 80 %, eines lüftungsbedingten Feuchteschadens um 90 % und für einen Schimmelpilzbefall liegt das Risiko bei ca. 30 %. [141] In der nachstehenden Grafik wird die Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit von der Temperatur aufgezeigt. Die absolute Luftfeuchtigkeit, in diesem Fall 11 g/m^3 , ist unverändert.

Bild 7.2.3.: Kritische Bereiche der Kondensatbildung für Schimmelbefall [53]



Es wird deutlich, dass bei einer Absenkung der Lufttemperatur die relative Luftfeuchtigkeit ansteigt. Genau diese Erscheinung erfolgt, wenn die warme Raumluft an einer kühlen Wandoberfläche vorbei strömt. Kühlt hier die Raumluft um mehr als 4 K ab, so wird in vielen Fällen eine Oberflächenfeuchte erreicht, wo mit einer Schimmelpilzbildung zu rechnen ist. Mit der grafischen Darstellung in der Anlage 4 kann dies gut nachvollzogen werden. Im Punkt 7.4.5. wird ausführlicher auf die Kondenswasserbildung eingegangen. In der nachfolgenden Tabelle 1 werden zwei Varianten gegenübergestellt. In dem einen Raum liegt eine relative Luftfeuchte von 65% und in den anderen 50% vor. An der Außenwand, 36,5 cm Ziegelsteine und beidseitig Putz und einer Außentemperatur von ca. 0°C bis -5°C beträgt die Oberflächentemperatur ca. 16°C . In den Raum mit der relativen Luftfeuchte von 65% besteht an der Wandoberfläche eine Schimmelpilzgefährdung, da die relative Luftfeuchte auf 80% angestiegen ist. Hält diese niedrige Außentemperatur einige Tage an oder sinkt diese noch, so besteht eine akute Gefährdung. Liegt die Außentemperatur höher, z. B. bei ca. 5°C , so ist auch die Oberflächentemperatur an der Innenseite höher und die angrenzende relative Luftfeuchte sinkt. Damit besteht dann keine Gefährdung eines Schimmelpilzbefalls.

Tabelle 1: Veränderung der relativen Luftfeuchtigkeit bei gleich bleibender absoluter Feuchte und einer Temperaturänderung

Temperatur	relative Luftfeuchtigkeit [in %]	
	Variante 1	Variante 2
	11g Wasser/ m ³ Luft	8,3g Wasser/m ³ Luft
Raumluft 20 °C	65%	50%
Wandoberfläche 18 °C	72%	55%
Wandoberfläche 16 °C	81%	63%
Wandoberfläche 14 °C	93%	71%
Wandoberfläche 12 °C	100%	82%

In der Regel liegt im Winter die relative Luftfeuchtigkeit bei einer normalen Nutzung bei 50% oder weniger vor. Damit ergeben sich die Werte aus der Variante 2 (Tabelle 1). Wird nur die o. g. Außenwand betrachtet, so kann sich bei dem Extremfall eine relative Luftfeuchte von 71% einstellen. Damit kommt es auch nicht zur Schimmelpilzbildung. Treten feuchte Wände oder Wandflächen auf, so sollte neben einer Erhöhung der Lüftungsrate die Raumtemperatur erhöht werden. Allerdings kostet eine Temperaturerhöhung im Zimmer von 1 K (1 °C) ca. 6% mehr Wärmeenergie (dies ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie die Länge der Heizperiode.) Auf eine Nachtabenkung, um Energie zu sparen, sollte verzichtet werden, wenn kritische Bauteile vorhanden sind. Insgesamt bringt die Temperaturabsenkung nichts, da am nächsten Tag das Mauerwerk wieder aufgeheizt werden muss.² Werden statt der Konvektionsheizungen Strahlungsheizungen verwendet, so liegt die Temperatur der Wandoberfläche bei vergleichbarer Raumtemperatur höher. Das ist unter anderem auch ein Nachteil der modernen Zentralheizung, die vorwiegend nach der Konvektion funktioniert.

Bei diesem Beispiel wird deutlich, dass die relative Luftfeuchtigkeit der Raumluft nicht allein für eine Schimmelpilzgefährdung verantwortlich ist. Ausgenommen sind natürlich sehr hohe Werte. Es sind grundsätzlich die Temperaturen (innen, außen und an der Wandoberfläche), die jeweilige Situation, die konstruktiven und baustoffseitigen Merkmale der Räume bzw. Gebäude zu beachten.

Ist die absolute Luftfeuchte der Außenluft niedriger, so kann gelüftet werden. Ist sie höher, wie z. B. an einem schwülwarmen Sommertag, so wird sogar viel Feuchtigkeit in die Wohnung hinein gelüftet.

Entscheidend für den Austrocknungsprozess ist die absolute Feuchtigkeit der Luft, also die Wassermenge, die die Luft bei einer bestimmten Temperatur aufnehmen kann (Tabelle 2). [16] In der Anlage 4 werden die relative Luftfeuchtigkeit und die Taupunkttemperatur in einem Diagramm dargestellt. Damit kann die jeweilige absolute Feuchte abgelesen werden.

Tabelle 2: Maximaler Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei einer bestimmten Temperatur

Lufttemperatur in °C	Max. Feuchtigkeitsgehalt g/m³
- 20	1,05
- 10	1,58
0	4,98
6	7,28
10	9,39
16	13,59
20	17,22
24	21,68
30	30,21
40	50,91

Wird wärmere feuchte Luft durch eine kühlere ausgetauscht, so sinkt die absolute Feuchte. Bei der Erwärmung dieser Luft verringert sich dann auch die relative Feuchtigkeit. Die Bauteile und Einrichtungsgegenstände in diesem Raum geben schnell ihre Feuchtigkeit an die Raumluft ab, da sie in Wechselwirkung stehen und ein Feuchtgleichgewicht anstreben. Früher wurden die einzelnen Etagen in Einfamilienhäusern oder in ähnlichen Gebäuden durch Türen an den Treppenabschnitten getrennt. So wurde der unkontrollierte Austausch der unterschiedlich warmen Luft mit der jeweiligen absoluten Luftfeuchte in den einzelnen Etagen verhindert. Heute ist vom (Wohn-)keller bis zum Dach alles offen. Es ist daher ganz natürlich, dass gerade im Sommer meist am Kellereingang sich Kondenswasser bildet bzw. eine hohe Feuchte vorliegt und nach einiger Zeit eine Schimmelpilzbildung erkennbar ist. Im folgenden Punkt wird darauf näher eingegangen.

Weisen einige Bauteile aufgrund ihrer Baustoffzusammensetzung oder durch geometrische Formen an ihrer Oberfläche eine niedrigere Temperatur als ihre Umgebung auf, so ist an dieser Fläche eine höhere relative Luftfeuchtigkeit vorhanden. Verschiedene Varianten einer Erhöhung der Oberflächentemperatur durch unterschiedliche nachträgliche Dämmmaßnahmen sind in der Anlage 3 aufgeführt.

Wird noch einmal das Beispiel mit den verschimmelten Brötchen aus dem Punkt 4 letzten Absatz betrachtet, so liegt die Vermutung nah, dass nicht nur die Höhe der relativen Luftfeuchte, sondern auch die der absoluten Luftfeuchte eine Bedeutung für die Schimmelpilzbildung hat. So kann eine 30°C warme Luft ca. die 4-fache Wassermenge aufnehmen, wie vergleichsweise eine 6°C warme Luft (siehe Tabelle 2 und Anlage 4). So beinhaltet eine 15°C warme Luft mit einer relativen Luftfeuchte von 80% ca. 10 g Wasser/m³

Luft und eine 25°C warme Luft mit einer relativen Luftfeuchte von 43% die gleiche Wassermenge. Haben wir z. B. im Sommer eine Zimmertemperatur von 25°C und eine relative Luftfeuchte von 60%, was eigentlich nicht zu einer Schimmelpilzbildung führt, so liegt die absolute Luftfeuchte bei 13,5 g Wasser/m³ Luft. Die absolute Feuchte liegt somit 35% höher gegenüber dem Beispiel mit 15°C, wo mit einer Schimmelpilzbildung zu rechnen ist. Dieser Zusammenhang dürfte auch verantwortlich sein, weshalb die Schimmelpilzkonzentration in der Luft in der wärmeren Jahreszeit oder in überheizten Räumen höher ist, obwohl die relative Luftfeuchte im normalen Bereich liegt. Im Isoplethensystem im Bild 2.1. ist die Feuchte- und Temperaturbeziehung gut erkennbar.

7.2.3. Gas-Dampf-Gemisch (Feuchtigkeit in der Luft)

Das am meisten vorkommende Gas-Dampf-Gemisch ist das Luft-Wasserdampf-Gemisch, also das, was in der Innenraumluft vorliegt. Treten nun Änderungen bei den einzelnen Größen, wie absolute Luftfeuchte, Temperatur, relative Luftfeuchte und Druck auf, so bestehen Zusammenhänge zwischen diesen. Was bisher immer bei der Lüftung nicht berücksichtigt wird, ist die Enthalpie des Gas-Dampf-Gemisches. Das heißt, jeder Zustand der Innenluft "beinhaltet" eine bestimmte Energie. Nimmt also die relative Luftfeuchtigkeit bei gleicher Enthalpie zu, so sinkt die Raumtemperatur. Um diese auf einer gleichen Temperatur zu halten, muss dem Luft-Wasserdampf-Gemisch ständig Energie zugeführt werden. Damit erhöht sich auch die Enthalpie.

Werden nun durch das Lüften die beiden verschiedenen Luftgemische, Innen- und Außenluft, vermischt, so wird in der Regel die absolute Feuchte verringert, wenn die Außenluft eine niedrigere absolute Feuchte hat. Dies liegt in der Regel dann vor, wenn die Außentemperatur niedriger ist. Genau umgekehrt erfolgt es an warmen Tagen. Daher wird im Sommer beim Lüften der Keller nicht trocken, sondern es bildet sich unter Umständen Kondensat an der Kellerwandoberfläche und verstärkt unterhalb der Geländeoberfläche. Wenn die Temperatur der Außenluft niedriger ist, sinkt die Lufttemperatur der Mischluft im Innenraum. Durch Wärmezufuhr steigt diese wieder zur gewünschten Zimmertemperatur an und kann wieder Feuchte aufnehmen. Beim Lüften muss also nicht nur die Temperaturdifferenz durch Wärmeenergie ausgeglichen werden, sondern auch die, die bereits bei der Erhöhung der Luftfeuchtigkeit eingeflossen war, um die Temperatur auf ein Niveau zu halten. (Vergleiche Anlage 5 Mollier-Diagramm.) In der nachfolgenden Berechnung wird der Sachverhalt ohne auf die Einzelheiten genauer einzugehen dargestellt. [54]

7.2.4. Wärmeenergiebedarf - Gas-Gemisch und Erwärmung (Lüftungsaustausch)

Es soll in einem 50 m³ großen Zimmer ein einfacher Lüftungsaustausch erfolgen. Die Zimmertemperatur beträgt 17 °C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit 85%. Die Außenluft hat eine Temperatur von 5 °C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90%. Nach dem einfachen Luftaustausch soll die relative Luftfeuchtigkeit 65 % betragen.

Gegeben: $t = 17\text{ °C}$, $\phi = 85\%$, $p = 0,1\text{ MPa}$, $R_G = 287,1\text{ Nm/kgK}$ (Gaskonstante Luft), $R_d = 461,5\text{ Nm/kgK}$ (Gaskonstante Wasserdampf), $h = 44\text{ kJ/kg}$ (Enthalpie) [siehe Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft], Raumvolumen 50 m³

$$m_G = (p - \phi \times p_s / R_G T) V$$

$$m_G = (10^5\text{ N/m}^2 - [0,85 \times 1936,3\text{ N/m}^2]) / 287,1\text{ Nm/kgK} \times 290\text{ K} \times 50\text{ m}^3$$

$$m_G = 59\text{ kg trockene Luft}$$

$$m_D = (\phi \times p_s / R_D T) V$$

$$m_D = (0,85 \times 1936,3 \text{ Nm}^2 / 461,5 \text{ N/kgK} \times 290 \text{ K}) \times 50 \text{ m}^3$$

$$m_D = 0,615 \text{ kg Wasserdampf}$$

$$\text{Berechnung von } p_s = 288,88(1,098 + J/100)^{8,02} [\text{N/m}^2]$$

Die Wasserdampfmenge entspricht 10,4 g/kg_{Luft} aus m_D/m_G (vergleiche Mollier-Diagramm Anlage 5) beziehungsweise $x_1 = 12,3 \text{ g/m}^3$ aus $0,615 \text{ kg} / 50 \text{ m}^3_{\text{Luft}}$.

Die Berechnung für die 50 m³ Außenluft erfolgt analog wie oben. Es ergeben sich folgende Werte $T = 5^\circ\text{C}$, $\phi = 90\%$, $p = 0,1 \text{ MPa}$, $m_G = 62,1 \text{ kg}$ trockene Luft, $m_D = 0,306 \text{ kg}$ Wasserdampf beziehungsweise $x_2 = 6,1 \text{ g/m}^3_{\text{Luft}}$. Die Raum- und Außenluft werden gemischt.

$$x_m = (m_{G1} x_1 + m_{G2} x_2) / (m_{G1} + m_{G2})$$

$$x_m = 1,18 \text{ kg/m}^3 \times 12,3 \text{ g/m}^3 + 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 6,1 \text{ g/m}^3 / 1,18 \text{ kg/m}^3 + 1,24 \text{ kg/m}^3$$

$$x_m = 9,1 \text{ g Wasserdampf/m}^3_{\text{Luft}}$$

Es wird eine Mischungsgerade in das Mollier-h,x-Diagramm projiziert. (siehe Bild 2). Es können so die anderen Werte entnommen werden. Es ergibt für die Enthalpie 37,5 kJ/kg, $t = 14^\circ\text{C}$, $\phi = 90\%$ (relative Luftfeuchtigkeit).

Bild 7.2.4: Mischen zweier Gas-Dampf-Gemische

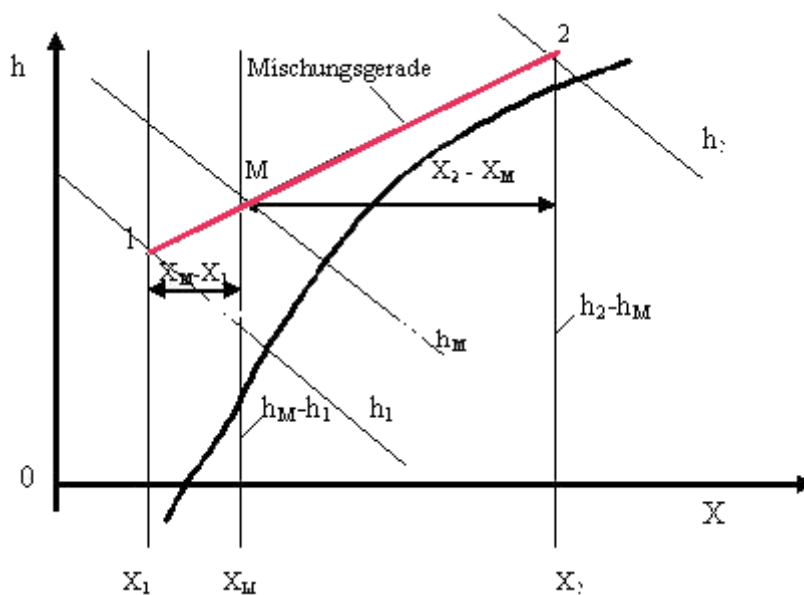
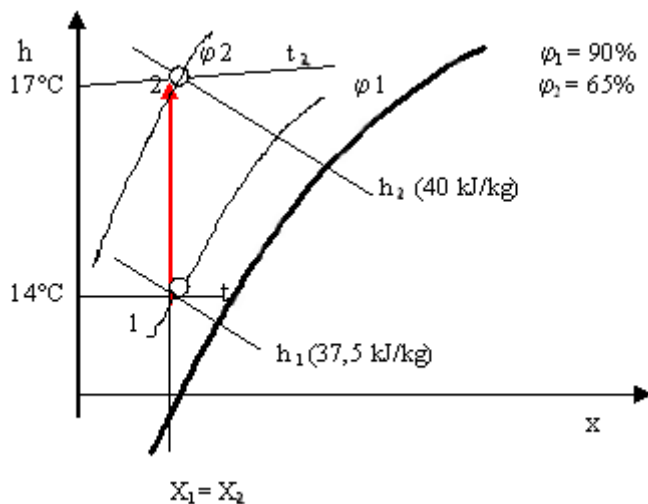


Bild 7.2.5.: Erwärmung eines Gas-Dampf-Gemisches



Es ist zu einer Abkühlung der im Raum befindlichen Mischluft gekommen. Damit ist eine Energieabführung erfolgt. Bei 50 m^3 beträgt dies:

$$50 \text{ m}^3 \times 1,18 \text{ kg/m}^3 (44 \text{ kJ/kg} - 37,5 \text{ kJ/kg}) = 383,5 \text{ kJ/kg}$$

$$383,5 \text{ kJ/kg} \times 278 \times 10^{-4} \text{ kWh} / 1 \text{ kJ} = \underline{106 \text{ Wh}}$$

Durch die Lüftung wurde die Luft auf 14°C abgekühlt. Um wieder die Innentemperatur von 17°C zu erreichen, muss eine Wärme von

$$2,5 \text{ kJ/kg} \times 50 \text{ m}^3 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 150 \text{ kJ}$$

$$150 \text{ kJ} \times 2,78 \times 10^{-4} \text{ kWh} / 1 \text{ kJ} = 41,7 \text{ Wh}$$

zugeführt werden (siehe Bild 7.2.5.).

Die einfache Lüftung bedarf bei den gegebenen Ausgangswerten ca. 148 Wh ($106 \text{ Wh} + 42 \text{ Wh}$) Wärme. Bei diesem Beispiel wird von einer Außenwandfläche mit 10 m^2 mit einem U-Wert von $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem Fensteranteil von $2,5 \text{ m}^2$ mit $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgegangen. Die Temperaturdifferenzen zu den anderen Umschließungsflächen der Nachbarräume werden vernachlässigt. Sie werden als gleich bzw. als niedrig angenommen. Es ergibt sich ein Temperaturunterschied von 13 K (17°C innen und 5°C außen).

$$(2,5 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ W/m}^2\text{K} + 7,5 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}) \times 12 \text{ K} \times 1 \text{ h} = \mathbf{90,0 \text{ Wh.}}$$

Der rechnerische Lüftungswärmeverlust hat bei diesem Beispiel einen Anteil von ca. 50% des gesamten „Wärmeverlustes“, [55] bei einer Lüftungsrate von $0,8 \text{ h}^{-1}$ bzw. 31% bei $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Wurde nun an der Außenwand eine Superdämmung angebracht, so liegen die Transmissionswärmeverluste bei 42 Wh . Das ergibt sich aus

$$2,5 \text{ m}^2 \times 0,8 \text{ W/m}^2\text{K} + 7,5 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}) \times 12 \text{ K} \times 1 \text{ h} = \mathbf{42,0 \text{ Wh.}}$$

Damit ergeben sich ein Transmissionswärmeverlust mit einem Anteil von 26% und die des Lüftungswärmeverlustes von 74% bei einer Lüftungsrate von $0,8 \text{ h}^{-1}$. Um Kondensatbildung an den Wandoberflächen zu vermeiden, muss die Raumfeuchtigkeit hinausgelüftet werden. Werden die Lüftungswärmeverluste als eine gleichbleibende Größe betrachtet, so verändert sich das Verhältnis mit zunehmender Wärmedämmung zugunsten der Lüftung. Bei einer Superdämmung beträgt der Lüftungswärmeverlust rechnerisch etwa das 4-fache vom

Transmissionswärmeverlust. Damit das Verhältnis nicht so krass aussieht, ist die Lüftungszahl wesentlich zu reduzieren, man spricht von kontrollierter Lüftung. Man möchte eine sehr niedrige Lüftungsrate anstreben, um so rechnerisch das ungünstige Verhältnis von Transmissions- und Lüftungswärmeverlust zu verändern. Aber wo soll dann die Feuchtigkeit der Luft hin? Eine Alternative ist die Wärmerückgewinnung, die einen Teil des Lüftungswärmeverlustes reduzieren kann.

Es ist somit aus technischer und wirtschaftlicher Sicht eine Grenze der sinnvollen Wärmedämmung gesetzt. Diese liegt etwa bei einem U-Wert zwischen 0,4 bis 0,5.

7.2.5. Die Feuchteproduktion und der Lüftungsaustausch

In dieser Modellrechnung wird von einer 8-stündigen Nachtruhe ausgegangen, wo die Fenster verschlossen sind. Der Raum umfasst ein Volumen von 50 m³, die Feuchteproduktion durch das Atmen eines erwachsenen Menschen beträgt 0,1 Liter Wasser/Std.

Innen: relative Luftfeuchte von 50% entspricht 7g Wasser/ m³Luft, Temperatur 17°C als gleichbleibend betrachtet und Außen: 5 °C bei einer relativen Luftfeuchte von 90% entspricht 6g Wasser/ m³Luft

Tabelle 3: Relative Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Zeitdauer und der Personenzahl

Zeitdauer	Wasser/Luft [g/m ³] Luftwechsel 0,3/Std. 1 Person	Wasser/Luft [g/m ³] Luftwechsel 0,3/Std., 2 Personen	Wasser/Luft [g/m ³] Luftwechsel 0,5/Std., 1 Person 2 Person.	Wasser/Luft [g/m ³] Luftwechsel 0,8/Std. 2 Personen
0 Std.	7	7	7 7	7
1 Std.	8,5	10,1	8,3 9,5	8,6
2 Std.	9,5	12,3	8,6 10,8	8,9
3 Std.	10,2	13,8	8,8 11,2	9,0 (61%)
4 Std.	10,6	14,3 (100%)	8,9 11,6	9,0
5 Std.	10,9	14,3	9,0 (61%) 11,8	9,0
6 Std.	11,2	14,3	9,0 11,9	9,0
7 Std.	11,3	14,3	9,0 12 (83%)	9,0
8 Std.	11,4 (= 80%)	14,3	9,0 12	9,0

Es wird deutlich, dass ein Lüftungsaustausch unter 0,5 h⁻¹ sehr kritisch zu betrachten ist, da die Luftfeuchtigkeit nicht ausreichend abgeführt werden kann. Der Lüftungsaustausch sollte wenigsten so groß sein, dass die produzierte Feuchtigkeit nicht weiter ansteigt. Nun hat man

nicht den o. g. Idealzustand, sondern ständige klimatische Veränderungen und auch noch andere Feuchtigkeitsquellen im Haushalt, die Luftfeuchtigkeit erzeugen. Würden die Handwerker wirklich solche luftdichten Häuser herstellen, wie es gefordert wird, so müsste bei vielen Schlafzimmern aller 3 Std. eine vorschriftsmäßige Stoßlüftung vorgenommen werden, und das auch in der Nacht.

Wenn aber wie in der Tabelle eine relative Luftfeuchte von 61% bei den o. g. Temperaturbedingungen erreicht und bei normalem Mauerwerk die Oberflächentemperatur nicht weniger als 15-14°C wird, kommt es in der Regel nicht zur Schimmelpilzbildung. Bei einer kühleren Jahreszeit ist es jedoch möglich. Bereits bei der o. g. Bedingung tritt bei einem Luftwechsel $\leq 0,5 \text{ h}^{-1}$ und 2 Personen eine Schimmelpilzbildung auf. Auf der Grundlage des Schemas in der Anlage 4 und des Isoplethensystems im Bild 2.2. können diese Aussagen überprüft werden. Durch das Umweltbundes Amt [56] in einer kleinen Broschüre genannten Angaben zur Feuchtigkeitsangabe und den damit verbundener erforderlicher täglichen Lüftung von 7-mal täglich (entspricht $0,3 \text{ h}^{-1}$ zuzüglich des unkontrollierten Luftaustausches durch Fugen u. a.), ist nicht korrekt. Davon abgesehen, dass berufstätige Mieter bei einer täglichen Abwesenheit von 10-12 oder mehr Stunden diese Bedingung nicht erfüllen können (ausgenommen bei Lüftungsanlagen), führt diese kleine Lüftungsrate in bestimmten Situationen (siehe Tabelle 7) unweigerlich zu Feuchteschäden.

Untersuchungen zeigen, dass ein Luftwechsel durch Undichtheiten, z. B. durch Fugen, Risse oder Bauteilanschlüsse⁸, keine Garantie für eine gute Raumlufthqualität und einen ausreichenden Feuchte Austausch (Feuchteabführung) bietet. [57, 58] Allein das Argument, „dichte Fenster führen zu Feuchteschäden“ und damit in einigen Fällen zur Schimmelpilzbildung ist nicht ausreichend begründet. Es muss das komplexe Zusammenspiel aller Einflussfaktoren hinterfragt werden. In der Anlage 10 werden Beispiele genannt und näher betrachtet.

7.2.6. Der Lüftungsaustausch im Gebäude

Eine intensive Lüftung der Räume ist erforderlich, um die verbrauchte Atemluft (höherer CO₂-Gehalt) auszutauschen, die Luftfeuchtigkeit, Schadstoff- und Staubkonzentration und die Radioaktivität zu verringern. In Schweden wurde in stark wärme gedämmten Wohnungen eine Erhöhung von der Dosis 110 mrem bis auf 380 mrem festgestellt. (Jede radioaktive Strahlung - ob natürlich oder künstlich- ist lebensfeindlich. Prof. Fritz-Niggli) Empfehlenswert ist daher ein Luftwechsel von 2 bis 3. Neben diesem Fakt ist die Reduzierung der Luftfeuchtigkeit und der anderen Luftschadstoffe ein wichtiger Aspekt der Lüftung.

Unser Körper gibt ständig Feuchtigkeit an die Raumlufth ab. Ebenso entsteht Feuchtigkeit beim Kochen, Duschen und durch Zimmerpflanzen. Die relative Luftfeuchtigkeit steigt an, wenn diese feuchtere Luft nicht von Zeit zu Zeit ausgetauscht wird. Erfolgt dies nicht ausreichend, so kann es unter Umständen an kühleren Bauteilen zur Kondensatbildung kommen. Früher war dies an den einfachen Fensterscheiben zu erkennen, da hier die Oberflächentemperatur am niedrigsten ist. Kühlere Luft/Oberflächen nehmen weniger Feuchtigkeit auf. Die Schimmelpilzbildung allein einer falschen Lüftung zuzuordnen ist grundsätzlich abzulehnen. Es sind hierfür meist mehrere Ursachen, wie auch konstruktiver und materialspezifischer Art sowie das Nutzungsverhalten verantwortlich.

Durch das Fraunhofer Institut wurde die Luftwechselzahl untersucht. In der Tabelle 4 werden die Werte aufgeführt:

Tabelle 4: Lüftungsart [59]

<i>Lüftungsart</i>	<i>Luftwechselrate pro Stunde</i>	<i>Dauer der Lüftung für einen Luftaustausch</i>
Geschlossene Fenster und Türen	0,0 bis 0,5	mindestens 2 Stunden (je dichter die Fenster, so geht der Wert gegen Unendlich)
Fenster gekippt	0,5 bis 2,0	0,5 bis 2 Stunden
Halb geöffnetes Fenster	5 bis 10	6 bis 12 Minuten
Völlig offenes Fenster	9 bis 15	4 bis 7 Minuten
Querlüftung	40	1,5 Minuten

Sehr dichte Fenster sind ungünstig. Ebenso bringen gekippte Fenster nur einen geringen Luftaustausch. Besser sind kurzzeitig ein offenes Fenster oder eine Querlüftung. Die Argumente, täglich 3- bis 4-mal kräftig lüften bzw. 7-mal (Broschüre vom Umweltbundes Amt [56]), erfordern immer die Anwesenheit eines "Lüfters", ganz zu schweigen von der Gewohnheit und der Einstellung. Auch bei Abwesenheit erhöht sich die Luftfeuchtigkeit z. B. durch die Zimmerpflanzen. Die Lüftung ist die wichtigste Maßnahme, um die Luftfeuchtigkeit in den Räumen zu senken.

In Schweden wurde daher eine zusätzliche Zwangsbe- und Entlüftung eingeführt. Es gibt einfache Systeme, die nur aus dem Schlafzimmer, der Küche und dem Badezimmer die Luft absaugen und durch regelbare Lüfterdosen in den Wänden der Wohnräume Luft nachströmen lassen. Neuerdings werden in Deutschland hochgedämmte dichte Fenster mit undichten Lippendichtungen eingebaut. Die nach einer energetischen Sanierung eingebauten und ständig laufenden Abluftventilatoren in der Wohnung, im Bad oder WC, sollen eine Zwangslüftung bewirken. Ein Abschalten ist natürlich untersagt.

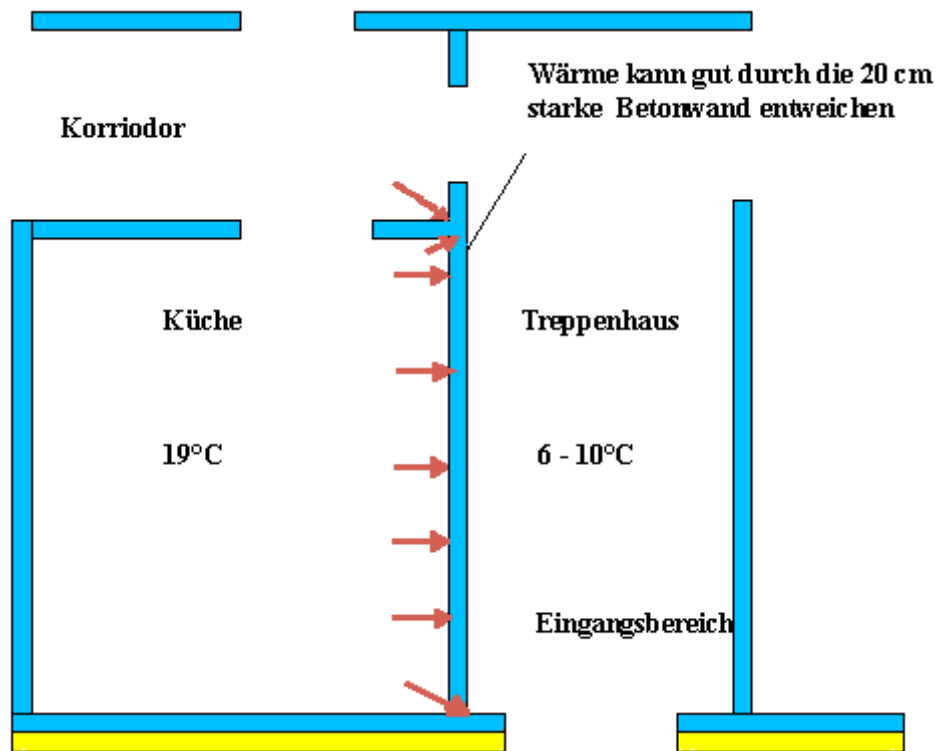
Mit dem Begriff "atmende Wände" werden sicherlich die sorptionsoffene Wandbeschichtung und das Diffusionsgefälle nach außen gemeint. Die Adsorption reguliert den Feuchtehaushalt in der Wohnung, z. B. beim Kochen wird der Wasserdampf kurzzeitig von der Wandfläche aufgenommen und das Kondenswasser schlägt sich nicht bzw. nur wenig nieder. Bei raumhohen Wandfliesen und kurzzeitiger Wasserdampfbildung beim Duschen ist dies gut erkennbar. Das Diffusionsgefälle wird durch die äußere Wandbeschichtung, wie Kunstharzbeschichtung oder das Wärmedämmverbundsystem, ungünstig beeinflusst. Im Extremfall kann sich in dieser Grenzschicht Feuchtigkeit ansammeln. Insgesamt wird durch die Diffusion verhältnismäßig wenig Feuchtigkeit nach außen abgegeben.

Aber, und das wird bei der Lüftungsargumentation vergessen, nur über die ungehinderte Diffusion kann die Wandkonstruktion trocken bleiben. Ist die Wand sehr feucht, so erhöht

sich die Wärmeleitfähigkeit je Baustoff extrem und die Folge ist ein höherer Heizenergieverbrauch. (mehr unter dem Punkt 7.4.5.).

Beispiel: Nach der Fertigstellung der äußeren Wärmedämmung verlagerte sich die kühlere Wandfläche an eine Innenwand zum Treppenhaus. Dies war nach einer Sanierung in Zwickau (2001) (Bild 7.2.6.) der Fall.

Bild 7.2.6: Skizze der Wohnung, wo an der Innenwand Küche zum Treppenhaus sich Schimmelpilz bilden konnte.



Es veränderte sich der U-Wert einer Innenwand aus Beton zu einem ungeheizten Treppenhaus von rechnerisch ca. $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf über $4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Wandfläche wurde durch die ständige Tauwasserbildung an der Oberfläche immer nasser. Die Folge war eine Schimmelpilzbildung. Spätestens bei der rasterförmigen Messung der Oberflächentemperatur, die bei 12 bis 13 °C lag und einer Raumtemperatur von 19 bis 20 °C hätte dem Sachverständigen das Problem einer ungenügenden Wärmedämmung auffallen müssen. Stattdessen wurden fleißig k (U)-Werte berechnet.

In der folgenden Tabelle 5 wird die aus dem Raum abgeführte Feuchtigkeit durch Diffusion und Lüften in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur gegenübergestellt. Auch wenn die durch Diffusion entweichende Wasserdampfmenge geringer als die beim Lüften ist, so kann nur über diesen Trocknungsprozess die Wand austrocknen.

Allerdings steht die notwendige Lüftung im Widerspruch zur alten WSchVO 95 und der neuen EnEV 2000.

In Busse wird auf eine Mindestanforderung an Luftaustausch in Wohnungen von $0,8\text{ h}^{-1}$ gefordert, wonach keine Schimmelpilzbildung erfolgt. Dieselbe Lüftungsrate bzw. etwas mehr wurde von mir bereits 1994 in einem Vortrag in Leipzig gefordert.

Tabelle 5: Gegenüberstellung Wassertransport über die Außenwand und durch das Lüften [60]

Temperatur der Außenluft [°C]	Diffusion durch die Außenwand [g/h]	Durch einfachen Luftwechsel
- 20	5,5	436
- 10	4,8	378
0	3,2	242
+10	0,4	15

Herr Prof. Dr. Hausladen vertrat 1997 die Meinung, dass bei ständiger Einhaltung von Luftwechselzahlen von $0,2$ bis $0,3\text{ h}^{-1}$ keine Schimmelbildung erfolgt. Das Dichtmachen der Gebäude ist der richtige Weg, um die Witterungseinflüsse auszuschalten. Für die geringere Lüftung wurde verschiedene Argumente dargelegt, wie dass die Grenzwerte der Geruchsabgabe (Maßeinheit olf) kaum erreicht werden und für ca. 50% der Menschen eine Luftmenge von $5\text{ m}^3/\text{h}$ ausreicht. Die VDI sieht $30\text{ m}^3/\text{h}$ vor. Frau Prof. Dr. Eicker betrachtete einen Luftwechsel von $0,3$ bis $0,4\text{ h}^{-1}$ plus einer angenommenen unkontrollierten Lüftung, das sind $0,5\text{ h}^{-1}$, als ausreichend. (Im Punkt 8.1.4., Tab. 2 werden die Lüftungsraten gegenübergestellt und es wird deutlich, dass diese nicht ausreichen.) Hier wird mit den hohen Lüftungswärmeverlusten argumentiert, die mit der Dichtheitsprüfung Blower-Door-Verfahren zu überprüfen ist. Nach der EnEV liegt bei einer Fensterlüftung die Lüftungswechselrate zwischen $0,6\text{ h}^{-1}$ mit Nachweis durch das Blower-Door-Verfahren und ohne Nachweis bei $0,7\text{ h}^{-1}$.

Bei Abluftanlagen liegen die Werte zwischen $0,45$ und $0,6\text{ h}^{-1}$. Durch die EnEV 2000 richten sich die notwendigen Lüftungswechselraten nicht nach den hygienischen Erfordernissen, sondern nach anlagentechnischen Möglichkeiten. (Anmerkung: Eine unkontrollierte Lüftung durch Ständerbauwände verursachen Tauwasserschäden infolge von Dampf-Konvektion an der Holzkonstruktion und zuzüglich der beträchtlichen Wärmeverluste, die in diesem Fall auch vermieden werden sollten.) Herr Prof. Dr. Hauser legte 1999 dar, dass bei einer Erhöhung der Luftwechselrate um $0,1$ der Energieverbrauch sich jeweils um $7\text{ kW}/\text{m}^2\text{a}$ erhöht. Bei der vorgesehen hygienisch notwendigen Lüftungsrate von $0,8\text{ h}^{-1}$ entspricht dies $0,8 \times 7\text{ kW}/\text{m}^2\text{a} = 56\text{ kW}/\text{m}^2\text{a}$.

Geringere Lüftungsraten von $0,45\text{ h}^{-1}$ ergeben dagegen nur $31,5\text{ kW}/\text{m}^2\text{a}$, dann fällt das Verhältnis zu den Transmissionswärmeverlusten nicht ganz so krass aus. Ein Ultraniedrigenergiehaus soll nur $30\text{ kW}/\text{m}^2\text{a}$ benötigen und ein Null-Heizenergiehaus kommt mit $16\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ aus. Hier soll nur kurz auf eine Dokumentation eines Projektes zu Niedrigenergiehäusern (BINE v. 1.5.98) eingegangen werden. Bei den 9 Häusern liegt im Schnitt der Wärmeverlust durch Lüftung bei 60% und das entspricht etwa $70\text{ kW}/\text{m}^2\text{a}$. Im Ergebnis wird von einem Luftwechsel von $0,8$ bis $1,3\text{ h}^{-1}$ gesprochen. (Das entspricht auch

etwa der o. g. Aussage von Prof. Hauser.) Damit wird der bereits genannte Wert bestätigt. Die Transmissionswärmeverluste liegen bei $46 \text{ kW/m}^2\text{a}$ bei einem(k) U-Wert = $0,36\text{-}0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Unabhängig davon, dass effiziente energetische Lösungen gesucht werden müssen, stört das Problem „Lüftung“, weil damit alle schön gerechneten Ergebnisse nicht aufgehen. Warum soll man auch 20 oder mehr cm Dämmwolle an die Fassade kleben, wenn ca. das 4fache der Wärmeverluste allein durch das Lüften entsteht. Daher soll die Lüftungsrate so klein wie nur möglich sein. Dann stimmen die Verhältnisse wieder.

Natürlich kann man durch eine Wärmerückgewinnung, wie sie in der Industrie schon sehr lange bekannt ist, durch Gleich-, Gegen- oder Kreuzstromverfahren, erzielen. Mit dieser Technik kann ein Teil des Lüftungswärmeverlustes reduziert werden. Die Effektivität ist abhängig von der Funktionsweise und der Gebäudegröße sowie deren Nutzung. Hier sei nur bemerkt, dass diese Anlagen einer ständigen Wartung unterliegen, sonst können sie schnell zu Brutstätte von Mikroorganismen werden.

Eine der Ursache für die Schimmelpilzbildung ist die Feuchtigkeit in der Luft. Es spielen aber noch weitere Kriterien eine Rolle, die für eine Ursachenfindung wichtig sind. Daraus lassen sich dann geeignete Maßnahmen für Schadensbeseitigung ableiten. Nachfolgend werden 3 Beispiele aufgezeigt (Bild 7.2.7. bis 7.2.10.), wo das Schadensbild gleich aussieht, aber unterschiedliche Ursachen vorliegen und folglich auch andere Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind. Es hat sich Schimmelpilz an der Außenwand über der Fußbodenleiste gebildet. Das sind in der Regel die weniger warmen Wandoberflächen in den Wohnungen, wo sich sehr schnell Tauwasser bilden kann bzw. lange Zeit eine hohe Luftfeuchte vorliegt und so die Grundlage für die Schimmelpilzbildung gegeben ist.

Bild 7.2.7.: Hier handelt es sich um eine 24er Ziegelaußenwand in der III. Etage. Die Wärmedämmeigenschaft dieser Außenwand ist zu gering. Zusätzlich wirkt ein Abkühlungseffekt (frei stehendes Eckhaus). Auch wenn eine Außendämmung keine ideale Wandkonstruktion darstellt, so hätte sie in diesem Fall eine sinnvolle Funktion.



Bild 7.2.8.: In dieser Erdgeschosswohnung liegt eine Durchfeuchtung des Außenmauerwerkes über das Kellergewölbe vor. Rechts eine Vergrößerung des Schadensabschnittes. Hier würde der Einbau einer Randleistenstrahlenheizung das Problem lösen. Durch die höhere Temperatur kann sich über dem Fußboden kein Kondensat mehr bilden und das Mauerwerk kann die Zeit austrocknen.



Bild 7.2.9.: Vergrößerte Ansicht von Bild 7.2.8. Schimmel direkt über der Fußbodenleiste.



Bild 7.2.10.: In diesem Fall lag eine erhöhte Luftfeuchtigkeit durch den langen Leerstand des Hauses und der folgenden Baufeuchte durch die Sanierung vor. Ein Jahr später waren die Luftfeuchte und die Feuchtigkeit im Mauerwerk niedriger, sodass dieser Schaden nicht mehr in dieser Form auftrat.



7.3. Andere bauphysikalische Einflussfaktoren - Wärmebrücken an der Bauhülle

7.3.1. Was sind Wärmebrücken

Die wichtigsten Problembereiche werden in den nachfolgenden Punkten dargestellt. Dabei kann nicht auf die Gesamtheit aller bauphysikalischen Zusammenhänge eingegangen werden. Zur Ergänzung und zum Verständnis sind ausgewählte Kenngrößen werden in der Anlage 9 aufgeführt.

Wärmebrücken entstehen an kritischen Stellen in Gebäude. Das sind kalte Oberflächen, die durch materialspezifische Eigenschaften oder konstruktive Mängel verursacht werden. Diese werden dann deutlich, wenn sich die angrenzende Raumluft deutlich abkühlt. Die Folge ist eine Kondensatbildung an der Oberfläche. An der Fensterscheibe an einem kalten Wintertag ist dies deutlich zu erkennen. Die Eigenschaften der Baustoffe werden durch die Struktur und Dichte bestimmt, die verantwortlich für die Dämmeigenschaft (Wärmeleitfähigkeit u. a.) ist.

Beton, Stahlbeton und Metalle sind gute Wärmeleiter und führen schneller die Wärmeenergie von der warmen Wandoberfläche (innen) an die kühlere (außen) ab. In der Praxis ist dies beim LötKolben deutlich zu erkennen. Im hinteren Teil wird das Kupferstück durch eine elektrische Heizung erwärmt und die Spitze ist sehr schnell warm. Weiterhin nehmen schwerere Baustoffe in der Regel mehr Wärme als leichte auf und können diese Energie auch speichern. Diesen Effekt kann man deutlich feststellen, wenn man sich auf eine Stein- oder vergleichsweise auf eine Holzbank setzt. Hierfür ist der Wärmeeindringkoeffizient λ verantwortlich (Anlage 9). Es sind daher solche Baustoffe auszuwählen, dass alle innen liegenden Bauteiloberflächen annähernd eine gleiche Oberflächentemperatur aufweisen. In der Tabelle 6 werden ausgewählte Problembereiche aufgeführt.

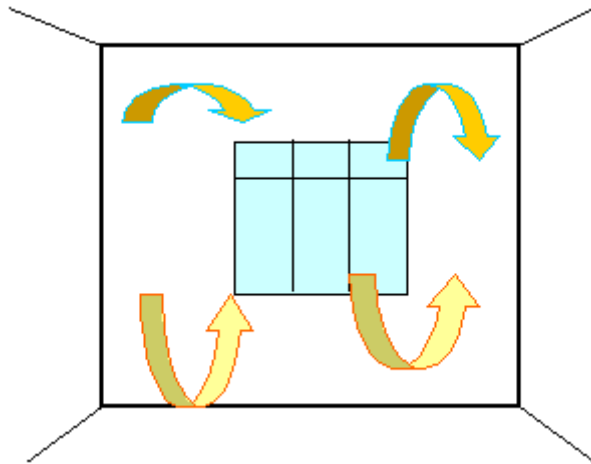
Nach dem die konstruktiven Schwachstellen genannt wurden, soll auf eine natürliche Erscheinung hingewiesen werden, die nicht beachtet wird. In jedem Raum gibt es eine Luftwalze (siehe Bild 7.3.1.1.) und besonders in den Räumen, wo eine Konvektionsheizung vorhanden. Warme Luft bewegt sich aufgrund ihrer geringeren Dichte nach oben und bei ihrer Abkühlung sinkt sie wieder nach unten. Bei der Abkühlung nimmt auch die relative Luftfeuchtigkeit zu. Wird ein Bauteil mit wesentlich niedrigerer Oberflächentemperatur angeströmt, so wird an dieser Stelle die relative Luftfeuchtigkeit sehr hoch und es kann im Extremfall zum Feuchtigkeitsausfall kommen.

Oft erhöht sich nur die Luftfeuchtigkeit an dem betreffenden Bauteilabschnitt oder an dem Möbelstück, so dass eine Feuchte erreicht wird, wo sich die in der Luft befindlichen Pilzsporen und Myzel stark vermehren können. Ungünstiger ist es, wenn die Luftwalze im Raum nur teilweise funktioniert und an Randbereichen nur ein geringer Luftaustausch erfolgt. Das können Möbel, große Vorhänge oder aber auch unzuverlässig angeordnete Heizkörper sein. Gerade in sehr breiten oder langen Räumen und im Eckzimmer (zwei Außenwände) sind oft zwei kleinere Heizkörper zweckmäßiger als ein großer.

Tabelle 6: Ausgewählte Problembereiche, die zur Tauwasserbildung führen.

Problembereiche in einem Gebäude		
Konstruktiv vorhanden	Konstruktive Veränderung	Nutzung
1. Bauwerksöffnungen	1. Innendämmung	1. Möblierung
2. ungenügende Außendämmung	2. Diffusionsdichter Baustoff	2. Wandvorhänge
3. ungeheizte Räume	3. teilweise Außendämmung	3. falsche Lüftung
4. feuchte Baustoffe	4. luftdichte Fenster	4. Heizkörperanordnung
5. Materialanordnung	5. Schwachstellen beim Dachausbau	5. ungenügende Heizung
6. Kanal und Schächte	6. Wintergärten, Erker	6. Raumvolumen je Person
7. Leitungsführungen	7. Bauschäden an Gebäudehülle	
8. geometrisch bedingte Wärmebrücken	8. undichte Dampfsperren und Durchfeuchtung der Dämmung	
9. Vorsprünge, Balkone		
10. Deckenaufleger		
11. Stützen		
12. Rollladenkästen		
13. Kellerdecken u. -wände		
14. unbelüftbare Räume		

Bild 7.3.1.1.: Durch die Luftwalze können der Raum und alle Wände gleichmäßig erwärmt werden.



Nachfolgend sollen spezielle Fälle dargestellt werden. Sind z. B. Möbel, große Bilder, Vorhänge und andere Einrichtungsgegenstände an einer kalten Wandoberfläche aufgestellt bzw. vor gehängt, ohne dass die Wandflächen hinreichend erwärmt werden können (siehe Bild 7.3.1.2.). Es besteht die Gefahr der Schimmelpilzbildung. Hier wirken meist zwei Kriterien. Es kommt nur sehr wenig Raumluft zwischen den Einrichtungsgegenständen und der Wandoberfläche, diese kühlen so stark ab, dass es zum Feuchtigkeitsausfall kommt. Diese Feuchtigkeit kann durch die fehlende nachströmende wärmere Luft nicht ausreichend abtrocknen. Dieses Problem kann man besonders bei Wandverschalungen beobachten. (Vergleiche Bild 4.2 im Punkt 4.)

Bei einem anderen Praxisfall war die Rückseite der Schrankwand bereits nach 4 Jahren total verfault. In diesem Fall war sicherlich auch im Winter der Frostaupunkt bis in den Schrank gewandert. Das Problem kann durch ausreichende Hinterlüftung (konvektive Luftströmung im Bereich der dahinter liegenden Putzoberfläche) behoben werden. Dies kann bauphysikalisch mit einem verringerten Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben werden. Nach [55] wird für den frei stehenden Schrank ein Wert von $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgeschlagen.

Ein weiterer Schadensfall wird im Bild 8.1. beschrieben. Der Schrank wird von der kalten Wand vorgezogen und an der Vorderseite werden unten Lüftungsschlitze angebracht (Bild 7.3.1.3.). Früher standen die Schränke auf Beine und heute werden Blenden vorgesetzt. Oft reicht es bereits aus, wenn diese Blenden entfernt oder entsprechende Öffnungen angebracht werden. Die Vorhänge sollten nicht bis in die kalte Zimmerecke und durchgehend (Boden-Decke) angehängt werden. Die Problembereiche müssen nicht immer Außenwände, sondern können auch Wandflächen zu Treppenhäusern oder kühleren Zimmern, wie die Abstellkammer, nicht genutztes Gästezimmer oder das Schlafzimmer, sein.

An kühlen Tagen sind auch diese Räume wenigstens stundenweise gering durch die eingebauten Heizkörper zu beheizen. Eine Klimatisierung durch offene Zimmertüren ist falsch, da die wärmere Luft eine höhere absolute Feuchte besitzt. Da die Zimmerwände in der Regel dünn sind, erfolgt eine indirekte Beheizung der nicht beheizten Räume. Es erfolgt damit kaum eine Energieeinsparung, da in den beheizten Räumen um so mehr Wärme benötigt wird. Das lässt sich sehr leicht feststellen, in dem man einfach die verbrauchten Energie-Einheiten über einen bestimmten Zeitraum vergleicht.²

Was nicht beachtet wird, die Wandoberfläche zu den kühleren Räumen hat auch eine niedrigere Oberflächentemperatur. Neben dem Anstieg der relativen Luftfeuchte tritt aber auch der Aspekt der Behaglichkeit auf. Die Temperatur der Umgebungsfläche sollte

gegenüber der Raumlufttemperatur nicht größer als 2 bis 3 K betragen. Die niedrigere Oberflächentemperatur führt zu einer negativen Wärmestrahlung und wird als unangenehm empfunden. Die Folge ist eine Erhöhung der Raumlufttemperatur. Auch aus diesem Grund sind Strahlungsheizungen aus wirtschaftlicher Sicht besser.

Bild 7.3.1.2. :Warme Luft kann die Wandfläche hinter den Möbeln nicht erwärmen und die feuchtere Luft abführen. Über längere Zeit kommt es so zur völligen Durchfeuchtung der Oberfläche und auch der Wand.

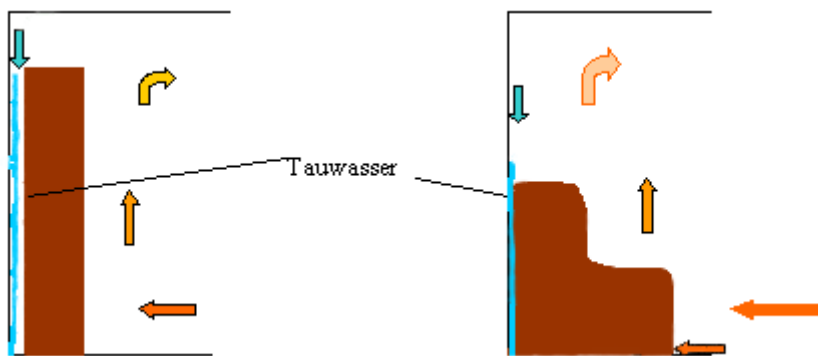


Bild 7.3.1.3.: Hier kann die Luft ungehindert zwischen der Wandfläche und den Möbeln durchströmen und die Gefahr einer Durchfeuchtung der Wandoberfläche wird verringert. Es reichen hier oft bereits wenige Zentimeter.

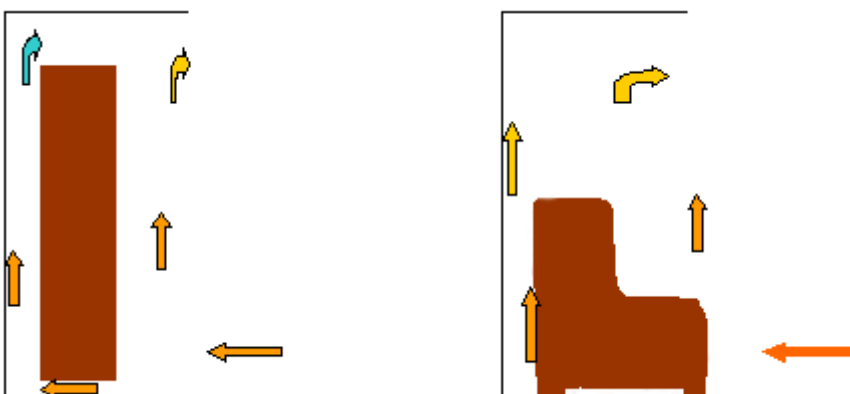


Bild 7.3.1.4. Schimmelpilz hinter einem Schrank



Bild 7.3.1.5. : Schimmelpilz hinter dem Sofa



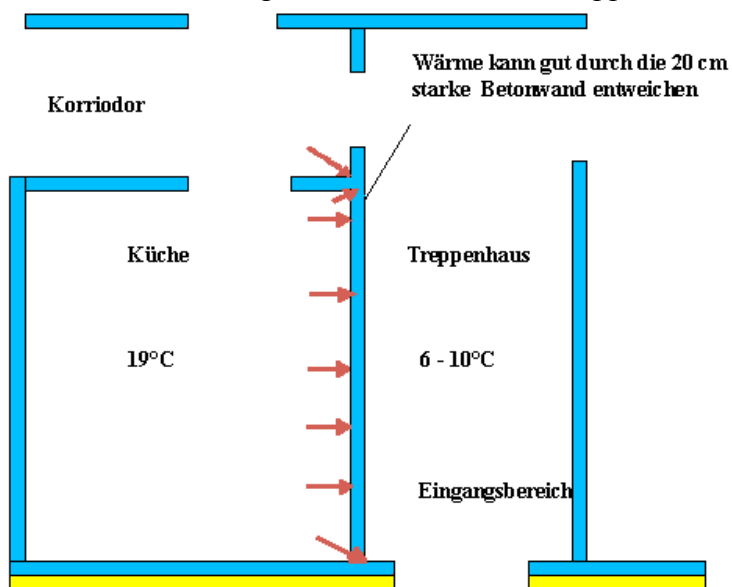
Im Bild 7.3.1.4. hat sich in der Küche zwischen der Außenwand und dem Küchenschrank Schimmelpilz gebildet. Hier konnte überhaupt keine Luft ausgetauscht werden. Begünstigt wurde diese Schädigung zusätzlich durch das Verstellen von Reinigungsgeräten, Taschen und dergleichen.

Im Bild 7.3.1.5. befindet sich das Sofa an einer Innenwand zum kalten Treppenhaus im Erdgeschoss. Die Hoftür steht sehr oft offen, sodass es im Treppenhaus kühl ist. Rechts ist noch die geometrische Wärmebrücke (Zimmerecke) zu erkennen. Auch wenn hier die zu hohe relative Luftfeuchte verringert werden würde, bleiben (zwar etwas geringer) die Schadensbereiche. Hier hilft nur eine Temperierung der Wandfläche durch eine Randleistenstrahlungsheizung oder ein Heizkörper im Treppenhaus bei gleichzeitig besseren Verhalten der Hausbewohner (Hoftür schließen).

7.3.2. Die Außendämmung - Probleme und Lösungen

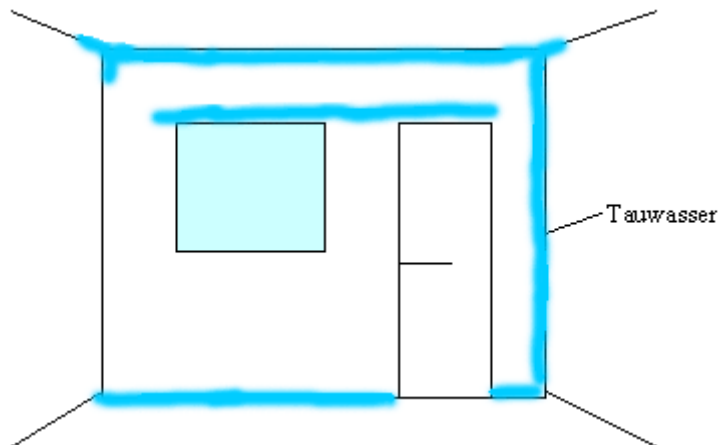
Da gerade in der vergangenen und jetzigen Zeit, wo auch die Wohnhäuser in Blockbauweise (Q 3 A oder Q 6) verstärkt saniert wurden, ist das nachfolgende Beispiel interessant. (Bild 7.3.2.1.) In der Küche im Erdgeschoss gab es bisher 2 kühlere Wandoberflächen. Die an der Außenwand mit dem Fenster und die Wand zum unbeheizten Treppenhaus.

Bild 7.3.2.1.: Wohnungsansicht, Küche zum Treppenhaus



Durch die neue Wärmedämmung und der Austausch der Fenster wurde die dünne Innenwand zum Treppenhaus zur kühleren Wandfläche. Hier bildete sich an der Oberfläche Kondensat. Bei der Sanierung in Leipzig hatte man im Rahmen der Sanierungskonzeption gleich einen Heizkörper neben dem Hauseingang aufgestellt. Dadurch wird die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Innenräumen verringert. Im o. g. Fall wurde eine Silicatplatte als Innendämmung angebracht und so die Temperatur an der Wandoberfläche erhöht. (Der Heizkörper sollte aus irgendwelchen technischen Gründen nicht installiert werden können.)

Bild 7.3.2.2.: Schadensbilder bei Außenwandflächen, wo bevorzugt eine höhere Feuchte vorliegt.



An den Zimmerecken (Bild 7.3.2.2.) zur Außenwand sind alle kühleren kritischen Bereiche dargestellt. Hier besteht die Gefahr der Bildung von Schimmelpilz. Der Grund hierfür sind die größeren Außenflächen (Kühlrippeneffekt), Tüerstürze mit schlechterer oder fehlender Wärmedämmung, Balkonplattenanbindung u. a. Im nachfolgenden Infrarotbild (Bild 7.3.2.3.) wurde überprüft, ob die Bereiche der Zimmerdecke allein für die Schimmelpilzbildung verantwortlich sind. Es handelte sich hierbei um eine Einraumwohnung. Neben dem Fenster befinden sich große Fenstervorhänge, ebenso wurde die große Eckcouch vor die Außenwand gestellt. Damit war zum großen Teil die Luftwalze (siehe Bild 7.3.1.1) behindert und konnte die Außenwand nicht ausreichend temperieren. Dies ist sehr gut in dem Streifen mit niedriger Oberflächentemperatur erkennbar. Gleichzeitig lag die relative Luftfeuchte bei ca. 55%. Die gemessene Temperaturdifferenz liegt bei ca. 2,5 bis 3K (bis auf den Eckpunkt) und ist für Schimmelpilzbildung im Eckbereich zur Decke allein nicht verantwortlich. Die Außentemperatur lag bei ca. -3 bis -4°C. Von dem Mieter wurde ein Baumangel angezeigt.

Bild 7.3.2.3.: Infrarotaufnahme einer Außenwanddecke

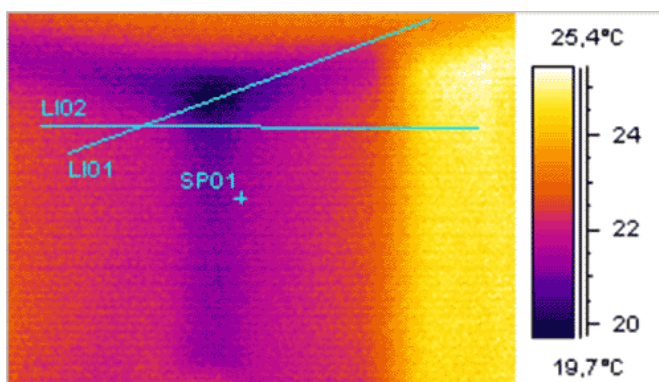
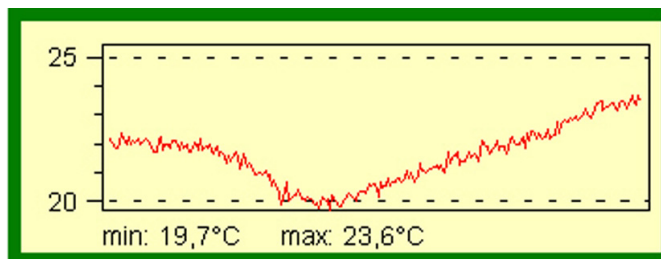


Bild 7.3.2.4.: Isotherme LIO1 aus dem Bild 7.3.2.3.



Hier konnten mehrere Probleme festgestellt werden, die für die Schimmelpilzbildung im Eckbereich verantwortlich war. Die Einraumwohnung hat nur 1 Fenster und damit ist eine Querlüftung nicht möglich. Von der Hausverwaltung wurde der Mieterin vorgeschlagen, das Treppenhausfenster zu öffnen und so eine Querlüftung zu garantieren. (?) Stattdessen hätte eine Zwangslüftung über eine Lüftungsanlage im Bad erfolgen müssen. Das Zimmer und damit die Wohnung besteht durch die Erkerabstufung zu mehr als 30% aus einer Außenwand. Von der Projektseite ist das eine sehr ungünstige Lösung, da die Standflächen für Möbel sehr reduziert sind.

Das, was sonst im Wohn- und Schlafzimmer aufgestellt wird, befindet sich in einem Raum. Hinzu kommt, dass man sich hier den ganzen Tag aufhält. Bei einer Zweiraumwohnung erfolgt ein Wechsel zwischen Schlafen und täglichen Lebensablauf. Damit verteilt sich auch die Feuchtebelastung auf unterschiedliche Räume. Es wurde empfohlen die Lüftungsgewohnheit zu verändern, mehrere Male am Tag je nach Bedarf unter Nutzung eines Hygrometers. Die große Eckcouch sollte vom Fenster etwas abgerückt werden, damit die Wirkung der Konvektorheizung nicht so eingeschränkt ist und die Vorhänge sollten etwas verändert werden. Zusätzlich sollte sich die Mieterin überlegen, welche der zahlreichen Zimmerpflanzen im Winter im Treppenhaus aufgestellt werden können.

Bei den nächsten Malerarbeiten sollte eine andere Beschichtung gewählt werden, z. B. Silicatfarbe. Bei der Besichtigung waren die Wände und die Decke mit Glasfasertapete und Dispersionsfarbe beschichtet. Die gleichen Probleme traten auch bei zwei anderen Einraumwohnungen im selben Haus auf.

In den nachfolgenden Abbildungen werden ausgewählte Einzelfälle genauer dargestellt.

Geometrische Wärmebrücke (Bild 7.3.2.5. und 7.3.2.7.):

Lösung: Ist durch geometrische Gegebenheit nur begrenzt möglich. Raumecken ausreichende Luftzirkulation, Lüftungsgewohnheiten überprüfen, Innentemperatur erhöhen, anbringen eines Wärmedämmsystems an der Außenwand, auf jedem Fall weit genug um die Ecke anbringen (Bild 7.3.2.6.)

Bild 7.3.2.5.: Raumecke **Bild 7.3.2.6.: Raumecke mit Dämmung**

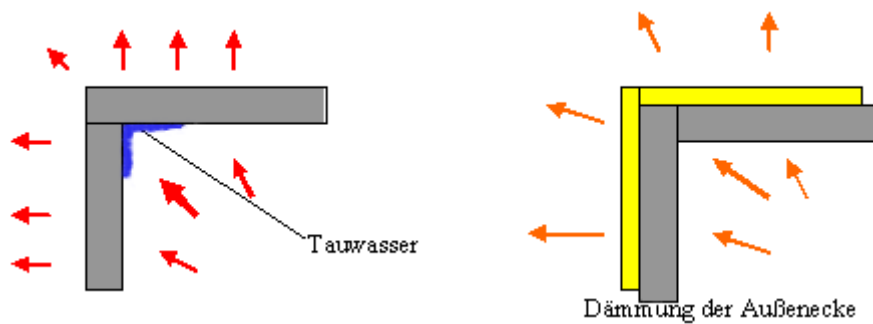


Bild 7.3.2.7.: Hier wird eine typische Außenecke gezeigt, neben altersbedingten Putzschäden erkennt man gut die schimmelpilzbefallene Wandfläche.



Im Bild 7.3.2.7. befand sich im Sockelbereich eine Holzverkleidung mit loser Glaswolle. Durch diese unsachgemäß ausgeführte Innendämmung wurde die Oberflächentemperatur an der Putzoberfläche zusätzlich herabgesetzt und es konnten sich massiv Schimmelpilze hinter der Holzverkleidung bilden, die äußerlich nicht sichtbar waren.

Im Bild 7.3.2.8. wird ein vergleichbarer Eckbereich gezeigt, wo eine äußere Wärmedämmung (WV-System) angebracht wurde. So kann in den kritischen Eckbereichen die Innenoberflächentemperatur erhöht werden.

Bild 7.3.2.8.: Eckansicht einer äußeren Wärmedämmung



Diese Wärmebrücken treten nicht nur an Außenwänden auf, sondern auch an Innenwänden zum kalten Treppenhaus, wie hier in diesem Beispiel hinter dem Sofa im Bild 7.3.2.9.

(Temperatur im Treppenflur 6 °C und Außentemperatur 3 °C.) Eine Lösung wurde bereits bei der Beschreibung zum Bild 7.3.2.1. vorgestellt. Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung der Schimmelpilzbildung kann durch eine Temperierung der kühleren unteren Wandabschnitte erfolgen. Es wird eine Strahlenbandheizung oder eine kleine Wandheizung angebracht. Es gibt hier verschiedene Möglichkeiten. Die einfachste Form ist, wenn die Zuleitungen der Warmwasserheizung ohne bzw. nur mit teilweiser Dämmung in der Sockelleiste an diesem Wandabschnitt entlang verlegt werden. Es gibt auch eine ca. 20 cm breite elektrische Heizfolie. Diese wird unter die Tapete an die Wand geklebt. Über eine Zeituhr oder einen Temperaturfühler kann so die Wandoberflächentemperatur je nach Bedarf um 2 oder mehr Grad angehoben werden.

Damit wird auch zusätzlich die Luftzirkulation verbessert. Hat man im Eckbereich der Außenwand ein solches Problem und die Zuleitung für die Warmwasserheizung, so entfernt man nur ein Stück des Isolierschlauches. Ansonsten müsste eine kleine Rohrleitungsschleife eingebunden werden.

Bild 7.3.2.9.: Wärmebrücke an einer kalten Innenwand



Gerade beim Anbringen des Wärmedämmverbundsystems werden die Balkonplatten vergessen (Bild 7.3.2.10. und 7.3.2.11.). Durch die höhere Wärmeleitfähigkeit des Betons gegenüber der Außenwand muss die Platte von unten und oben ausreichend mit einer Dämmung versehen werden. Im Bild 7.3.2.12. wird ein Schadensbild einer Balkonanbindung gezeigt.

Bild 7.3.2.10. : Betonplatte oder auskragender Balken **Bild 7.3.2.11.:** Lösungsmöglichkeit

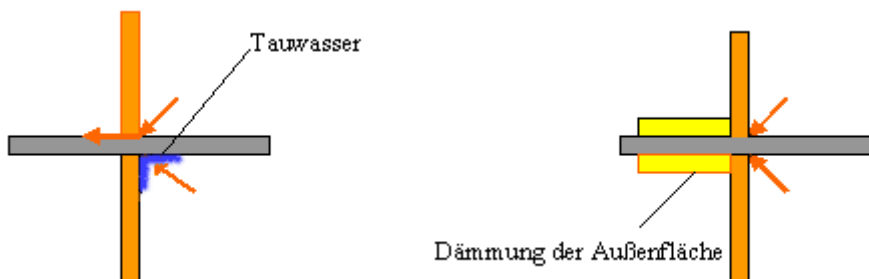


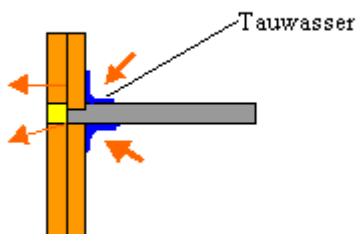
Bild 7.3.2.12.: Neben der unzweckmäßigen Ausführung wirkt hier zusätzlich die Balkonplatte als Wärmebrücke.



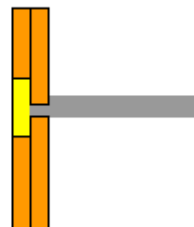
Bei einer in der Außenwand eingebundenen massiven Decke kann verstärkt Wärme abfließen, wenn die berührende äußere Wandfläche eine geringere Wärmedämmung als die angrenzende hat. (Bild 7.3.2.13. und Lösung Bild 7.3.2.14.). Diese gleichen Probleme treten auch auf, wenn das Wärmedämmsystem nicht ordnungsgemäß den Ringanker bzw. den Traufbereich isoliert. Erkennbare Merkmale sind die Schimmelpilzstreifen an der Außenwandfläche unter der Decke oder auch über dem Fußboden. Gleiche Probleme treten auch an Decken von Erker auf, wenn sich darüber ein Balkon befindet und die Decke nicht ausreichend wärmegeklämt wurde.

Bild 7.3.2.13.: Wandaufleger einer Massivdecke

Bild 7.3.2.14.: Lösungsmöglichkeit



Dämmung



Die aus Beton bestehenden Fensterstürze und auch Fensterrahmen haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit als vergleichsweise die Außenwand. Eine Einbindung muss daher sehr sorgfältig erfolgen. Bei einer Außendämmung von 6 cm ist dagegen die Isolierung in der Fensterlichten oft nur 1 bis 2 cm oder fehlt ganz. Im Bild 7.3.2.15. kann die Wärme über den Sturz (gute Wärmeleitung) nach außen entweichen. Im Bild 7.3.2.16. wird der Sturz mit einer Wärmedämmung sorgfältig eingehüllt und die Wärmebrücke wird damit beseitigt.

Bild 7.3.2.15.: Fenstersturz
die Ecke gezogenen.

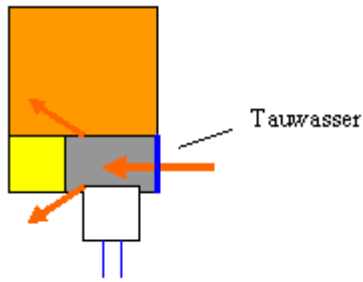
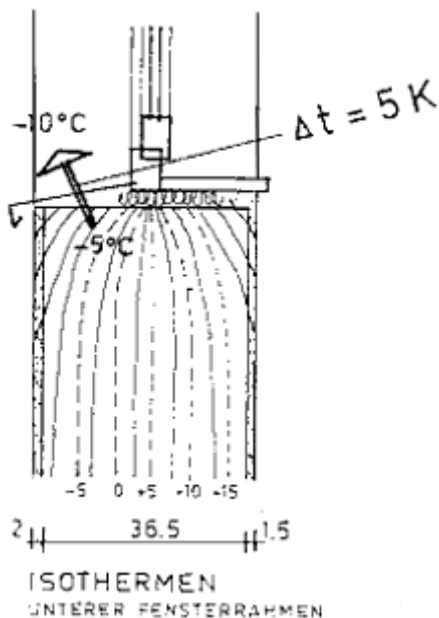


Bild 7.3.2.16.: Lösungsmöglichkeit: Die Dämmung ist um

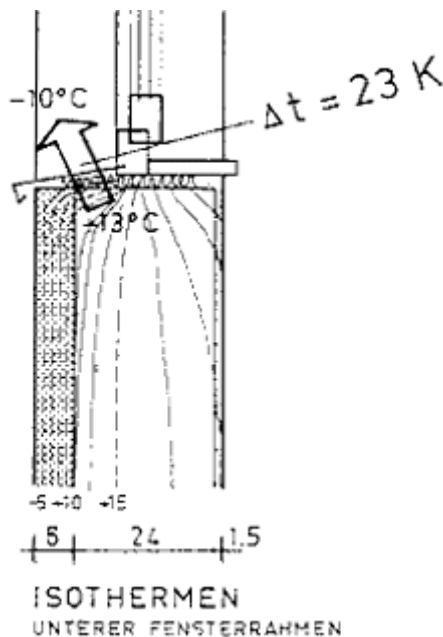


In den Bildern 7.3.2.17. und 7.3.2.18. [61] wird der Temperaturverlauf an einer un- und gedämmten Außenwand dargestellt. An einer ungedämmten Wand sind die Temperaturunterschiede großflächig verteilt. Die Oberflächentemperatur an der Innenseite ist niedriger. Bei gedämmten Bauteilen kann gerade an Wanddurchbrüchen, wie Fenster und Türen, keine durchgängig gleichmäßige Dämmstoffdicke angebracht werden. Es entstehen dadurch lokale Wärmebrücken. Im rechten Bild wird hier eine Temperaturdifferenz von 23 K deutlich. Die Folge sind lokale Durchfeuchtungen. Auch bei dem Anschluss eines Dachfensters tritt diese Problematik auf. Das sind unter Umständen auch die Ursachen der Durchfeuchtung der Dämmung zwischen den Sparren im Dachgeschoss. Die eigentlichen Probleme sind hier jedoch die fehlerhafte Dampf- bzw. Windsperre.

Bild 7.3.2.17.: Temperaturverlauf an einem Fensteranschluss ohne Außendämmung



7.3.2.18.: Temperaturverlauf an einem Fensteranschluss mit Außendämmung (rechts)



7.3.3. Die Innendämmung - Probleme und Lösungen

Wenn eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich ist, so ist diese grundsätzlich auf der Außenseite derselben Außenwand anzubringen. Eine Innendämmung erfolgt nur dort, wo das Anbringen einer Außendämmung nicht möglich ist, z. B. bei denkmalgeschützten Gebäuden, Dachausbau oder die Isolierung einzelner Wandabschnitte und wo eine komplette Außendämmung aus wirtschaftlichen Überlegungen derzeit nicht möglich ist.

Durch die Innendämmung steigt die Oberflächentemperatur (vgl. Anlage 3, Variante 4 und 5) an der Innenwand, jedoch kühlt das gedämmte Bauteil hinter der Innendämmung, also auf der Außenseite ab. Im Winter bei einer niedrigen Außentemperatur wandert der Frostpunkt weiter in die Konstruktion. Hat die Wandkonstruktion eine gewisse Feuchtigkeit, so werden nicht nur die Randbereiche des Wandquerschnittes durch den Taupunktwechsel geschädigt. Langfristig kann es so zu einem vorzeitigen Baustoffverschleiß auch über den Randbereich kommen.

Der Verschleißgrad ist abhängig vom Material, der Feuchtigkeit im Wandquerschnitt und vor allem von den äußeren klimatischen Bedingungen. Durch die angrenzenden Bauteile (Wände, Decke, Böden) kann die Innendämmung nur teilweise ausgeführt werden (weitere Ausführungen im Punkt 7.5.4.). Durch die anzubringende Dampfsperre¹⁰ soll der Dämmstoff vor Feuchtigkeit aus der Raumluft geschützt werden, da sonst die Dämmwirkung sehr stark gemindert wird. Die Mineralfasern sehen nach der Wasseraufnahme weiß aus, sind vollständig getränkt und bilden Klumpen. Durch die Dampfsperre wird jedoch die Sorption (Fähigkeit der Baustoffe, Wasserdampf aufzunehmen und wieder abzugeben) verhindert und es kann beim Auftreten einer hohen Raumluftfeuchtigkeit schneller zu Tauwasserbildung kommen. Im Bild 7.3.3.1. und 7.3.3.2. kommt es zur möglichen Tauwasserbildung an den Anschlussstellen zu den anbindenden Bauteilen (Wände und Decke) und so zur Schimmelpilzbildung.

Maßnahmen: Ein ausreichendes Heizen und Lüften besonders nach dem Kochen, Duschen u.a. vermindert eine Tauwassergefährdung an den Anschlussstellen. Bei der Innendämmung

kommen vor die Dampfsperre sorptionsoffene Baustoffe, wie Gipskartonbauplatten oder ein Kalk- oder Gipskalkputz. Unterbrechung durch Wände, Decken und Böden, sind um 1 m in den Raum hinein zu verlängern (Bild 7.3.3.3.). Bei ordnungsgemäßer Ausführung (Vermeidung von Fugen an den Anschlussstellen und Verbindungen) gibt es bei der Verwendung von Gipskartonverbundplatten (1,25 cm Gipskarton und 2,0 cm Styropor) nur kleinere Probleme. Dies zeigt sich in einer Temperaturdifferenz an der Oberfläche von etwa $> 2\text{K}$ zwischen der gedämmten und nicht gedämmten Wandoberfläche. Das kann unter Umständen lokal zur Schimmelpilzbildung führen, meist ein kleiner Streifen. Wichtig ist hier auch, dass alle Fugenstöße mit Dämmstoff ausgefüllt sind, sonst kann es auch zur Konvektion hinter den Platten kommen. Diese Anschlussstellen sollten daher nicht durch Einrichtungsgegenstände verstellt werden, damit eine Kontrolle möglich ist.

Eine bessere aber auch teurere Möglichkeit ist der Einsatz von 2,5 cm starken Kalzium-Silikat-Platten (vgl. weitere Ausführungen im Punkt 7.5.4.).

Bild 7.3.3.1.: Mögliche Tauwasserbildung an den Wandanschlüssen.

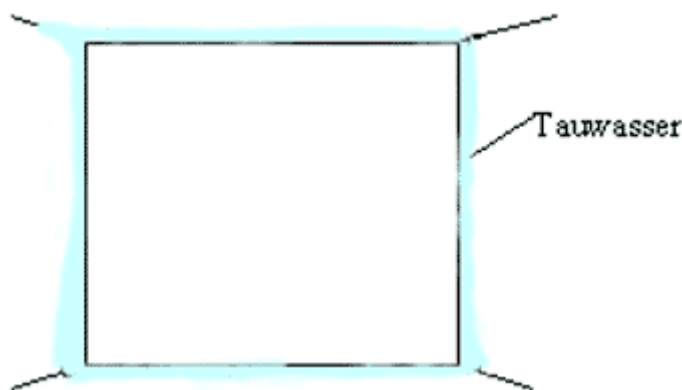


Bild 7.3.3.2.: Schnittansicht zum Bild 7.3.3.1. gezogene Dämmung

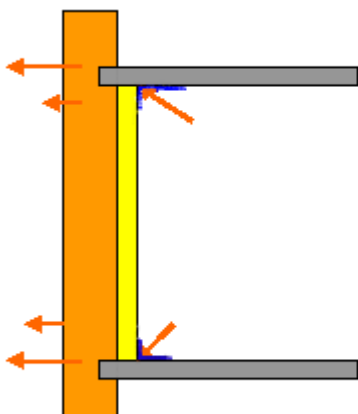
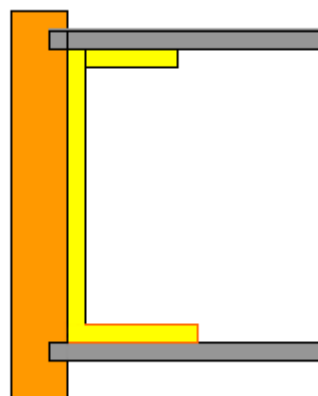


Bild 7.3.3.3.: In den Raum



7.3.4. Dachgeschossausbau - Probleme und Lösungen

Das D a c h hat die Aufgabe des Wetterschutzes. Im nicht ausgebauten Dachraum können Schäden an der Dachhaut sehr gut kontrolliert werden. (Grundsätzlich sollten Holzteile von mindestens drei Seiten kontrollierbar sein, um eventuelle Holzschäden zu erkennen.) In der Regel verfügen solche Dächer über eine ständige Querlüftung (von Giebel zu Giebel). Kleine

Mengen eintretender Niederschlagsfeuchtigkeit oder Kondenswasserbildung unter der Dachhaut werden durch diesen Luftstrom abgelüftet und sind damit unproblematisch.

Zur Vergrößerung der nutzbaren Mietfläche werden diese ausgebaut. Neben der Einschränkung der Sichtkontrolle des Zustandes des Daches, wodurch kleine Schäden unbemerkt bleiben, wie mögliche Wärmebrücken und eine Feuchtigkeitsbildung. Der Dachausbau ist seinem Wesen eine Innendämmung mit allen Kriterien, die dabei wirksam werden können. Im Bild 7.3.4.1. und 7.3.4.2. wird ein Sparrendach gezeigt, wo markante Punkte der Schimmelpilzbildung aufgezeigt werden.

An schlecht isolierten Flächen und Fugen kommt es zur Abkühlung an der Oberfläche und so zur Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. Ganz wichtig ist hier eine einwandfreie Fugendichtheit, da an diesen Stellen die Dämmwirkung „aufgehoben“ wird und zusätzlich zu einer Feuchtigkeitsbildung in der Dämmung und so auch an der Innenfläche kommt. Im Infrarotbild (Bild 7.3.4.4.) kann man deutlich (dunkel) eine Fehlstelle der Dämmung erkennen. In den Bildern 7.3.4.3. werden Lösungen aufgezeigt. Für eine gute Funktionsfähigkeit ist ein durchgängiges System (Fläche) aufzubauen. Je einfacher eine Dachkonstruktion ist, so weniger Problembereiche treten auf. In der Praxis werden jedoch Pfettendächer mit Gauben ausgebaut. Hier sind extra die Pfosten, Kopfbänder, Doppelzangen und die Mittelpfette richtig einzubinden. Bei diesen Konstruktionsformen ist eine Fugendichtheit nur über einen sehr großen materiellen und zeitlichen Aufwand möglich.

Bild 7.3.4.1.: Dachausbau mit Schadensbilder

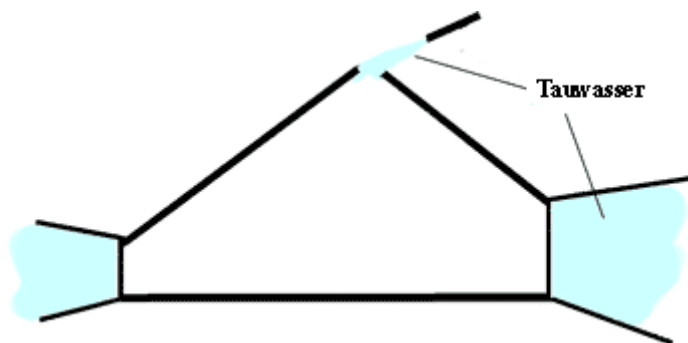


Bild 7.3.4.2: Die Schnittansicht zum Bild 7.3.4.1. Wenn die Dämmung nicht durchgängig eingelegt wird, kann die Wärme direkt nach außen entweichen. Hier spielt die Wärmekonvektion eine große Rolle.

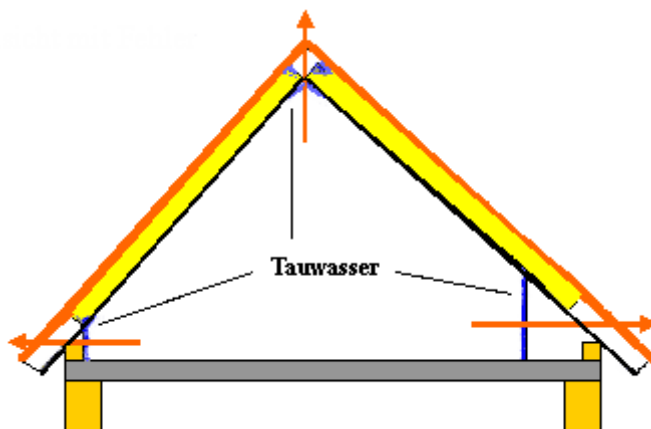


Bild 7.3.4.3: Durch eine veränderte Anordnung der Dämmung, kann eine gleichmäßige Dämmung erreicht werden.

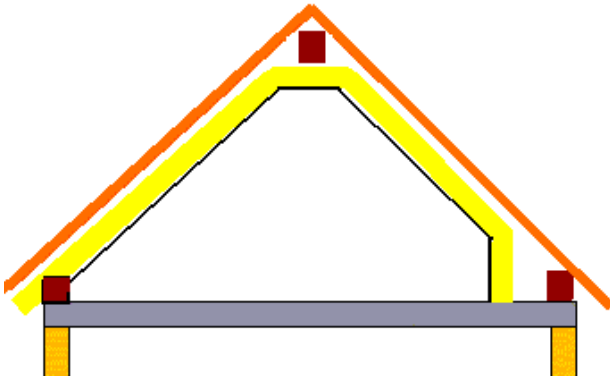
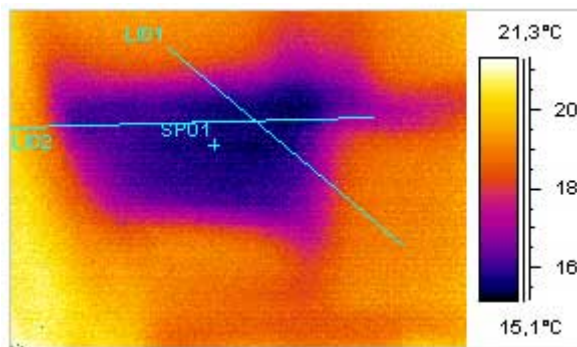


Bild 7.3.4.4.: Dieses Infrarotbild einer Decke im Dachgeschoss zeigt eine Fehlstelle in der Dämmung. Auf der kühleren Oberfläche der Gipskartonplatte bildet sich im Verlauf der Zeit ein dunkler Fleck.



Im Bild 7.3.4.5. wird der Aufbau an einem Kehl- und Gratbalken gezeigt. Hier wird deutlich, dass die Herstellung einer gleichmäßigen und fugendichten Ausführung nur sehr schwer ausführbar ist. Im Bild 7.3.4.6. wurde eine Abseitwand geöffnet. Die Dampfbremse ist vollkommen unbrauchbar. Es kann so die warme Innenraumluft entweichen. Alle Leitungen sollten zwischen Abseitwand und der Dampfbremse verlegt werden, damit möglichst wenige Durchdringungen erforderlich sind. Diese bilden immer eine Schwachstelle bei einer Innendämmung.

Bild 7.3.4.5.: Dämmung an einem Kehlbalken



Bild 7.3.4.6.: Dämmung und Dampfbremse hinter der Abseitwand



In den nachfolgenden Bildern werden die Problembereiche der ordnungsgemäßen Dämmung an einer Pfette und die Anbringung der Dampfbremsen gezeigt. Im Bild 7.3.4.7. wird eine Mittelpfette von oben gesehen dargestellt. Der Klemmfalz muss richtig gepresst am Holz anliegen. Dabei ist zu beachten, dass die Dämmung die Hinterlüftung (Hohlraum zwischen Unterspannbahn und Dämmung) nicht verschließt. Ist das der Fall, so wird in diesem Sparrenabschnitt keine Luft ausgetauscht und es kann sich Feuchtigkeit in der Dämmung ansammeln. Die Hinterlüftung hat die Aufgabe eventuell eingedrungene Feuchtigkeit abzulüften, damit keine Feuchteschäden an der Holzkonstruktion des Dachstuhls auftreten.

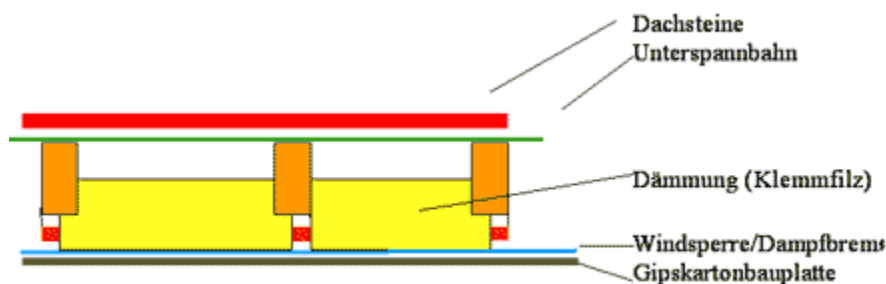
Bild 7.3.4.7.: Dämmung an einer Mittelpfette



Im Bild 7.3.4.8. wird der schematische Aufbau einer Zwischensparrendämmung mit Hinterlüftung dargestellt. Die Unterspannbahn sollte einen kleinen s_d -Wert haben, damit Feuchtigkeit auch über die Diffusion entweichen kann, wenn die Hinterlüftung nicht vollständig funktioniert. Der Klemmfalz ist vollflächig ohne Fugen einzubringen. Über die Fugen kommt es sonst zu einer Konvektion, die neben einer Feuchtebelastung der äußeren

Konstruktion auch für einen zusätzlichen hohen Heizenergieverbrauch verantwortlich ist. Wichtig bei der Dampfbremse ist die fugendichte Verlegung. Alle Stöße sind zusätzlich durch mechanische Verbindungen zu sichern. Kleber beinhalten Lösungsmittel, die langsam entweichen. Damit verspröden die Klebeverbindungen und es entstehen kleine Fugen, besonders dann, wenn Druckunterschiede auftreten oder die Folie bzw. Dampfbremspappe beim Verlegen Spannungen hat. Schimmelpilze können sich über den gesamten Querschnitt der Konstruktion bilden. Auch daher ist eine Durchfeuchtung zu vermeiden. Vergleiche Bilder 7.3.4.12. und 7.3.4.13.

Bild 7.3.4.8.: Schnittansicht einer hinterlüfteten Dämmung mit Dampfbremse

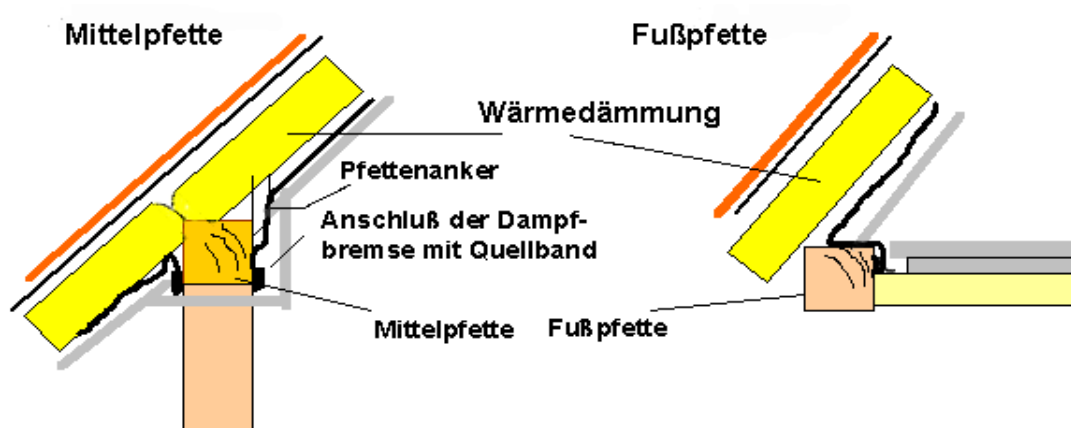


Im Bild 7.3.4.9. ist die Dampfbremse bei einer Mittelpfette und Zange zu erkennen. Für eine ordnungsgemäße fugendichte Herstellung ist ein hoher Zeitaufwand erforderlich. Im Bild 7.3.4.10. wird der Schnitt einer solchen Anbindung dargestellt. Nur so kann dauerhaft eine Wärmebrücke in der Konstruktion und eine mögliche Tauwasserbildung vermieden sowie eine Fugendichtheit gewährleistet werden.

Bild 7.3.4.9.: Anschluss einer Dampfbremse an einer Mittelpfette



Bild 7.3.4.10.: Schematische Seitenansicht einer ordnungsgemäßen Verlegung der Dämmung und der Dampfbremse.



Bei dem Bild 7.3.4.11. erfolgte keine Fugenanbindung der Dampfbremse. Ebenso wurde hier die Dämmung über einer ausgebauten Dachgeschosswohnung nicht richtig ausgeführt. Der Heizenergiebedarf lag doppelt so hoch, wie geplant. Im Bild kann man es leider nicht erkennen, aber im gesamten Spitzboden waren die Dielen und auch die abgestellten Gegenstände vollständig verschimmelt. Man hatte hier die Unterspannbahn durchgehend verlegt und im First nicht aufgeschnitten, sodass sich hier die gesamte Luft aus dem Gebäude ansammeln konnte. Aufgrund der niedrigeren Temperatur taute das Wasser aus.

Bild 7.3.4.11. : Fehlerhafte Dampfbremse



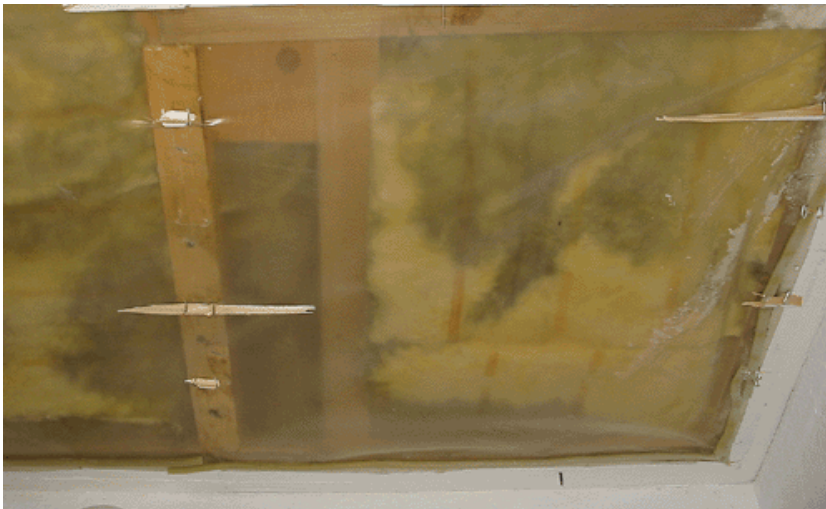
Im Bild 7.3.4.12. fehlte der ordnungsgemäße Anschluss der Dämmung und der Dampfbremse, obwohl wenige Tage vorher den Handwerkern die richtige Ausführung der Dampfbremse erläutert wurde. Eben ein Ergebnis der handwerklichen Leistung einer Billigstfirma.

Bild 7.3.4.12.: Fehlende Anschlussmöglichkeit der Dämmung und der Dampfbremse



Auch die Bauweise eines Fertigteilhauses lässt zu wünschen übrig. Hier ein Beispiel einer Ausführung von 1995 (Bild 7.3.4.13.). Nach 9 Jahren sieht man deutlich die Durchfeuchtung mit Schimmelbildung in der Dämmung der Decke zum Spitzboden. Als Deckenverkleidung wurde eine Holzpanelle auf die PE-Folie angebracht.

Bild 7.3.4.13.: Durchfeuchtete Dämmung zum Spitzboden mit Schimmelpilzbildung



Beim folgenden Beispiel wurde die Dampfbremse an der Holzbalkendecke zum Dachgeschoss die Dampfbremse nicht richtig ausgebildet. Über die Fugen konnte so die wärmere Raumluft entweichen und kondensierte in der Dämmung der Dachschräge aus. (Bild 7.3.4.14.) Im Bild 7.3.4.15. ist die Schimmelpilzbildung an der mineralischen Zwischensparrendämmung deutlich erkennbar.

Bild 7.3.4.14.: Schnittansicht, der Anbindung der Holzbalkendecke, die warme Raumluft kann über Fugen entweichen und führt in der Zwischensparrendämmung zur Tauwasserbildung

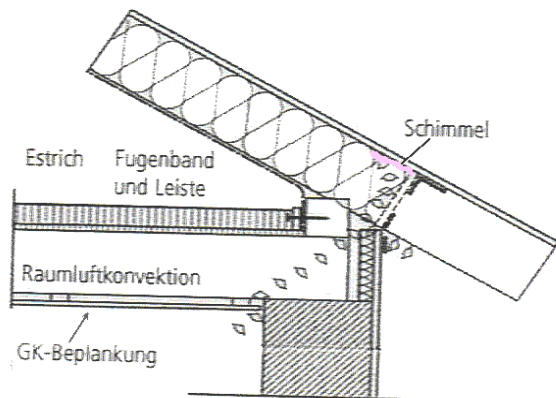


Bild 7.3.4.15.: Schimmelbildung an der mineralischen Dämmung in der Dachschräge (Schadensbereich im Bild 7.3.4.14. [62])



Bild 7.3.4.16. zeigt eine diffusionsoffe Unterspannbahn aus Polypropylen-Spinnvlies mit einem s_d -Wert: $< 0,1$ m bei einem noch nicht ausgebauten Dachgeschoss, welche durch eine hohe Feuchtebelastung durch *Cladosporium sp.*, *Alternaria sp.* und *Trichoderma sp.* befallen wurde. Analog dürfte es bei mangelhaften Wärmedämmungen aussehen, wo durch eine Fuge in der Dampfbremse Feuchtigkeit in die Konstruktion gelangt oder eine Konvektion vorliegt.

Bild 7.3.4.16.: Befall einer diffusionsoffenen Unterspannbahn durch verschiedene Schimmelpilze



Ein weiterer Problembereich ist die Anbindung der Dachflächenfenster. Hier bildet sich oft Schimmelpilz in den Faschen. Einmal, weil nur eine sehr geringe Wärmedämmung eingebracht werden kann, siehe Bild 7.3.4.17. und 7.3.4.18. Zwischen der Verkleidung des Fensters und dem Sparren sind meist nur 1-3 cm Platz. Weiterhin kann die warme Luft nicht richtig einströmen, wenn die untere Seite wie eine Fensterbank gestaltet wurde (Bild 7.3.4.19.). Diese ist schräg nach unten zu führen, damit die warme Luft des Heizkörpers unbehindert einströmen kann. Sollte hier trotzdem eine Fensterbank gewünscht sein, so ist diese als Gitter auszuführen, so dass die warme Luft gut einströmen kann.

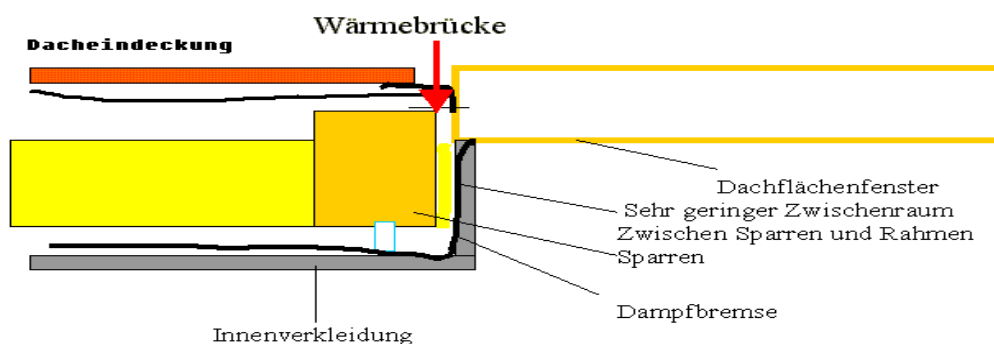
Bild 7.3.4.17.: Hier kann man den schmalen Abstand zwischen dem Sparren und dem Fensterrahmen erkennen.



Bild 7.3.4.18.: Schnittansicht eines Dachflächenfensters mit dem Problembereich der nicht ausreichenden Dämmung.



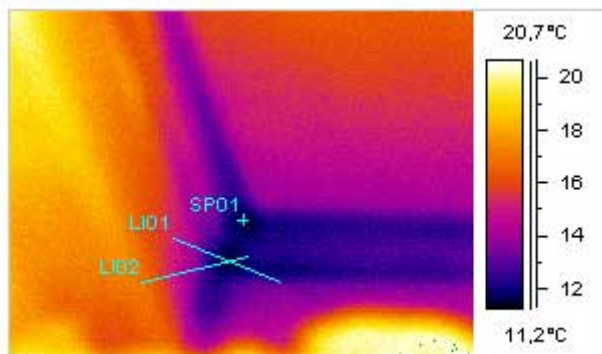
Bild 7.3.4.19. : Bei diesem Dachfenster wurde die untere Seite wie ein Fensterbrett gestaltet. Dadurch kann an die unteren Bereiche keine warme Luft strömen. Es entsteht Tauwasser und hier etwas Schimmelpilz.



Zum Schluss noch ein Infrarotbild, wo genau die in den Bildern 7.3.4.17. bis 7.3.4.19 genannten Problembereiche sichtbar werden. Wir haben im Bild 7.2.4.20. bei den Isotherme LI01 und LI02 eine Temperaturdifferenz von über 6 K allein im unteren Eckbereich des Dachfensters und gegenüber der Raumtemperatur eine Differenz von 9,5 K. Aus der Anlage 4 sind die entsprechenden Werte abzulesen und man erhält so die relative Luftfeuchte in diesem Eckbereich. Die Raumtemperatur liegt bei größer 20,7°C (oberer Wert rechts) und wir nehmen eine relative Luftfeuchte von 45 % an. Dann ergibt das bei 11,2°C (unterer Wert links) im Eckbereich eine relative Luftfeuchte von 80%! Die Außentemperatur lag bei 2-3°C. Auch wenn man 24 Stunden am Tag lüftet, wachsen trotzdem Schimmelpilze im Fensterbereich.

Das Problem lässt sich nur durch einen Rückbau der Fensterlaibung und einem Neuaufbau der Dämmung, Änderung des unteren Fensteranschlusses sowie einer fugendichten Anbindung der Dampfbremse „mildern“.

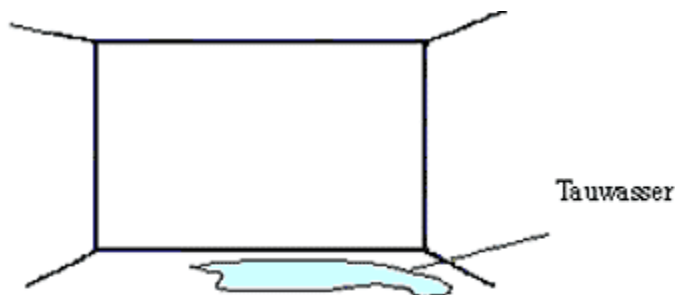
Bild 7.3.4.20.: Infrarotbild eines Dachgeschossfensters



7.3.5. Andere konstruktive Ursachen - Probleme und Lösungen

Bildung von Schimmelpilz an den Fußbodenecken zur Außenwand und auf dem Fußboden speziell über Tordurchfahrten und einige Kellerräume. Diese Bauteilfläche ist kühler als die angrenzende. Dadurch kann sich Kondenswasser bilden. Diese Erscheinung tritt auch im Sommer über Kellerdecken auf. Die Temperatur im Keller ist im Vergleich zur Außentemperatur geringer, sodass Teile der Decke bzw. des Fußbodens zur Wärmebrücke werden (Bild 7.3.5.1.).

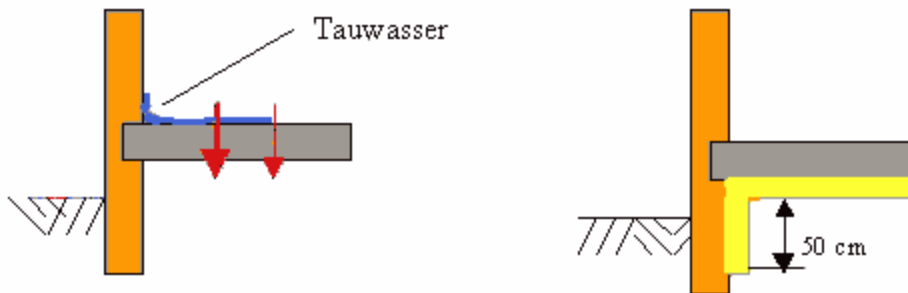
Bild 7.3.5.1.: Schadensbild auf dem Fußboden zum Untergeschoss



Weitere Ursachen sind: Behinderung der Luftströmung, unzureichende Lüftung, keine oder ungenügende Wärmedämmung des Fußbodens, inhomogene Materialstrukturen z. B. verschiedene Dichte des Betons.

Lösung: An die Unterseite wird eine Wärmedämmung angebracht, die 50 cm an der Wand herunter reicht. (Bild 7.3.5.3.)

Bild 7.3.5.2.: Schnittansicht **Bild 7.3.5.3.:** Lösungsmöglichkeit durch Dämmung an der Unterseite

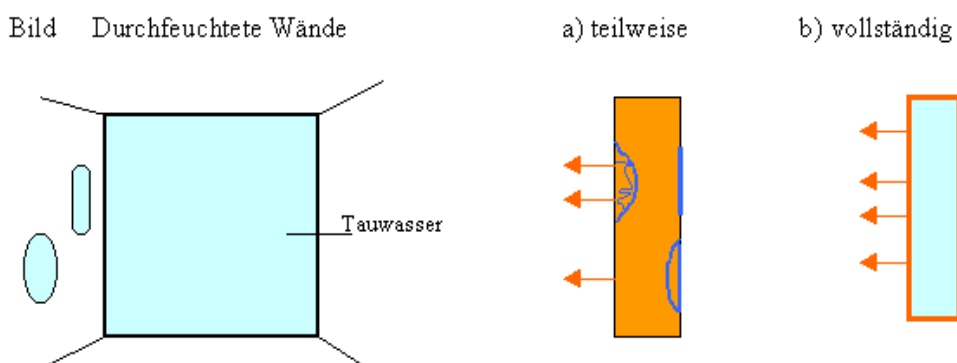


Weitere Schadensbilder können auftreten, wenn das Mauerwerk unterschiedlich durchfeuchtet ist (Bild 7.3.5.4.).

Ursachen: Die Wetterschale (z. B. Außenputz, Vorsatzschale, Wärmedämmverbundsysteme u.a.) kann schadhaft sein oder fehlen. Es kommt bei Niederschlag zu konzentrierten lokalen Durchfeuchtungen. Daneben kann ein unzuverlässiger Baustoff verwendet worden sein. Dazu mehr im nachfolgenden Punkt 7.5. Ebenso wirkt sich eine unzureichende Beheizung oder auch Baufeuchtigkeit im Neubau oder nach größeren Restaurationen aus. Vor der Verwendung sind die unterschiedlichen Baumaterialien auf ihre Güte (Salzbelastung, Feuchtigkeit u. ä.) zu kontrollieren. Das können wieder verwendete ältere bzw. länger im Freien abgelagerter Mauersteine oder andere Bauteile sein. Das Gleiche gilt auch, wenn ältere Gebäude wieder aufgebaut werden und Teile des alten Mauerwerkes erhalten bleiben.

Maßnahmen: Als Erstes ist die Heizungs- und Lüftungsgewohnheiten und als Nächstes die Bauausführung zu überprüfen. Bei geringem U-Wert ist eine zusätzliche Außendämmung anzubringen. Dies setzt jedoch eine völlige Austrocknung der Bauteile voraus!

Bild 7.3.5.4.: Materialbedingte Wanddurchfeuchtung kann zur Schimmelpilzbildung führen.



Im Bild 7.3.5.5. treten typische Merkmale einer falschen Bauausführung auf. Werden z. B. gut dämmende Mauersteine, wie z. B. Hochlochziegel oder Gasbetonsteine, nicht mit Leicht- bzw. Wärmedämmmörtel vermauert, so können die Fugen deutlich sichtbar werden. Der Mauermörtel wird zur Wärmebrücke. Das Gleiche gilt auch, wenn bei einem Hochlochziegel- oder Gasbetonmauerwerk an verschiedenen Stellen Vollziegel, Betonstürze o. ä. verwendet werden. Es entstehen so Wärmebrücken. Ebenso wirkt sich ein unterschiedlicher Wandquerschnitt, wie Leitungsschächten (Bild 7.3.5.6.) oder Stahlstützen (Bild 7.3.5.7.) in der Außenwand aus.

Bild 7.3.5.5.: Falscher Mauermörtel und Wechsel von Mauersteinen mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit sowie ein verdeckter Leitungskanal

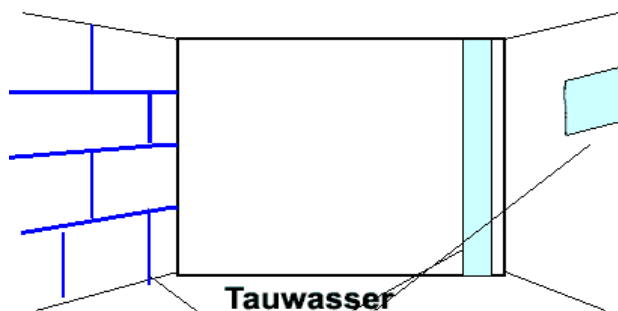
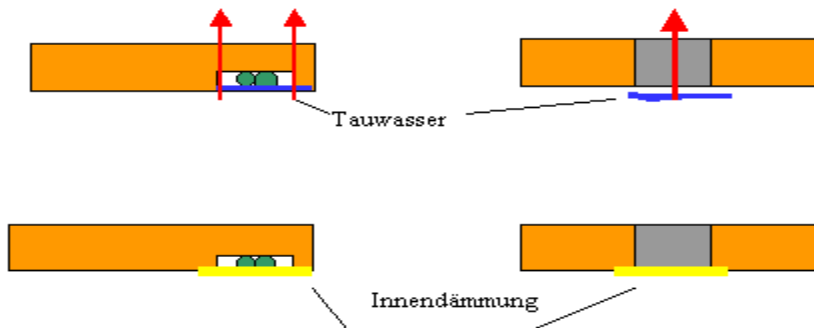


Bild 7.3.5.6.: Leitungsschacht als Wärmebrücke, unten die Lösung **Bild 7.3.5.7.:** Stahlstütze als Wärmebrücke, unten die Lösung



7.3.6. Fenster

Das Problem der Fenster in Bezug auf die Wärmedämmung ist sehr umfangreich. Es soll daher nur auf wenige Punkte eingegangen werden. Das Entfernen noch vollständig intakter Mehrscheibenfenster, wie es in der Praxis oft zu erleben, ist unsinnig. Jedoch muss hier beachtet werden, wie groß ist der Fensterflächenanteil an der Gesamtaußenwand, liegt eine Nord- oder Südseite vor und wie weit wirkt der temporäre Wärmeschutz vor. Eine energetische Verbesserung eines Kastenfensters ($u_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) kann durch einen Rollladen auf $u = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit einem Klappladen auf $u = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit einem Rollo (Gewebe) auf $u = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert werden. Ein Austausch durch Isolierverglasung ist nicht in jedem Fall erforderlich und sinnvoll. Ein Problem stellt der Mauerwerksanschluss (Bild 7.3.42.) der Fenster dar. Der Wandquerschnitt ist ca. 38 cm und am Fensteranschluss nur 15 bis 20 cm (Kastenfenster). Damit entweicht an den Wandanschlüssen schneller die Wärmeenergie. Es kommt zur Abkühlung an der Innenseite der Fensterlaibung.

Bild 7.3.6.1.: Maueranschluss eines Fensters

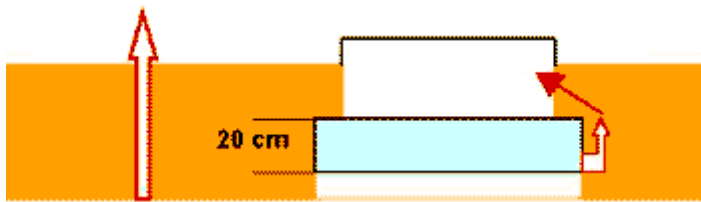
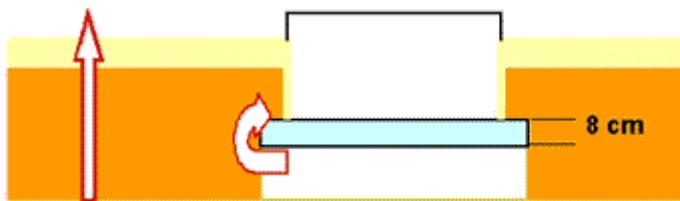


Bild 7.3.6.2.: Beim Austausch der Kastenfenster durch Isolierverglasung ist eine Wärmedämmung erforderlich. Eine Außendämmung ist der Innendämmung vorzuziehen.



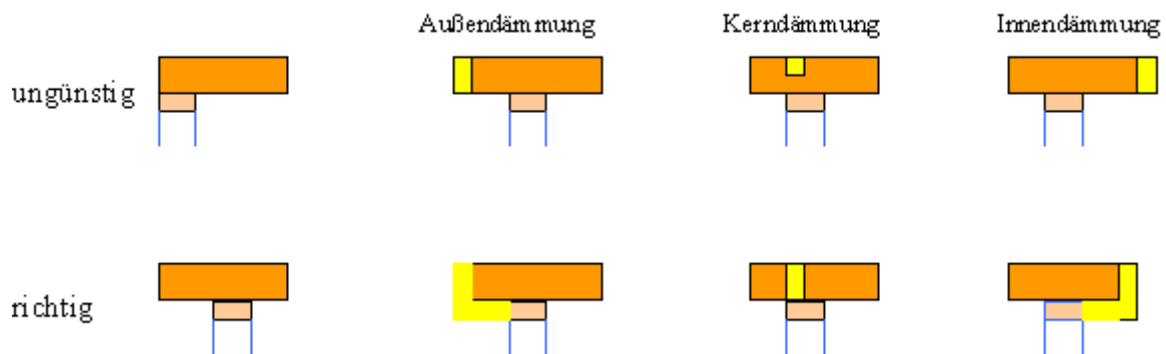
Im Bild 7.3.6.2. kann man sehr deutlich das Problem der Wärmebrücke erkennen. Hier wurde das Kastenfenster bei der Sanierung durch eine Isolierverglasung ausgetauscht. Statt der bisherigen 20 cm liegen nur noch 8 cm Wandquerschnitt zwischen innen und außen vor. Ohne eine zusätzliche Wärmedämmung an der Fensterlaibung kommt es sehr schnell zur Kondenswasserbildung an den Wandanschlüssen, wie im Bild 7.3.6.3. Hier war jedoch auch noch die Luftfeuchtigkeit sehr hoch, sodass diese Wärmebrücke sehr deutlich sichtbar wurde. Begünstigt wird der Befall des schmalen Putzstreifens noch durch einen fehlerhaften Einbau der Fenster, z. B. ungleichmäßiges Ausschäumen (in der Zwischenzeit ist das nicht mehr zulässig) und die Verwendung von Gipshaftputz (siehe hierzu Punkt Baustoffeigenschaften).

Bild 7.3.6.3.: Wärmebrücke neben dem Fensterrahmen



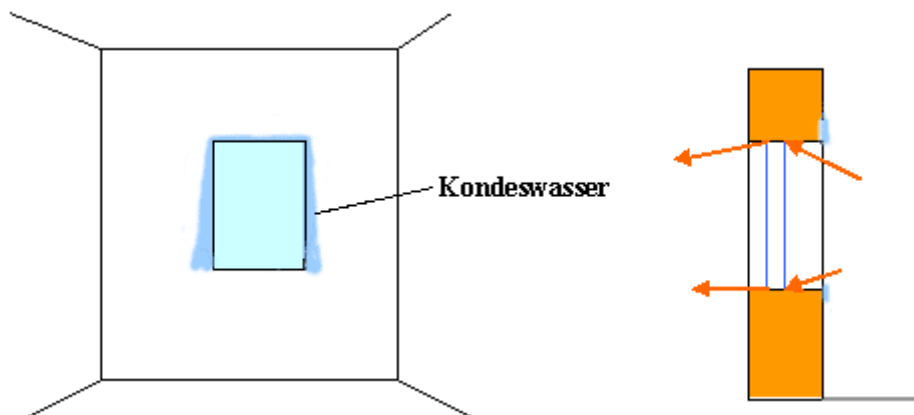
Im Bild 7.3.6.4. Werden verschiedene Varianten des Fenstereinbaus ohne Dämmung und mit Außen-, Kern- sowie Innendämmung aufgezeigt. Darunter sind die verbesserten Ausführungen dargestellt.

Bild 7.3.6.4.: Varianten der Mauerwerksanschlüsse der Fenster



Die Fugen zwischen Fensterrahmen und Wandanschluss sind elastisch zu verschließen. Geeignet sind Dämmstoffstreifen, -fasern oder -stricke. Treten hier Undichtigkeiten auf, so wirkt sich dies wie im Bild 7.3.6.3. aus. In der Praxis werden die Fensterrahmen nach dem Verdübeln bzw. Verankern mit Bauschaum ausgeschäumt und anschließend mit Gips Haftputz geglättet. Die Montage ist sehr schnell, jedoch bei ungleichmäßiger Ausfüllung und beim Abschneiden des überquellenden Schaums wird keine durchgängige Fugendichtheit erreicht. (Bauschaum ist nur mit der ausgebildeten dichteren Oberfläche hinreichend luftdicht.) Durch den aufgetragenen Putz wird dies zum Teil wieder ausgeglichen. Allerdings hat der Gipsputz auch seine Nebenwirkung (Punkt Baustoffe).

Bild 7.3.6.5.: Sind die Fugen an den Fensterrahmen zum Mauerwerk nicht dicht, so bildet sich in der Umgebung Kondenswasser und in vielen Fällen Schimmelpilze.



Weiterhin spielt die Anordnung der Heizkörper eine wichtige Rolle. Im Bild 7.3.6.6. und 7.3.6.7. wird der Wärmestrom durch das überragende Fensterbrett verändert, sodass der untere Teil des Fensters nicht ausreichend erwärmt werden kann, wie vergleichsweise andere Bauteile. Der Heizkörper muss weiter vorgesetzt und/oder das Fensterbrett gekürzt werden. Zusätzlich wirkt die bereits o. g. geringere Wärmedämmung in den Fensterlichten (Geometrie des Anschlusses). Sind dann auch noch die Fenster falsch eingebaut, so können sich sehr schnell Schimmelpilze ansiedeln. Fensterlichten sollten daher nicht tapeziert werden.

Bild 7.3.6.6.: Veränderter Wärmestrom durch überstehende Fensterbank

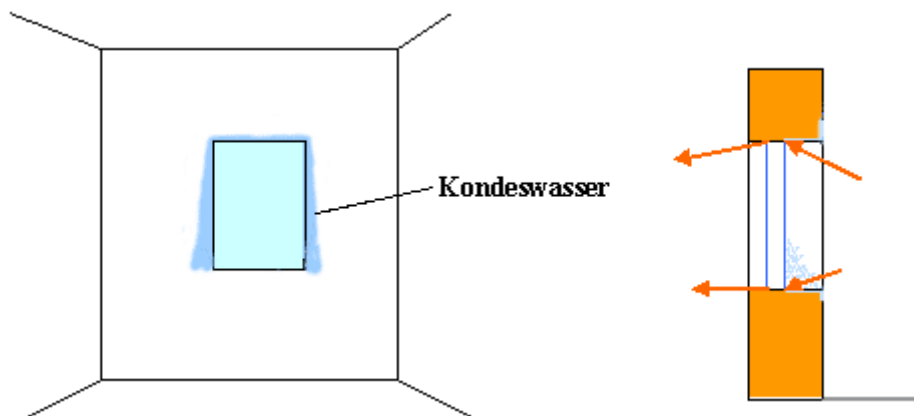


Bild 7.3.6.7.: Beispiel einer falschen Heizkörperanordnung, überstehenden Fensterbank



7.4. Richtige Baustoffauswahl und die Mauerfeuchtigkeit

7.4.1. Allgemeines

Für die Schimmelpilzbildung ist nicht nur die Kondenswasserbildung an der Wandoberfläche bzw. an den Einrichtungsgegenständen verantwortlich, sondern auch die Feuchtigkeit in den Bauteilen selbst. Es wirken hier eine Reihe von bauphysikalischen Zusammenhängen. In der Anlage 9 werden ausgewählte Begriffe näher erläutert. Im Bild 7.4.1. wird ein Beispiel dargestellt, wo sich hinter dem Heizkörper massiv Schimmelpilz gebildet hat. Unabhängig vom schlechten Lüftungsverhalten des Mieters in dieser Erdgeschosswohnung sowie das Wäschetrocknen, liegt im Mauerwerk unabhängig davon eine sehr hohe Feuchtigkeit vor. Hinzu kommt auch noch eine hohe Salzbelastung.

Bild 7.4.1.: Starke Durchfeuchtung der Außenwand



Im folgenden Bild 7.4.2. wird die Ursache gezeigt. Das neue Hopfplaster wurde mit einem negativen Gefälle hergestellt. Das Niederschlagswasser läuft zur Hauswand und gelangt zwischen die Noppenbahn und die Kellerwand. Genau in diesem Bereich zeigt das Kellermauerwerk bis in die Kappe eine ungewöhnlich hohe Feuchtigkeit und eine starke Salzausblühung. Die Auswirkungen einer Durchfeuchtung und Schimmelpilzbildung sind dann an der Außenwand der Küche zu erkennen (Bild 7.4.1.).

Bild 7.4.2.: Ein negatives Gefälle führt das Niederschlagswasser zur Außenwand und so zur Durchfeuchtung.



Die früher verwendeten Baustoffe wie Ton, Lehm oder Holz haben deutlich günstigere bauphysikalische Eigenschaften als die neueren Baustoffe, wie Beton, Polystyrol usw., in Bezug auf Dampfdiffusion und Wasserdampfaufnahmevermögen. Die konstruktiven Wandbaustoffe, die Putze und die Beschichtungen sollten für eine gute Funktionsfähigkeit annähernd gleiche Eigenschaften, so auch zum Feuchteverhalten, aufweisen.

Alle Bauteile, die einer höheren Feuchtigkeit ausgesetzt werden, unterliegen unerwünschten chemischen und physikalischen Prozessen, die das Bauteil über mehr oder weniger lange Zeit zerstören, wie Kristallisations- und Hydrationsdruck sowie Taupunkt im Winter (gefrieren und tauen). Ebenso wird die Wärmeleitfähigkeit erhöht, was wiederum einen erhöhten Wärmefluss mit höheren Heizkosten bedeutet. Diese feuchten Wandflächen kühlen schneller ab als die benachbarten trockenen Flächen, die Folge ist eine Gefährdung durch Kondenswasserbildung, welche oft durch die Schimmelpilzbildung erkennbar ist. Neben der Belastung durch Schimmelpilze kommen oft noch chemische hinzu, die sowohl aus den Baustoffen und auch aus den Einrichtungsgegenständen stammen, wie z. B. Formaldehyd, 4,4'-Diaminodiphenylmethan u. a.

Ein Vergleich in Stichproben der Innenraumluft alternativer und konventioneller Häuser durch die Fachhochschule Kiel zeigte z. B., dass die Luft in den alternativen Häusern besonders hoch mit Terpenen befrachtet war. Terpene sind oft als Biolösemittel in

alternativen Farben und Wachsen enthalten. Ihre toxische Wirkung, die wie bei allen Stoffen eben auch von der Konzentration abhängt, ist noch wenig erforscht. Zudem konnte man auch feststellen, dass sich zusätzlich zu den Terpenen in der Luft die gleichen Stoffe, ja zum Teil sogar in noch höheren Konzentrationen befanden, die auch in den konventionellen Häusern anzutreffen waren. Die Luftqualität in den alternativen Häusern war also keineswegs besser. [144]

7.4.2. Feuchteverhalten und der Feuchteausgleich

Die Wohn- und Arbeitsräume umschließt eine Bauhülle. Selbst gleiche Gebäude mit denselben Baustoffen am gleichen Standort können zum Teil recht unterschiedliche Eigenschaften aufzeigen. Das zeigten Untersuchungen an 10 Doppelhäuser 1992. Die Häuser wurden durch 3 verschiedene Baufirmen mit Baustoffen unterschiedlicher Hersteller errichtet. Zwei dieser Häuser waren extrem durch Schimmelpilze befallen. Eine der Ursachen war die hohe Salzbelastung der verwendeten Ziegelsteine.

Tabelle 7: Praktischer Feuchtegehalte von Baustoffen und Bauteilen [63, 64]

<i>Baustoffe</i>	Praktischer Feuchtegehalt volumenbezogen [Vol %]
Kalksandstein	ca. 5,0
Beton mit geschlossenem Gefüge mit dichten oder porigen Zuschlägen	ca. 5,0
Leichtbeton mit haufwerksporigen Gefüge mit dichten Zuschlägen nach DIN 4226 Teil 1	ca. 5,0
Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge mit porigen Zuschlägen nach DIN 4226 Teil 2	ca. 4,0
Porenbeton	3,5
Gips, Anhydrit	ca. 2,0
Vollziegel	... 2,5
Hohlziegel	1,5 ... 4,0
Innenputz	1 ... 10
Außenputz	1 ... 7
Anorganische Stoffe in loser Schüttung; Expandiertes Gesteinsglas (z. B. Bläherlit)	5,0 (massenbezogen)

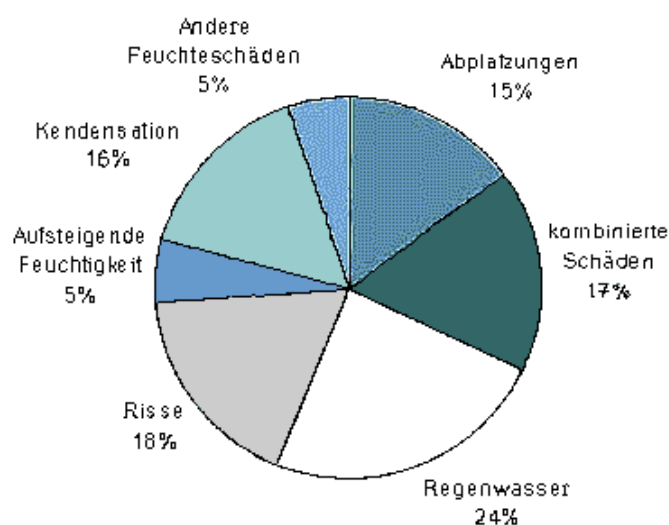
Mineralische Faserdämmstoffe aus Glas-, Stein-, Hochofenschlacke-(Hütten-) Fasern	5,0 (massenbezogen)
Schaumglas	0,0 (massenbezogen)
Holz, Sperrholz, Spanplatten, Holzfaserplatten, Holzwolle-Leichtbauplatten, Schilfrohrplatten und -matten, organische Faserdämmstoffe	15,0 (massenbezogen)
Pflanzliche Faserdämmstoffe aus Seegras, Holz-, Torf- und Kokosfasern und sonstigen Fasern	15,0 (massenbezogen)
Korkdämmstoffe	10,0 (massenbezogen)
Schaumkunststoffe aus Polystyrol, Polyurethan (hart)	5,0 (massenbezogen)

Jeder Baustoff steht in einem Feuchtegleichgewicht zu seiner Umgebung. Es stellt sich so ein praktischer Feuchtegehalt ein (Tabelle 7). Je nach dem Standort, ob Keller, Dach, im Bad, Fassade auf der Südseite u. a., wird dieser beeinflusst.

Eine wichtige Rolle spielt die Feuchtigkeit nicht nur an der Wandoberfläche, sondern auch im Wandquerschnitt.

Ein Teil dieser Feuchteschäden kann zu einem Schimmelpilzbefall führen. Neuere Untersuchungen weisen nach, dass Feuchtigkeit in Wohnungen mit einer höheren Prävalenz an allergischen Erkrankungen sowie an Asthma und an Infektionen der oberen Atemwege verbunden ist. [65] Eine Studie, wo 5530 Wohnungen mittels Erhebungsbögen durch die Nutzer erfasst wurden, nennt 1213 (21,9%) sichtbare Feuchteschäden (inklusive Schimmelpilz) und 513 (9,3%) Schimmelpilzschäden. In der nachfolgenden Grafik (Bild 7.4.3.) wird die Verteilung der einzelnen Feuchteschäden dargestellt.

Bild 7.4.3.: Prozentuale Verteilung der Feuchteschäden im Hochbau [66]



Zum allgemeinen Verständnis sollen hier auch die Feuchtetransporte im Wandquerschnitt kurz vorgestellt werden.

Das Sprichwort "*Steter Tropfen höhlt den Stein*" weist darauf hin, das Wasser auf alles Feste auflösende Wirkung hat und schon geringe Mengen an der falschen Stelle große Folgen haben kann. [67] In allen kapillarporösen Bauwerksteilen wird Feuchtigkeit gespeichert (vgl. Bild 7.4.4.). Die Speicherung verläuft dynamisch und innerhalb desselben Bauteils oft sehr ungleichmäßig ab. Bei kapillarporösen Bauwerksteilen stellt sich ein durchschnittlicher Dauerfeuchtigkeitsgehalt ein. Holz wird z. B. durch eine Gleichgewichtsfeuchtigkeit gekennzeichnet, ist jedoch auch hygroskopisch, kann also aus der Luft Feuchtigkeit binden.

Der Feuchtigkeitsaustausch zwischen einem Bauwerksteil und seiner Umgebung geht auf drei Arten vor sich:

- Durch Aufnahme und Abgabe flüssigen Wassers über makroskopische Hohlräume (Kapillare und Poren), die Transportmechanismen sind der Kapillarsog und die Sickerströmung.
- Durch Wasserdampfdiffusion, die durch eine unterschiedliche Wasserdampfkonzentration der durch das Bauteil getrennten Räume verursacht wird.
- Durch Aufnahme und Abgabe von Wasserdampf aus der Umgebung des Bauteils (Hygroskopizität). Dadurch ändert sich der Feuchtegehalt des Bauteils mit der relativen Feuchte der Luft, in der er sich befindet. [68, 69]

Die Vorgänge verlaufen gleichzeitig. Verantwortlich für jede Feuchtigkeitsbewegung ist der Potentialunterschied im Konstruktionsquerschnitt. Dabei kann das Wasser in einem Bauteil oder Baustoff lange Zeit bewegungslos beharren, aber auch in Bewegung geraten und zur Oberfläche des Bauteils transportiert werden. Wenn es dort verdunsten kann, wird ein Austrocknungsprozess eingeleitet, und der Feuchtigkeitsgehalt nimmt ab. Die Richtung und Effektivität eines derartigen Wassertransportes hängt von gegebenen physikalischen Randbedingungen, vorhandenen Feuchtigkeitsverteilungen im Stoff und der Zellstruktur ab. So beträgt z. B. der kritische Feuchtigkeitsgehalt von Ziegelmauerwerk 1,5 bis 2,5 Vol.%, die des Gasbetons bei etwa 18 Vol.%. Die Zellkonstruktion ergibt auch ein sehr unterschiedliches Feuchtigkeitsverhalten. [68]

Stehen erdberührende poröse Baustoffe direkt mit dem Wasser (Grundwasser) in Kontakt, so dringt das Wasser in flüssiger Form unter hydrostatischem Druck in die Poren ein. Diese Schwerkraft wird als Sickerströmung bezeichnet.

Ziegel, Lehm und Holz haben besonders günstige physikalische Eigenschaften und sind deshalb als raumumschließende Baustoffe zu empfehlen. Ihr wesentlicher Vorteil ist, dass sie kurzzeitige Feuchtigkeitsspitzen abbauen können, wie sie z. B. beim Duschen auftreten. Dämmstoffe müssen vor direkter Durchfeuchtung geschützt werden, da ihre Wirkung auf vielen Hohlräumen mit Luft beruht. Bildet sich in diesen Hohlräumen ein Feuchtefilm, so kann bereits bei 1-2 % Feuchteanteil die Dämmwirkung bis auf fast 50 % reduziert werden. Natürliche Dämmstoffe zeigen hier günstiger Eigenschaften. (Bild 7.4.5.).

Bild 7.4.4. : Feuchteverhalten verschiedener Baustoffe [68]

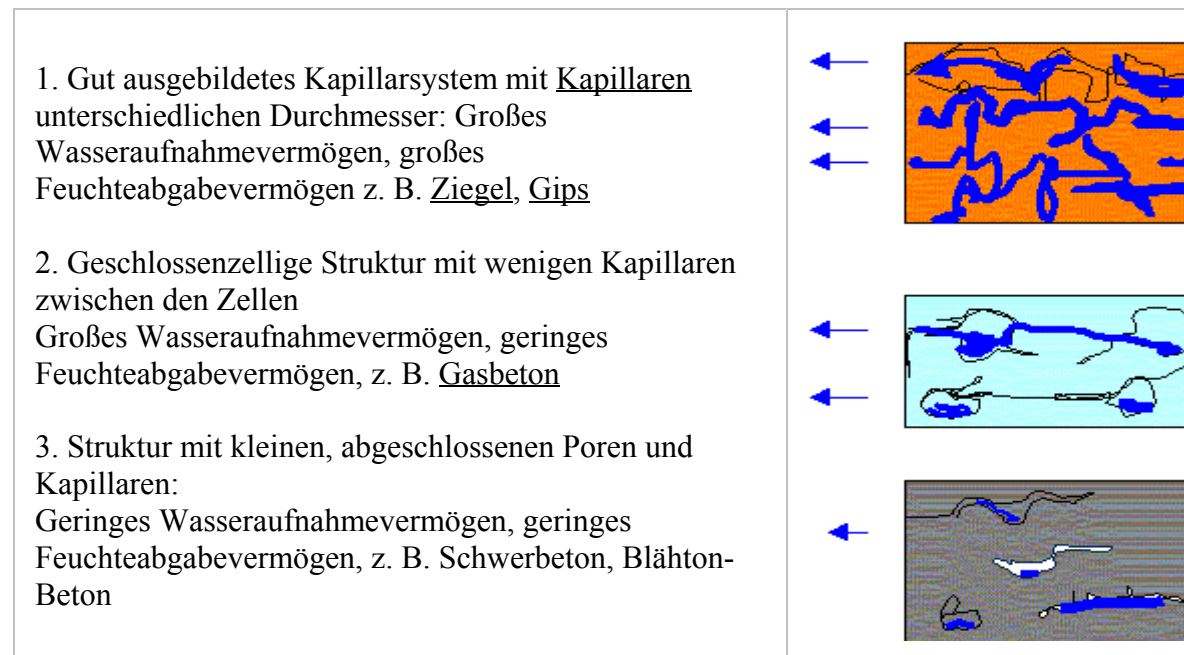
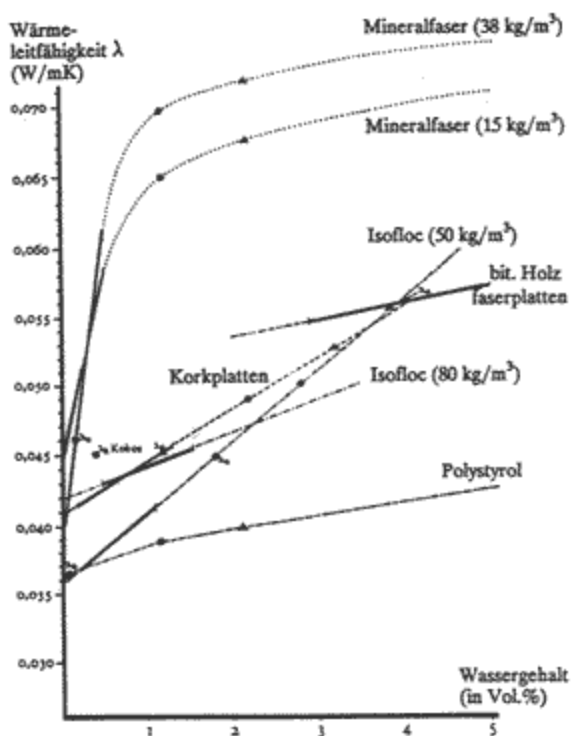


Bild 7.4.5.: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen bei Durchfeuchtung [70]



- ▲ bei Tauwassermasse 1 kg/m²a
 - bei Tauwassermasse 0,5 kg/m²a
 - λ_R prakt. Feuchtegehalt (Rechenwert nach DIN 4108 bzw. DIN 52612)
 - Bereich bauüblicher Feuchtegehalte (ohne Bauschäden)
- } Erhöhung der Dämmstofffeuchte gegenüber Wert bei λ_R ungünstigster Fall

Daher sind diese Dämmstoffe mit einer sorgfältig angebrachten Dampfsperre zu schützen, vor allem wenn eine Innendämmung vorliegt. Bei Dämmstoffen mit höherer Gleichgewichtsfeuchte, wie Kokos, Stroh, Kork oder Zellulose, kann unter Umständen auf die Dampfsperre verzichtet werden. [67] Das betrifft jedoch nur für geringe Dämmstoffstärken. Es ist immer eine einwandfreie Winddichtheit erforderlich.

Die Quantifizierung des Feuchtehaushaltes von Umfassungskonstruktionen hat bisher noch keinen befriedigenden Stand erreicht. Der Nachweis der inneren Kondensatbildung z. B. erfolgt immer noch nach dem Glaserschen Diffusionsschema, das aber weder die hygroskopische Auf- und Entladung noch die kapillare Entspannung des Tauwassers berücksichtigt. [71]

7.4.3. Feuchtigkeit im Mauerwerk

Mauerfeuchtigkeit oder auch praktischer und rechnerischer Feuchtegehalt bezeichnet den Feuchteanteil, der sich allmählich in allen kapillarporösen Bauwerksteilen als Durchschnittswert einstellt. Maßgebend sind die klimatischen Gegebenheiten und die Zellstruktur des Stoffes.

Bei der gespeicherten Feuchtigkeit in einer Außenwand handelt es sich um einen ständig veränderlichen Prozess. Es ist daher schwierig, den durchschnittlichen Feuchtegehalt anzugeben. Die außerklimatischen Bedingungen, wie Standort an der Küste oder im Binnenland, die Beanspruchung durch Schlagregen usw. wirken hier entscheiden ein, sodass bei gleichem Mauerwerk eines Gebäudes je Ausrichtung vollkommen unterschiedliche Feuchteverteilungen vorliegen können. Dies wirkt sich begünstigend auf den Wärmestrom aus, sodass eine Wärmebrücke entsteht. Die Temperatur der Wandoberfläche wird niedriger und es kann sich Kondensat an der Innenoberfläche anlagern. Dies erfolgt, wenn die Luft im Raum eine bestimmte relative Luftfeuchte besitzt. (Vergleiche hierzu Beispielbilder im Punkt 7.3.)

Die Richtung der Diffusion wird von dem absoluten Feuchtegehalt der Luft bestimmt. Sie ist nicht abhängig von der Richtung des Wärmestroms, sie kann dieser entgegengesetzt gerichtet sein. Der Wärmestrom folgt dem Temperaturgefälle und der Dampfdruck dem Dampfdruckgefälle. Diese wird durch die niedrigere absolute Feuchte bestimmt. Z. B. im Winter ist diese bei der kalten Außenluft geringer, daher sind der Wärme- und der Dampfstrom nach außen gerichtet. [68, 72]

Als hygroskopische Gleichgewichtsfeuchtigkeit wird der Zustand bezeichnet, bei dem ein Stoff entsprechend seiner hygroskopischen Eigenschaften die maximal mögliche Wassermenge aus der Raumluft aufnehmen kann, und zwar bezogen auf den momentanen Wassergehalt (siehe Tabelle 5). Mitbestimmend für die Größe dieser hygroskopischen Gleichgewichtsfeuchte ist ferner die Anzahl der Mikroporen im Baustoff, wo in diesen der Wasserdampfdruck dem der Umgebungsluft gleich ist. Gerade unsere hauptsächlichen Wandbaustoffe, Ziegel, Mörtel, und einige Natursteine, besitzen aber einen hohen Anteil an Mikroporen. Eine salzhaltige Wand aus den genannten Baustoffen wird also ein Vielfaches der Wassermenge gegenüber einer nicht salzbelasteten Wand aufnehmen. (Weitere Ausführungen unter [73].) In der Praxis treten fast nie Gleichgewichtszustände auf, da sich ständig die Temperatur, Luftströmung und Feuchteproduktion ändert. Der Wassergehalt des Materials und damit der a_w -Wert (Wasseraktivität)¹¹ ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung des jeweiligen Substrates, der Temperatur und dem pH-Wert des

Materials. Es ist das Maß für das frei verfügbare Wasser in einem Substrat. Die meisten Schimmelpilze benötigen für Ihr Wachstum einen aw-Wert von mindestens 0,80-0,85 bei xerophile (trockenliebend) Schimmelpilzen kann dieser Wert bei 0,7 liegen. [74] Weitere Aussagen hierzu unter Isoplethensysteme für Sporenauskeimung im Pkt. 2.2.

Die hygroskopische Feuchtigkeit wird oft bei der Sanierung feuchter Wände nicht berücksichtigt.

Selbst nach erfolgreicher Sanierung, also bei tatsächlich hundertprozentig wirksamer horizontaler Absperrung, wird eine salzhaltige Wand entsprechend ihrer hygroskopischen Eigenschaft stets Wasser aus der Luft aufnehmen. Es kommt aber nicht nur zu dieser Wasseraufnahme, sondern entsprechend der stets wechselnden Luftfeuchtigkeit immer wieder auch zu Feuchtigkeitsabgabe und neuer Feuchtigkeitsaufnahme. In einer salzhaltigen Wand findet trotz ihrer Trockenlegung weiterhin eine mechanische Zerstörung durch den Kristallisations- und den Hydratationsdruck statt.

Bei salzbelasteten Baustoffen ist vor den Trockenlegungsmaßnahmen durch Laboruntersuchungen die Höhe der Versalzung qualitativ und quantitativ zu ermitteln. [75] Nicht in jedem Fall sind diese Maßnahmen wirtschaftlich sinnvoll. Durch gezielte Lüftung und Trocknung kann bei geringerem Aufwand oft der gleiche oder bessere Effekt erzielt werden. Salzreiche Materialien können nur von trockenheitsliebenden (xerophilen) Pilzen befallen werden. Diese osmotisch wirkenden Baustoffe entziehen die Feuchtigkeit derart, dass übliche Pilze und Algen entwässert werden würden.

Tabelle 6: Maximale Wasseraufnahme von ausgewählten Baustoffen [72]

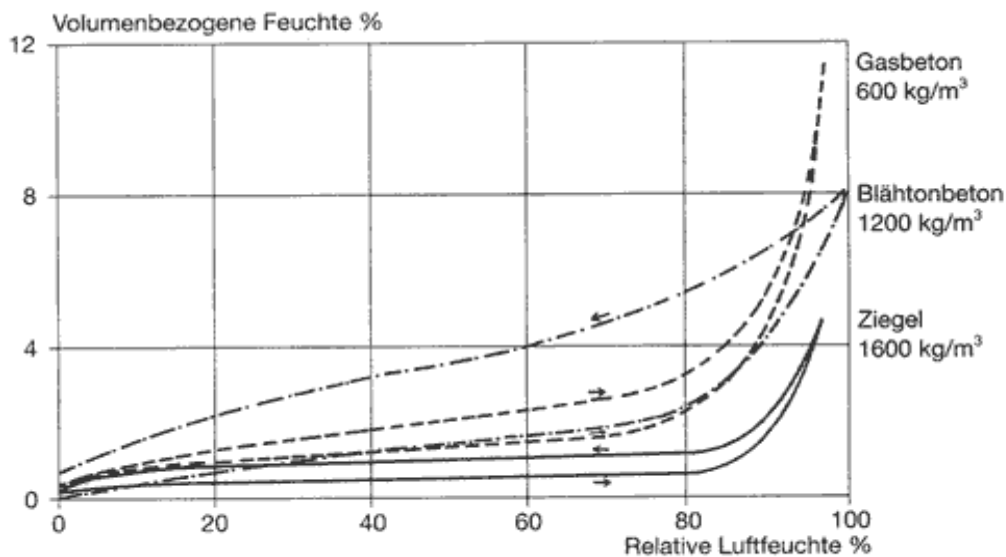
Material	Rohdichte kg/m³	Porosität Vol. %	Max. Wasseraufnahme Vol. %
Vollziegel 1610	40	21	
Hochlochziegel	930	52	24
Kalksandstein 1750	43	25	
Beton	1950	26	22
Gasbeton 610	69	39	
Granit	2620-2850	0,4-1,5	0,4-1,4
Quarzsandstein	2640-2720	0,4-25	0,5-24
Marmor	2700-2900	0,5-2,0	0,4-1,8

7.4.4. Wechselwirkung der Luft- und Mauerfeuchtigkeit

Als kritischen Feuchtegehalt bezeichnet man die Wassermenge, die als untere Grenze für den möglichen kapillaren Wassertransport gilt. Unterhalb dieses Feuchtegehaltes kann kein kapillarer Wassertransport stattfinden.

Für jeden porösen Baustoff ergibt sich entsprechend seiner Kapillarstruktur ein anderer Wert. Bei Gasbeton liegt dieser kritische Feuchtegehalt bei 18 bis 25 Vol.%. Bei Ziegeln befindet sich dieser zwischen 2,5 und 5,0 Vol.% und bei Kalksandsteinen bei 14 Vol.%. Unter normalen Nutzungsbedingungen erreichen die meisten Baustoffe ihren spezifischen kritischen Feuchtegehalt nicht. [145] Dies ist nur bei hohen Feuchtebelastungen, wie schadensverursachende Defekte möglich oder wenn die umgebende relative Luftfeuchte über lange Zeit wesentlich über 80% liegt. Siehe hier Bild 7.4.5.

Bild 7.4.5.: Es wird die Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit und Mauerfeuchtigkeit bei verschiedenen Baustoffen dargestellt. [72]



1/3: Sorptionsisothermen ausgewählter Wandbaustoffe

7.4.5. Kondenswasserbildung an der Wandkonstruktion

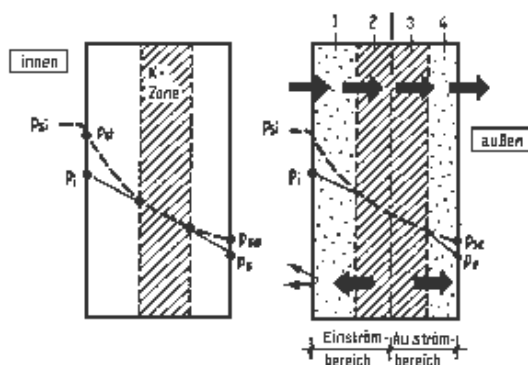
Die Kondensatbildung erfolgt, wenn eine feuchte oder nasse Raumlufte vorhanden ist und einzelne Bauteile eine niedrige Oberflächentemperatur aufweisen. Z.B. ist bei einem feuchten Mauerwerk die Wärmeleitfähigkeit höher als bei einem trocknen. Hier kann sich Kondenswasser an der Oberfläche bilden. Diese Feuchtigkeit wird vom Mauerwerk aufgenommen. Damit verändert sich wiederum die Wärmeleitfähigkeit. Unter Umständen kann dadurch das Mauerwerk vollständig durchnässt werden. Solche Fälle liegen sehr oft in Kellerräumen und im unteren Wandabschnitt von nachträglich ausgebauten Kellerräumen für Wohnzwecke vor. Hier wirken noch zusätzlich andere Ursachen für die Mauerfeuchtigkeit, wie Mauersalze und von der Seite einwirkende bzw. aufsteigende Feuchtigkeit. Daneben kann sich in Hohlräumen im Mauerwerk bzw. Bauteilen eine Konvektion durch ein Temperaturgefälle herausbilden. Die eingeschlossene Luft ist immer relativ sehr feucht. Daher sollten Hohlräume im Mauerwerk vermieden werden.

Neben dem bereits genannten Kondenswasser an der kühleren Wandoberfläche haben wir auch die Bildung von Kernkondensaten. In der Regel geben die Außenbauwerksteile in der

warmen Jahre Zeit mehr Feuchtigkeit ab als im Winter gebildet wird. Der Wasserdampf diffundiert im Winter in Richtung Dampfdruck- und Temperaturgefälle. Befindet sich im Wandaufbau noch zusätzlich Wasser (Kondensat oder andere Durchfeuchtung), so versucht auch dieses aus der Wand herauszukommen. Damit ergibt sich ein Verflechtungsprozess mit gleich gerichtet oder entgegengesetzt verlaufender Bewegung (Bild 7.4.6).

Bild 7.4.6.: Folgen der Wasserdampfdiffusion [68]

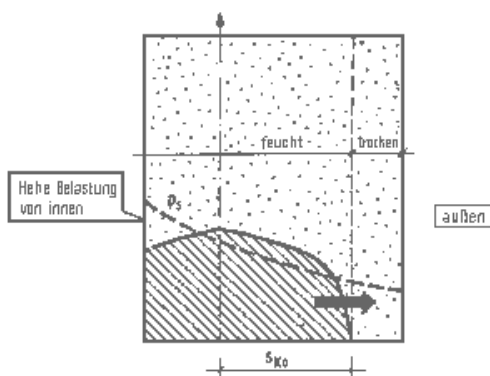
- a) Aufbau einer Kondensationszone nach diffusions-technischen Kriterien.
 - b) Die K-Zone verbreitert sich durch Kapillarsog zu einer Feuchtezone, die Feuchte im Einströmbereich zieht sich nach innen, die im Ausströmbereich nach außen hin
- 1 ist trocken, 2 Diffusionsstrom ist nach außen gerichtet, wird jedoch überlagert, 3 Dampf- und Wärmestrom gleiche Richtung, 4 trocken Befeuchtung und Trocknung erfolgen zur gleichen Zeit.*



Überlagert sich der Dampfteildruck p_i mit dem temperaturabhängigen Dampfsättigungsdruck p_s , so verlagert sich der Schwerpunkt der Feuchtezone nach innen (Bild 7.4.7). Je nach Stoffart sind Feuchtigkeitsmengen und Breite der Feuchtezone unterschiedlich.

Liegen solche Probleme an, so kann sich an der Innenwandoberfläche wegen der erhöhten Wärmeleitfähigkeit und damit niedrigeren Oberflächentemperatur sehr schnell Tauwasser bilden. Neben der noch oft vorkommenden aufsteigenden Feuchtigkeit besonders im niedrigen Erdgeschossbereich sind diese Erscheinungen über den Fußboden gut erkennbar. Liegt eine Durchfeuchtung nur an der Oberfläche an der Innenwand vor, so handelt es sich eindeutig um eine Durchfeuchtung durch Kondenswasser.

Bild 7.4.7.: Die innere Oberfläche liegt bereits in der Feuchtezone. [77]



An der Außenfassade kommen zu anorganischen Ablagerungen auch Mikroorganismen, wie Algen, Bakterien und Schimmelpilze, hinzu. Dies hängt von den Feuchtigkeitsverhältnissen ab. Gelegentlich treten auch Flechtenlager auf Naturstein und Horizontalflächen auf. Vorausgesetzt, dass keine Aussalzung im fortgeschrittenen Grad besteht. [78] Auf dieses Problem soll hier kurz eingegangen werden.

Durch nächtliche Abstrahlung bei klarem Himmel unterkühlt sich die Wandfläche und kann einige Grad niedriger sein, als die der umgebenden Luft. Die gleiche Aussage erfolgt auch in [142]. Die Aufnahme einer wärmegeämmten Fensterfassade im Bild 7.4.8. wurde gegen 8 Uhr (kurz vor der Bestrahlung durch die Sonne) bei einer Außentemperatur von ca. -3 bis -4°C aufgenommen. Die Isotherme LIO1 im Bild 7.4.9. zeigt ein Temperaturbereich von -12°C auf der Dämmung und -4°C auf der äußeren Fensterfläche.

Bild 7.4.8.: Oberflächentemperatur einer wärmegeämmten Fassaden. Bei ca. -3°C , 8 Uhr

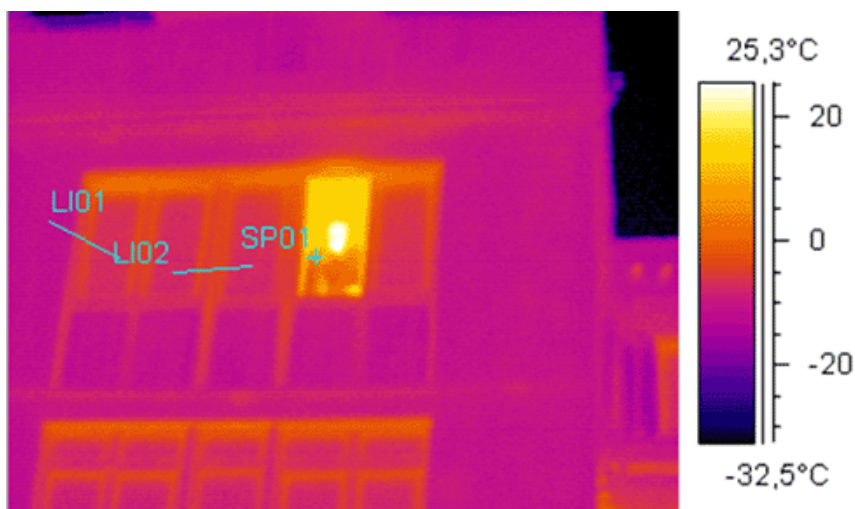
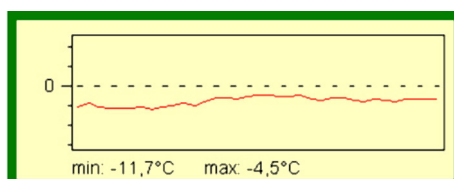


Bild 7.4.9.: Isotherme LIO1 zum Bild 7.4.8., die Oberflächentemperatur liegt zwischen -4 bis -12°C



Das bedeutet eine Kondensation der Luftfeuchte an der Wandoberfläche. Bei einer wärmegeämmten Fassade oder Dach fehlt der Wärmefluss von innen an die Fassade. Die so entstehende Abkühlung und Kondensatbildung kommt an der Holzschalung, Faserzementschindel, verputzte Außendämmung und auch an der Glasfassade vor. Diese Abkühlung erfolgt sowohl im Sommer als auch im Winter, wobei im Sommer durch die Tagestemperatur schnell ein Ausgleich erfolgt. Im Winter und gerade an der Nordfassade sind für den Bewuchs infolge der Kondenswasserbildung besonders geeignet.

Untersuchungen und die Auswertung zeigen, dass bei der Erhöhung der Dämmstoffstärken (Ziel: kleinerer U-Wert) bei gleicher Konstruktion sich die Kondensationsperiode und damit das Bewuchsrisko erhöht. Ebenso wurde bei einem Massivmauerwerk mit U-Wert $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ in der Zeit von 20.11.91 bis 29.4.1992 eine Unterkühlung der Oberfläche mit 546 Stunden und bei einer Massivmauer mit Wärmedämmung und gleichem U-Wert mit 1586

Stunden ermittelt. Der Unterschied kommt durch die wenig wärmespeichernde verputzte Außenwärmendämmung gegenüber der massiven Wand zustande. [18] Die gleichen Aussagen werden auch in [79] getroffen. Die Folgen sind eine Erhöhung der Konzentration von Mikroorganismen unmittelbar an der wärmegeprägten Fassade. Algen benötigen eine Umgebungsfeuchte ca. 92%, hingegen wachsen Pilze bei einer niedrigeren Feuchte. Liegt also ein Algenbewuchs an einer Fassade vor bzw. werden diese Grenzbereiche erreicht, so ist zwangsläufig auch mit einer höheren Pilzkonzentration zu rechnen. Algen benötigen als Nahrungsgrundlage das Kohlendioxid der Luft, Pilze brauchen dagegen immer organische Kohlenstoffe, wie Holz, Anstriche usw. Kleine Mengen an Substraten sind meist in den Oberflächenverschmutzungen vorhanden. Schimmelpilzsporen setzen sich auch an Fassaden fest und warten bis optimale Lebensbedingungen vorliegen.

Arthrobacter-Arten bilden bis zu mehr als 50% der gesamten Biomasse bakterienartiger Organismen. Voraussetzung für eine Ansiedlung dürfte mindestens eine zeitweise größere Feuchtigkeit an der Maueroberfläche sein. Ihr Verhalten gegenüber Bauwerken kann als neutral angesehen werden. [80]

Cladosporium-Arten kommen mit großer Sicherheit an Innen- und Außenwänden vor, dabei verwerten sie an der Fassade nur organische Substanzen aus Sickerwasser, Staub usw. Auf die Bausubstanz selbst wird kein Einfluss genommen. Hiervon sind eine Reihe von Silikatgesteine ausgenommen. [81] Alternaria-Arten verhalten sich analog. [82] *Aspergillus niger* tritt lokal sehr reichlich auf und kann neben ausgedehnten schwärzlichen Überzug große Mengen organische Säuren (Zitronen-, Apfel- und Oxalsäuren) bilden. Das Auftreten weist daher auf biogene Erosionsprozesse hin, die eine Bekämpfung nahe legen. [83]

Untersuchungen¹² zeigten, dass die Kultur *Epicoccum nigrum*, die das Substrat gleichsam mit einem Häutchen aus Fäden und verquollenen Zellwänden überzieht, für einen biologischen Fassadenschutz interessant machen. Die äußere Zellwandschicht verschleimt bei Feuchtigkeit und bei nachträglicher Austrocknung erhärtet diese emailleartig, sodass ein vollkommener Abschluss der darunter liegenden Stein- oder Putzoberfläche gewährleistet wird. Schadstoffe, wie Sulfid- und Sulfat-Ionen aus Niederschlagswasser werden dadurch abgehalten und die Oberflächenerosion verhindert. [84] In diesem Forschungsbericht wird auf die allergene Wirkung der Sporen hingewiesen, daher ist die Sporenbildung an den Fassaden nicht zu fördern.

Ist die Konzentration an Pilzteilen im Außenbereich höher, so wirkt sich dies zwangsläufig auch auf die Konzentration im Gebäudeinneren aus. So stellt ein Algenbewuchs an Fassaden nicht nur ein ungewolltes optisches Aussehen dar, sondern kann sich durch die erhöhte Konzentration an Mikroorganismen auf den Gesundheitszustand der Nutzer (Gesunde, Allergiker, immunsupprimierte) auswirken. (Vergleiche hierzu Punkt 5)

Ähnliche Probleme (geringere Wärmespeicherung der Oberfläche) treten auch für die Innendämmung auf, wenn ungleichmäßig beheizt wird, wie z. B. bei einer Nachtabenkung. (Dabei sind vor allem die Anschlussbereiche am massiven Mauerwerk mehrheitlich betroffen.) Die Oberflächentemperaturen kühlen in dieser Phase sehr rasch ab, aber die absolute Luftfeuchte bleibt annähernd erhalten. Die Auswirkung lässt sich in der Tabelle 3 erkennen, wenn hier statt der Temperatur von 17°C nach einiger Zeit nur noch 14°C vorliegen. Die Ausgangsgröße bei dieser Überlegung (7g Wasser/ m³Luft) würde sich von einer relativen Luftfeuchte von 50% in Richtung 58% verschieben. (Vergleiche Anlage 4) Es müssten in der Tabelle 3 in jeder Zeile 8% hinzuaddiert werden. Wenn sich eine Innendämmung nicht vermeiden lässt, dann sollte die Dämmstoffstärke nicht also stark

gewählt werden und die Innenverkleidung wenigsten ein gewisses Wärmespeichervermögen haben.

7.4.6. Mauersalze

Oft wirken verschiedene Faktoren, sodass zum Teil sehr feuchtes Mauerwerk vorliegt. Schwerpunkte sind der Keller bis in das Erdgeschoss und auch an anderen Mauerabschnitten. Verantwortlich können hier auch Salze im Mauerwerk sein. Dies hängt immer von dem Standort, der Bodenstruktur und ob das Mauerwerk über eine lange Zeit durchnässt wurde, z. B. fehlende Dachentwässerung. Eine frühere Viehhaltung, nahegelegene offene Abwässer oder eine undichte Güllegrube wirken sich Salz belastend auf das Mauerwerk. Die Salze, wie Nitrate, Chloride und Sulfate, gelangen durch den Feuchtetransport in das Mauerwerk oder lösen sich aus dem Baustoff selbst heraus. (Im 19. Jahrhundert wurden gebietsweise den Ziegeln zur Erhöhung der Druckfestigkeit und auch zur Verwendung bei Temperaturen im Frostbereich Salze künstlich beigegeben.)

So kann man aufsteigende Feuchte durch zunehmende Feuchtegehalte in den Mauerquerschnitt hinein und abnehmend über die Mauerwerkshöhe erkennen. Liegt eine Salzbelastung (hygroskopische Durchfeuchtung) vor, so nehmen die Feuchtigkeitswerte von außen nach innen ab. Dies sollte genau bestimmt werden, damit überhaupt die Ursache genau definiert und die richtige Sanierungsvariante ausgewählt werden kann. Durch Bohrproben für die Untersuchung im Labor oder mithilfe eines CM-Gerätes kann dies direkt am Gebäude bestimmt werden. Mit den anderen Messgeräten, wie Leitfähigkeitsmessung und andere Verfahren, können Trendaussagen getroffen werden. Die Wirkmechanismen und Sanierungsmöglichkeiten eines salzbelasteten

Mauerwerkes werden im Internet unter www.ib-rauch.de/Beratung/salz.html ausführlich erläutert. [73] Mauersalze behindern ein Wachstum von Mikroorganismen. Durch die hygroskopische Wirkung der Salze wird z. B. den Sporen die Feuchtigkeit entzogen, so diese geradezu austrocknen. Allerdings sind in der Regel diese Mauerabschnitte feucht, sodass durch das Feuchtgleichgewicht anliegende Tapeten oder angrenzende Gegenstände mit Schimmel überzogen sind.

7.5. Baustoffe

7.5.1. Wandbaustoffe

7.5.1.1. Keramische Baustoffe

Baustoffe¹³, wie Ziegel und Klinker sollen frei von treibenden Einschlüssen (Kalkknollen) sein, die durch Wasseraufnahme des gebrannten Kalkes ein Abblättern oder Absprengen verursachen. Bei nicht verputztem Mauerwerk wird durch Risse das Eindringen von Wasser erleichtert. Der poröse Ziegel kann wesentlich mehr Wasser aufnehmen als der Klinker mit dichten Scherben. Dies wurde gerade beim Kellermauerwerk nach den Überschwemmungen an der Elbe 2002 deutlich. Die Hohlräume der Hochlochziegel hatten sich mit Wasser gefüllt. Bis das Wasser aus den Hohlräumen wieder entweicht, dauert es recht lange. Dagegen zeigten die Vollziegel bei ähnlicher Feuchtebelastung ein besseres Abtrocknungsverhalten.

An feuchtem Ziegelmauerwerk findet man eher Algen und Moose.

Der Ziegel ist zu Recht der am häufigsten verwendete Wandbaustoff. Er erzielt sowohl bauphysikalisch als auch baubiologisch konstant gute bis sehr gute Werte.

7.5.1.2. Lehm

Die wichtigsten Baustoffeigenschaften von Lehm werden im Punkt 7.5.2.3. im Zusammenhang mit dem Lehmputz dargestellt. Hier soll jedoch noch eine Eigenschaft hervorgehoben werden, die gerade in der wärmeren Jahreszeit zur Erhöhung der Schimmelpilzsporen in der Raumluft führen kann. Durch die große Masse, vor allem bei Stampflehmwänden, dauert es sehr lange bis sich die Raumtemperatur den wärmeren Temperaturen im Außenbereich annähern. Es können so Temperaturdifferenzen von 10 K auftreten. Da an warmen Tagen die relative Luftfeuchte bei 60% und höher ist, steigt diese im Gebäude an und kann über Tage bei 70% und mehr liegen. Die Wandoberflächen werden nicht in erster Linie durch Schimmelpilze befallen, jedoch steigt die Konzentration in der Raumluft. Dies wird z. B. durch den Befall anderer Baustoffe, wie Leder, deutlich.

Durch eine geringe Heizung kann hier das Problem gemindert werden. Zur Kontrolle ist ein Hygrometer einzusetzen. Diese Nachteile werden jedoch wieder bei den Übergangsjahreszeiten und im Winter aufgehoben. Hier haben das hohe Wärmespeichervermögen und die Feuchteregulierung des Baustoffs seine Vorteile.

7.5.1.3. Kalksandstein

Kalksandsteine werden in einem Verhältnis von 1:12 aus gemahlenen Branntkalk und kieselsäurehaltigen Zuschlägen unter Wasserzusatz gemischt. Die weitere Herstellung erfolgt über die Löschung des Kalkes zu Kalkhydrat, die entsprechende Zwischenlagerung für die Reaktionszeiten und Pressung der Rohlinge bei hohen Temperaturen und Sattdampf. Dabei treten an der Kornoberfläche Kalziumhydrosilicate in Kristallform auf, die die Sandkörner dauerhaft verkitten. Die Mauersteine sind nicht auf Frostbeständigkeit geprüft. Diese Bedingungen erfüllen die Vormauersteine und Verblender. Die glatten und ebenen KS-Wände veranlassen den Bauherrn oft, auf einen Putz bei untergeordneten Räumen zu verzichten. Bei geeigneten Anstrichsystemen wird dabei die Wasserdampfdiffusion kaum beeinträchtigt.

7.5.1.4. Porenbeton (Gasbetonsteine)

Die Zuschläge aus Quarzsand oder Natursand werden fein gemahlen, mit Zement oder Kalk zu einem sämigen Mörtel gemischt und mit einem Gas bildenden Treibmittel (Aluminiumpulver) versetzt.

Im Porenbeton sind Kapillaren und Gasporen (0,15 bis 2 mm Durchmesser) enthalten. Diese Poren können schnell Wasser aufnehmen und durch die Kapillarwirkung weiterleiten. Bei einem Feuchtegehalt von weniger als 15% erfolgt die Trocknung nur noch über Dampfdiffusion (vergl. 7.4.4.). Damit ist nur noch eine sehr langsame Austrocknung möglich. Diese Baustoffe eignen sich daher nicht für Bauteile, die einer erhöhten Feuchtebelastung ausgesetzt werden. [85] Porenbeton erreicht aufgrund extrem vieler Luftporen zwar eine sehr gute Wärmedämmung, hat aber vergleichsweise wenig Masse. An erdberührenden Stellen ist zudem eine mängelfreie wasserabweisende Putzausführung erforderlich, da eine hohe Wasseraufnahme besteht.

7.5.1.5. Beton

Der Beton ist ein idealer Baustoff und findet in fast allen Baubereichen eine breite Anwendung. Durch seine große Masse verfügt er über ein gutes Wärmespeichervermögen jedoch gleichzeitig ist die Wärmedämmwirkung sehr gering. Dies wird durch entsprechende konstruktive Ergänzungen (Kerndämmung, Außendämmung usw.) berücksichtigt. Bauteile aus Beton sind in der Regel „Massenbaustoffe“, sodass Zerstörungen und Eigenschaftsänderungen zeitlich nicht bzw. nur sehr verzögert wahrgenommen werden.

Die Erstarrung und Erhärtung des Zements (Hydratation) beruhen auf der Reaktion zwischen den Zementteilchen mit Wasser. Das Wasser wird solange chemisch gebunden, bis der Hydrationsprozess abgeschlossen ist, auch wenn er zwischenzeitlich unterbrochen wurde. Die Struktur mit kleinen, abgeschlossenen Poren und Kapillaren bewirkt ein geringes Wasseraufnahme- und Feuchteabgabevermögen. Durch das hohe Wärmespeichervermögen kann sich zusätzlich auch noch Kondenswasser bilden. Das erfolgt jedoch in Ausnahmefällen. Beton wird eher von Bakterien geschädigt als von Schimmelpilzen. Erfolgt eine Schimmelpilzbildung an der Oberfläche, so sind die Ursachen vorwiegend der Beschichtung oder Ablagerung von organischen Stäuben, Fetten o. ä. zu zuordnen. [136]

7.5.1.6. Holz

Holz und Holzwerkstoffe sind ein idealer Baustoff. Es lässt sich gut verarbeiten, ist leicht und kann im Verhältnis große Kräfte aufnehmen. Holz überzeugt vor allem mit ökologischen Argumenten. Schwächen liegen bei Schall- und Brandschutz sowie dem Schutz vor Elektromog. Wichtig ist auch: Holz sollte naturbelassen verbaut, also möglichst frei von Holzschutzmitteln sein. Hier sind die Gefährdungsklassen zu beachten. (Hierzu DIN 68800 Teil 1 bis 4.)

Holz ist ein Baustoff, der für eine kurze Zeit aus dem natürlichen Stoffkreislauf entnommen wurde. Es ist also ein normaler Prozess, dass Holz durch holzzerstörende Insekten und Pilze abgebaut wird. Der Mensch ist bestrebt, den Baustoff Holz möglichst lange zu erhalten. (Es gibt natürlich auch Ausnahmen.) Durch die zweckmäßige Auswahl der Eigenresistenz der verschiedenen Holzarten, der richtigen Bewertung der Gefährdungsklassen, der Beachtung der Einbaufeuchtigkeit und der Einschnittart sowie andere Einflussfaktoren können viele Schäden vermieden werden. Ganz wichtig ist hier die Gewährleistung einer Fugendichtheit bei der Blockbauweise und im Fertigteilhaus, die durch das Schwinden und Quellen des Holzes bei Feuchtigkeitsänderungen beeinflusst wird.

Die Trockenheit des Holzes ist konsequent auch im Wandquerschnitt, im Auflagebereich (Deckenbalken) und auch im Außenbereich zu gewährleisten (Bild 7.5.1.). Das Holz kann unter zweckentsprechender Nutzung und Anwendung über viele Jahre schadensfrei genutzt werden. Allerdings sollten in Gefährdungsbereichen, wo Holz durch Feuchte belastet wird und eine vorzeitige Zerstörung nur durch den Einsatz von Holzschutzmitteln zur Überbrückung der fehlenden Eigenresistenz oder fehlerhafter Konstruktionen vermieden wird, anorganische Baustoffe ausgewählt werden. Weitere Ausführungen im Punkt 6.3.

Bild 7.5.1.: Hier ein typischer Schaden an einer Holzbalkendecke. Das Holz wurde über eine lange Zeit durch Spritzwasser und Kondensatbildung an der kühlen Wasserleitungsoberfläche durchfeuchtet. Hier liegt ein Befall durch Schimmelpilze und durch Ständerpilze vor.



7.5.2. Putze, Bindemittel und Mörtel

7.5.2.1. Gipsmörtel ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Frische aber auch wieder durchfeuchtete erhärtete Gipsmörtel enthalten gelöstes Sulfat, welche Stahl zum Rosten bringt. Der pH-Wert einer Gipslösung liegt bei etwa 7. Das Wasser ist chemischen Gebunden. Gips hat eine gute feuchteregulierende Wirkung, das heißt, Feuchtespitzen werden schnell abgebaut. Die „gespeicherte“ Feuchtigkeit wird anschließend wieder an die Raumluft abgegeben. Allerdings funktioniert dies nur in normal genutzten Räumen. Liegt die Luftfeuchtigkeit in dem Raum über eine längere Zeit hoch, so kann keine ausreichende Abtrocknung erfolgen. Es kommt so an der Oberfläche zur verstärkten Schimmelpilzbildung. Das Gleiche gilt auch, wenn ein neuer Gipskalkputz zu stark aufgetragen wurde.

Bei sehr ungleichmäßigem Steingefüge können hier schnell Schichtdicken von 3 bis 5 cm auftreten. Diese Putzabschnitte sind besonders gefährdet. Gut erkennbar ist die Schimmelpilzbildung an den Rändern zum alten Putz, wenn bei der Verlegung von neuem Elektrokabel unter Putz Gipschaftputze verwendet werden. Hier können sich grüne als auch leicht rote Schimmelstreifen bilden. Hier hilft nur eine schnelle Abtrocknung, abkehren bzw. abkratzen und eventuell die kleinen Flächen mit einem Fungizid abwaschen. Im Bild 7.5.2. wurden die Kellerwände mit Gipskalkputz verputzt. Die neuen Wände waren noch nicht ausgetrockneten (1,5 Jahre alt).

Im Rohbaukeller hatte sich das Regenwasser gesammelt, bevor das Dach gedeckt werden konnte. Im Keller ist eine höhere Feuchtigkeit nie vollständig auszuschließen. Daher sind solche Baustoffe grundsätzlich nicht in feuchtegefährdete Bereiche einzusetzen. Feuchtigkeit löst Gips. Bei eintretender trockener Witterung verdunstet aus der Gipslösung das Wasser, welches sich in den Poren des Gipsputzes befindet. Dabei kristallisiert der gelöste Gips aus. Durch den Kristallisationsdruck wird die Festigkeit des Putzes gelockert. Diese Auflockerung begünstigt den Befall durch Schimmelpilze, besonders wenn dazu noch Leimfarbanstriche, Tapetenkleber oder andere organische Stoffe vorhanden sind. Die Feuchtigkeitsempfindlichkeit kann durch den Zusatz von Weißkalk (Gips-Kalkmörtel) oder von hydrophobierenden Zusätzen verringert werden. [86]

Den gleichen Kriterien unterliegen die Gipskartonbauplatten. Die GKI bzw. die grünen „Feuchtraumplatten“ sind nicht für Feuchträume gedacht, sondern für Räume wie Küchen oder Bäder in der Wohnung, wo nur kurzzeitig die Luftfeuchtigkeit ansteigt und vorwiegend

normale Luftfeuchtigkeiten vorliegen. Sie sind auf keinem Fall für die Verkleidung von feuchten Kellerräumen oder Wänden geeignet. In der Praxis findet man sehr oft solche mit Schimmelpilz überzogene Konstruktionen.

Bild 7.5.2.: Gipskalkputz im Kellerraum eines 1,5 Jahren Einfamilienhauses.



7.5.2.2. Frische Kalk- und Zementmörtel

Diese sind basisch und greifen infolge ihres Gehaltes an gelöstem Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$, bis 1,7 g/l, Zink, Blei und Aluminium stark, Kupfer und Zinn dagegen nicht an. Das Gleiche gilt auch von erhärtetem, aber wieder durchfeuchtetem Beton, aus dem noch $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ausgelaugt wird. Dieses kann in CaCO_3 übergehen. Das gleiche tritt auch in den Fugen bei altem Mauerwerk auf, wenn eine hohe Feuchtebelastung zum Beispiel durch Regen vorliegt. Hier wird der Kalk in wasserlösliches Kalziumbikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ umgebildet. Dieses zerfällt beim Verdunsten unter Ausscheiden von Kalk, in Wasser und CO_2 . Diese Karbonatausblühungen sind harmlos, also nur Schönheitsfehler.

Beton hat einen hohen pH-Wert von 12,6. Alternder Beton hat einen niedrigeren pH-Wert. Kalkmörtel gibt - im Gegensatz zum Zement - nach dem Erhärten kein $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mehr ab. Infolge seiner größeren Porosität werden Luft und Feuchtigkeit durchgelassen. Der hohe pH-Wert wirkt wachstumshemmend auf Pilze. Auf frischen Kalk- oder Zementmörtel findet man daher seltener Pilzmyzel. Auf älterem Mörtel, auch Betonteile, wächst das Myzel, vor allem von spezialisierten Ständerpilzen. Für ein Wachstum spielen aber noch viele andere Kriterien eine Rolle, wie die Größe des Pilzes und welche Stoffe sich auf der Oberfläche oder auch im Mörtel befinden. Wurde z. B. organisch verschmutztes Anmachwasser oder Zuschlagstoffe verwendet, so ist die Wahrscheinlichkeit eines Pilzbefalls höher. Diese mineralischen Mörtelarten haben sich über viele Jahrzehnte bewährt und sind daher allen anderen vorzuziehen, wenn es die Bauausführung zulässt.

7.5.2.3. Lehm und Lehmputze

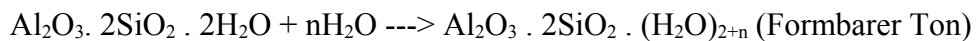
Lehm ist ein aus der chemischen Gesteinsverwitterung hervorgegangenes Sediment, das aus Ton (Tonmineralien) und Quarzkörnern besteht, vermischt mit anderen Verwitterungsresten, vornehmlich Eisenverbindungen und Kalk. Lehm ist nicht so plastisch wie Ton; tonreiche Lehme werden als fett, tonarme Lehme als mager bezeichnet. Zwischen Ton und Lehm gibt

es keine scharfe Grenze. Allgemein enthält Ton Teilchen kleiner als 0,002 mm Korngröße, Lehm enthält sehr ungleiche Korngrößen, vom Schluff bis zum Kies (etwa bis 20 mm).

Alle Lehme quellen bei Wasserzutritt und schwinden beim Trocknen. Die Größe der Volumenänderung ist abhängig vom Tongehalt und von der Art der Tonmineralien (Kaolinit nimmt wenig Wasser auf, Montmorillonit quillt sehr stark.)

Im feuchten Zustand ist Lehm formbar, die Form bleibt beim Trocknen - abgesehen von der Schwindverkürzung - erhalten.

Die Wasserzugabe wird in folgender chemischen Formel dargestellt:



Lehm ist ein natürlicher Luftmörtel. Das Abbinden erfolgt physikalisch; Wasser verdunstet, Sandkörnchen werden durch den Ton verklebt. (Z. B. bei Kalk findet ein chemischer Abbindeprozess statt.) Die Trockenschwindung beträgt bei der Herstellung von Lehmsteinen (statt Ziegeln) etwa 3 bis 5 %, bei gestampftem Lehm etwa 2 % (zum Vergleich: Beton schwindet etwa 0,04 bis 0,05 %), analog verhält sich auch der Lehmputz. Beim Trocknen entstehen so Schwindrisse.

Baulehm ist daher dauerhaft gegen eindringende Feuchtigkeit zu schützen, also auch während der Bauphase. Nur trockener Lehm ist frostbeständig.

Wegen der Erzielung schwindrissarmer Putze sollte der Putzmörtel große Mengen Grobsand enthalten (0,6-2,0 mm) und der Tongehalt sollte in der Regel 5-10% nicht überschreiten. Je magerer der Putzmörtel ist, so geringer wird die Festigkeit des Putzes. Daher werden die Putze in Schichten aufgetragen. Der Unterputz beinhaltet daher größere Bestandteile und mehr Ton. Kleiner Schwindrisse sind dabei erwünscht, da diese die Haftung des Oberputzes begünstigen. Die Putze können auch auf Ziegel-, Kalksandstein-, Naturstein- und Betonoberflächen aufgebracht werden. Es besteht weiterhin die Möglichkeit Putzträger, z. B. Schilfrohmatten o. ä., anzubringen. [87]

In Lehmputze werden auch Fasern zugegeben, wie Stroh, Hanf oder Tierhaare. Sie bewirken eine Rissbeschränkung und Verbesserung der Haftbeständigkeit des Lehmputzes. Die organischen Faserstoffe erhöhen die Schimmelgefahr des Putzes. [88] Schimmelpilze benötigen zum Wachstum eine bestimmte Feuchte, Temperatur und auch Substrat. Die organischen Bestandteile bilden so das Substrat. Die Herrn Borgstädt und Rupp in [88] beschreiben in Ihrem Artikel die Lehmprodukte von der Firma Bayosan, die faserlose Lehmputze anbieten aber auf Kundenwunsch eine Zugabe erfolgt. Sie machen in ihrem Artikel auf die erhöhte Gefahr der Schimmelpilzbildung durch die Strohzusätze aufmerksam. Die Produktangebote z. B. von eiwa Lehm GmbH, Karl-Epple oder Ökologie in der Region (Schöneck) werden mit Strohzusätzen geliefert. Lehmputze werden mit Stroh oder anderen Fasern verarbeitet (siehe hier auch Niemeyer [89]). Die mehrlagige Lehmputzausführung mit Faserbestandteilen, z. B. aus Stroh, ist üblich.

Ausschlaggebend ist die Trocknung. Hier sollte eine Standzeit von mindestens 2 Tagen pro mm Putzstärke eingehalten werden, bevor der Oberputzauftrag erfolgt. Hier ist auf eine gute Lüftung und bzw. Heizung zu achten. Verbleibt die Feuchtigkeit in den Räumen, z. B. Putzarbeiten im Winterhalbjahr und ohne Heizung, so kommt es schnell zur Schimmelpilzbildung der Zusätze.

Die Wasserzugabe bei Lehm dient zur Formgewinnung, in diesem Fall einer glatten Oberfläche. Anschließend muss das Wasser wieder durch Verdunstung entweichen. Lehm selbst stellt eine gewisse konservierende Wirkung auf Holzteile und so auch auf Stroh dar. Dies wird durch die vielen Jahrhunderte alte Stampflehmwände, Strohwickeldecken u. a. praktisch nachgewiesen. Allerdings sind Lehmbauteile vor stärkerer Feuchtigkeit, wie z. B. Niederschlag oder Leistungswasser, zu schützen, sonst besteht die Gefahr eines Pilzbefalls.

Lehmwände sind auf mindestens 50 cm hohe Sockel über dem Erdreich aufzusetzen und es wird ein großer Dachüberstand gefordert. Trocken ist Lehm frostbeständig. Je nach Bauart werden organische Zuschlagstoffe beigegeben, wie Stroh, trockne Pflanzenfasern oder Holzspäne. Sind diese von Lehm eingeschlossen verfaulen und verrotten diese nicht. Allerdings muss der Lehm trocken bleiben. Bei längerer Durchfeuchtung, wie z. B. ein undichtiges Dach, werden die organischen Bestandteile durch Schimmelpilze und auch durch Ständerpilze befallen und zersetzt (Bild 7.5.3.). Zusätzlich gelöste Mineralien oder Schadstoffe aus der Umgebungsluft begünstigen den Korrosionsprozess bei Stahl und Gusseisen. Die günstigste Bauzeit ist von April bis September.

Bild 7.5.3.: Die Stampflehmwand wurde über eine lange Zeit durchfeuchtet. Die Schimmelpilzbildung ist auf dem Bild weniger deutlich erkennbar. Dafür sind die Stränge bzw. das Myzel vom Echten Hausschwamm unter dem entfernten Putz deutlich erkennbar. Es wurde das Stroh befallen.



7.5.2.4. Sanierputzsysteme-WTA

Sanierputzsysteme dienen zum Verputzen feuchter und/oder salzhaltiger Mauerwerke. Baustoff schädigende Salze werden im Putz eingelagert und somit von der Putzoberfläche ferngehalten. Eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit des Putzsystems bewirkt günstige Austrocknungsbedingungen für das Mauerwerk. Werden spezielle Anforderungen an die Oberflächenstruktur gestellt, so darf zusätzlich ein mineralischer Oberputz aufgebracht werden. Dabei muss ein den Regeln der Technik entsprechendes Festigkeitsgefälle gewährleistet sein. Putze, Anstriche und sonstige Beschichtungen auf Sanierputz-WTA dürfen die Wasserdampfdurchlässigkeit des Systems nicht negativ beeinflussen, für den Innenbereich gilt eine diffusionsgleichwertige Luftschichtdicke von $s_d < 0,2$ m (jede einzelne Schicht). [90] Feuchte salzbelastete alte Kalkputze begünstigt die Schimmelpilzbildung indirekt, da die Räume insgesamt feuchter sind. Hier bietet sich ein Austausch durch Sanierputze an.

7.5.2.5. Gipskartonbauplatten

Gipskartonbauplatten $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, (GKB) DIN 18 180 sind werkmäßig gefertigte Platten für Wand- und Deckenverkleidungen, bestehend aus einem Gipskern, der beidseitig mit festhaftendem Karton beschichtet und mit Stärkederivat verleimt ist. Dadurch wird die Festigkeit und Elastizität der Platte erzielt. Parallel zur Kartondecke sind die Festigkeit und Elastizität größer als quer zur Faser. Geliefert werden Plattendicken in 9,5, 12,5, 15, 18, 20 und 25 mm. Durch die Zugabe bestimmter Stoffe in den Gips, werden die Eigenschaften verändert, z. B. höhere Beständigkeit bei Brandlasten durch Glasfasern oder günstigere Eigenschaften gegenüber einer kurzzeitigen Feuchtebelastung.

Gips hat eine gute feuchteregulierende Wirkung (Adsorptionsverhalten), dass heißt, Feuchtespitzen werden schnell abgebaut. Die „gespeicherte“ Feuchtigkeit wird bei der Verringerung der Luftfeuchte anschließend wieder an die Raumluft abgegeben (Desorption). Fermacell nimmt gegenüber Gipsplatten in Bezug auf die Wasseraufnahme etwas mehr Wasser auf. Allerdings funktioniert dies nur in normal genutzten Räumen. Liegt die Luftfeuchtigkeit in dem Raum über eine längere Zeit hoch, so kann keine ausreichende Abtrocknung erfolgen und die Papieroberfläche bzw. die Papierfasern werden durch Schimmelpilze, wie z. B. von *Alternaria* und *Cladosporium*-Arten, die eine grauschwarze Verfärbung verursachen, befallen.

Bei Gipskartonimprägnierplatten (GKBI) ist der Karton mit Silikonimprägnierung getränkt. Dadurch erfolgt eine verzögerte Wasseraufnahme gegenüber anderen Gipskartonplatten, in der Regel ist der grüne Karton zusätzlich fungizid ausgerüstet. Auch wenn sie „Feuchtraumplatten“ genannt werden, sind sie nur für Räume zulässig, wo eine kurzzeitige Feuchtebelastung auftritt, wie im Bad oder Küche. Werden diese in einem feuchten Keller als Wandverkleidung verwendet, so verschimmelt der Karton sehr schnell.

Gipsfaserplatten sind mit Papierfasern (Cellulosefasern) verstärkt und imprägniert. Die Fasern sind gleichmäßig verteilt und bilden eine Armierung. Meist Baustoffklasse A2. Verlegung erfolgt mit 5 mm Fuge, die voll ausgespachtelt wird. Bewehrungsstreifen ist nicht erforderlich.

Eine Neuentwicklung sind die Knauf Cleaneo-Platten. Sie dienen zur Verbesserung der Raumluft. Es handelt sich hierbei um eine katalytisch wirkende Gipsplatte. Das Additiv ist ein mineralisches Gesteinsmehl vulkanischen Ursprungs. Das Zeolith ist ein natürlicher Katalysator, der sich selbst chemisch nicht verändert aber die Geruchsstoffe, wie Zigarettenrauch, Ammoniak, Formaldehyd, aromatische oder chlorierte Kohlenwasserstoffe u. a. in niedermolekulare Verbindungen, wie Wasser oder Kohlendioxid abbaut. Die Platte gehört der Baustoffklasse A2 an. Vom Hersteller wird eine Belegungsrate von mindestens $0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ Rauminhalt empfohlen. [100] Diese Platten sind nicht für eine Reduzierung der Schimmelpilzteile in der Raumluft vorgesehen. Liegen aber in der Raumluft auch andere Schadstoffbelastungen vor, so kann sich im Zusammenhang mit einer geringen Schimmelpilzbelastung eine Kombinationswirkung oder Synergismen bei gleichzeitiger Anwesenheit verschiedener Alltagsgifte entstehen. Je nach Art dieser Faktoren können sich ihre Wirkungen einfach summieren, sie können aber auch exponentiell zunehmen (wie z. B. Blei und Quecksilber, PCP und Dioxinen, Pyrethroiden und Lösungsmitteln, PCB und Dioxinen) oder sich gegenseitig aufheben. [92]

7.5.3. Beschichtung der Innenwand

7.5.3.1. Einleitung

Die Beschichtung ist ein Sammelbegriff für eine oder mehrere in sich zusammenhängende, aus Beschichtungsstoffen hergestellte Schicht auf dem Untergrund. Im nachfolgenden Abschnitt werden nur ausgewählte Systeme, die eine Schimmelpilzbildung begünstigen oder das Wachstum erschweren vorgestellt. Gleichzeitig werden auch die Vor- und Nachteile einiger Innendämmungssysteme, Tapeten und Ähnliches aufgeführt.

Die Wandoberflächen wurden früher mit Kalk-, Kreide oder Leimfarben versehen, die eine ungehinderte Wasserdampfdiffusion ermöglichen und zusätzlich ein Festigkeits- und Spannungsausgleich bedingen (gleiche Eigenschaften hat auch die Silicatfarbe). Dagegen werden heute bindemittelreiche Dispersionsfarbenanstriche und Tapeten mit hohen Kunststoffanteilen verwendet. Diese zeigen ungünstige bauphysikalische Eigenschaften. Andere dicht schließende Anstrich, z. B. Ölfarbe, bilden eine Dampfsperre. Es kommt zur Durchfeuchtung zwischen dem Putz und der Beschichtung sowie zur Blasenbildung und zum Abblättern. Ebenso bringt eine diffusionsoffene Farbbeschichtung auf eine Folie, z. B. Dampfbremse, oder eine schlecht feuchteregulierende Wandkonstruktion bzw. Putze kaum etwas.

7.5.3.2. Anstriche/Beschichtungen

Ein Anstrichstoff besteht aus Bindemitteln sowie gegebenenfalls aus Pigmenten und anderen Farbmitteln, Füllstoffen, Lösungsmitteln bzw. Verdünnungsmitteln. Diese müssen am Untergrund fest haften und die Oberfläche soll gleichmäßig und ohne Streifen erscheinen.

Kalkfarben

Das Bindemittel ist mit Wasser verdünnter gelöschter Weißkalk Ca(OH)_2 . Das Weißen wird meist nur noch für einfache Räume, wie Keller, Garagen und Ställe benutzt. Wegen seines hohen pH-Wertes kann es gleichzeitig desinfizieren. Eine Einfärbung bis 5% Bunt-Pigmente ist möglich. Für die Erhöhung einer Wischbeständigkeit kann Kochsalz zugegeben werden. Die genaue Dosierung ist nicht bekannt. (Zu empfehlen ist auf einen Maurerkübel gelöschten Kalk ca. ein Päckchen Kochsalz einrühren.) Damit wird auch eine gewisse Wetterbeständigkeit erzielt, wenn diese Wandfläche nicht unmittelbar bewittert wird. Auch andere Zusätze Erhöhen die Wetterbeständigkeit, wie hydraulische Zusätze, Leinöl (10 bis 30 g/Liter Kalktünche) oder Kaliwasserglas K_2SiO_3 (1 Liter Wasserglas auf 10 bis 12 Liter Kalkmilch). [93] Im Bild 7.5.5. wurde die kaum bewitterte Nordseite mit einer Kalkfarbe und Kochsalzzusatz beschichtet. Nach 5 Jahren Standzeit gibt es keine Probleme. Diese Farbe ist z. B. nicht für die Beschichtung von Gipskartonbauplatten geeignet.

Zementschlämme

Die Qualitätsspanne dieser preisgünstigen, einfach auszuführenden Anstriche reicht vom Schlämmanstrich zum Weißfärben, Glätten und Abdichten von Beton sowie zu kalk- und zementgebundenem Putz über hell getönte Decken- und Wandanstriche von antiseptischer Wirkung in Feuchträumen bis zum Fassadenanstrich an ländlichen und historischen Gebäuden. Als Untergrund sind geeignet Beton, kalk- und zementgebundene Putze, alte kalk- und zementgebundene Anstriche in festem und sauberem Zustand. Ungünstig sind alkalisch reagierende und feuchte Untergründe. Wegen der Reaktion des Kalkhydrats zu Kalziumkarbonat als auch die Umsetzung des Zements zu Kalziumsilikat erfordert die

Anwesenheit von Feuchtigkeit. Daher ist ein zu schnelles Trocknen der Anstriche zu verhindern. Im Bild 7.5.4. und 7.5.5. wird ein historisches Lehmgebäude gezeigt, wo auf dem alten Putz ein Zementkalkanstrich aufgetragen wurde.

Bild 7.5.4.: Alter Zustand



Bild 7.5.5.: Putzschäden wurden ausgebessert und ein Zementkalkanstrich aufgetragen.



Wasserglasfarbanstrich

Die wird auch als Silicat- oder Mineralfarbanstrich bezeichnet. Das Bindemittel ist Kaliwasserglas K_2SiO_3 in wässriger Lösung. Das Wasserglas bewirkt eine Versteinerung oder Verkieselung des Untergrundes. Durch die Alkalität wirkt dieser Anstrich keimtötend. Die Silicatfarben können Zusätze wie Kalkhydrat enthalten. Es gibt auch Dispersionssilicatfarben die bis zu 5 % Kunststoffdispersionen enthalten. Auch dieser Anstrich hat wie die Kalkfarbe einen niedrigen Dampfdiffusionswiderstand. [93]

Leimfarbanstriche

Als Bindemittel dient eine Leimlösung in nasser oder trockner Form. Leime reagieren in der Regel chemisch nicht und es sind fast alle Pigmente mit guter Deckkraft verwendbar. Die Zelluloseleime bieten als organische Stoffe einen guten Nährboden für Bakterien und Pilze. Sie sind zwar nicht wasserlöslich sollten jedoch nur in trockenen Räumen verwendet werden. Durch ihren geringen Dampfdiffusionswiderstand kann der Untergrund gut die Feuchtespitzen regulieren und die Kondenswasserbildung an der Oberfläche kommt weniger als bei Dispersionsfarben zum Tragen. [93] Tritt hier Schimmelpilzbefall auf, so ist auf fäulnisbeständige Anstriche auszuweichen, wie Silikat- oder Kalkfarbenanstriche. [74]

Kaseinleimanstrich

Kasein ist Milcheiweiß. Wird das an sich wasserunlösliche Kasein mit Kalkhydrat in Wasser verrührt, so wird es alkalisch aufgeschlossen, d. h. wasserlöslich. Kalkkaseine sind stark und Alkalikaseine schwach alkalisch. [93]

Kunststoffdispersionsfarben

Sie enthalten in Wasser dispergierte Polymerisationsharze als Bindemittel, z. B. Polyvinylacetate, Polyvinylpropionate, Polyacrylate bzw. Acrylharze u. a. Als wasserverdünnbare Anstrichstoffe lassen sie sich wie Leimfarben verarbeiten. Die Filme haben eine höhere Festigkeit und sind wetterbeständig. Sie nehmen eine Übergangsstellung zu lösungsmittelverdünnbaren Anstrichstoffen wie Ölfarben oder Lacke ein. [93] Ihr Dampfdiffusionswiderstand ist gegenüber den o. g. Farben größer (ca. 6 bis 10-fache). In den bereits o. g. Schadensbildern mit Schimmelpilzbildung wurden die Raufasertapeten mit Dispersionsfarben gestrichen. Nahezu alle Kunststoffdispersionen bieten die Möglichkeit, als Nahrungsgrundlage für Schimmelpilze zu dienen. Der Farbindustrie ist bekannt, dass bei reiner Lagerhaltung Fungizide und Bakterizide beigegeben werden müssen. [94]

Zusätzlich wirkt hier noch die Raufasertapete selbst (siehe hierzu im Punkt Tapeten) und die Kondenswasserbildung an der Oberfläche durch den größeren Dampfdiffusionswiderstand sowie der eventuell angelagerte Staub und Fettfilm als zusätzliche Nahrungsgrundlage.

Dispersionsfarben werden durch *Cladosporium resinae* kolonisiert und angegriffen. [82]

Andere Beschichtungen

Hierzu zählen verschiedenartige Arten. Zwei Beschichtungssysteme sollen hier kurz vorgestellt werden.

Die Wirkung z. B. von Masan (Antischimmelfarbe) beruht auf die Bildung von Kristallen. Durch diese Verfahrensweise wird vollständig auf die üblichen Fungizide und Bakterizide verzichtet. Schimmelpilze, Bakterien und Algen haben so auf der Oberfläche der Beschichtung keine Lebensgrundlage und sollen laut Produktbeschreibung diese sogar in die Kristallbildung einbeziehen und werden so unschädlich gemacht. Das Gleiche gilt auch für gasförmige Stoffe, wie Aromate, Zigarettenrauch u. a. Das ist gleichzeitig ein weiterer positiver Aspekt. In entsprechende Gutachten, z. B. Dr.-Ing. Chr. Drexler + Partner (Ingenieurgesell. für chem. Analytik und Beratung GbR), u. a. wird eine positive Wirkung nachgewiesen. [95]

Hier soll ein weiteres Produkt vorgestellt werden, welches auf der Grundlage eines Mikroporensystems funktioniert. Die Oberfläche ist ähnlich eines Schwamms mit sehr kleinen Poren. Daraus ergibt sich eine sehr große Oberfläche. Z. B. wird für das Produkt Biozid eine riesige Oberfläche beschrieben, sodass 1 m² in 1,5 mm Stärke einer totalen Oberfläche von ca. 18.000 m² entspricht. Damit ist diese Beschichtung in der Lage entstehendes Kondenswasser in großen Mengen über eine lange Zeit aufzunehmen, die Oberflächenspannung zu brechen und schnell in Gasform bei entsprechenden Luftverhältnissen (relative Luftfeuchte) wieder abzugeben. Der Vorteil besteht darin, dass sich bei dieser wesentlich größeren Oberfläche mehr Wassermoleküle anlagern und auch wieder abgegeben werden können, ohne dass die typischen Merkmale der Kondenswasserbildung auftreten. Ausgenommen sind natürlich Extrembedingungen.

Entwickelt wurde das System für stark feuchtebelastete Wandflächen in Kühlräumen oder Schwimmbädern. Treten kurzzeitig bautechnisch bedingt kleine lokale Wärmebrücken auf, die nur über einen hohen Aufwand beseitigt werden können oder liegen Mauerdurchfeuchtungen vor, z. B. durch eine ehemalige defekte Dachentwässerung, wo eine konventionelle Trocknung nicht eingesetzt werden kann, dann ist eine kleinflächige Anwendung möglich. Das Beschichten ganzer Zimmerwände ist keine Lösung, da die Ursachen nicht beseitigt und nur verdeckt werden. Für die Malerfirma sicherlich ein lohnendes Geschäftsfeld. Das System enthält sehr geringe Mengen einer Kombination aus Fungiziden und Bakteriziden. Die Verarbeitung und das Aussehen ähneln der flüssigen Raufasertapete.

7.5.3.3. Tapeten

Tapeten, tapetenähnliche Stoffe, Wand- und Deckenbeläge und Spannstoffe werden im Innenausbau zur Oberflächengestaltung von Wänden und Decken verwandt. Sie dienen in erster Linie als Gestaltungsmittel. Bauphysikalische und bauchemische Anforderungen werden nur im begrenzten Umfang gestellt. [96] Es finden vorwiegend Papiertapeten Anwendung. Zu unterscheiden sind: Naturelltapete, Fondtapete, Prägetapete, Textiltapete, Relieftapete, Kunststofftapete, Wandbildtapete, Strukturtapete, Raufasertapete, Fotopapier und Fotoleinen.

Zum Anbringen der Tapeten werden meist Zellulosekleister verwendet. In Verbindung gerade mit der Raufasertapete aus holzhaltigem Papier mit Zusätzen an Holzfasern ist diese Beschichtung eine gute Nahrungsgrundlage für Schimmelpilz (Pkt. 6.4). Andere Tapeten sind auch empfindlich gegenüber einem Schimmelpilzbefall, der je nach Art etwas geringer ausfällt. Die anschließende Beschichtung durch die Dispersionsfarbe wirkt sich zusätzlich ungünstig aus.

Schimmelwiderstand ist nur bei Textiltapeten gegeben, bei denen das Gewebe mittels Schmelzträger auf dem Papierträger aufgebracht wurde. Dispersionskaschierung bietet keinen Schimmelwiderstand.

Die metallbeschichteten Tapeten stellen eine diffusionsdichte Beschichtung dar. Es kann weder Feuchtigkeit durch das Mauerwerk zum Zweck der Feuchteregulierung aufgenommen werden, noch kann die Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk entweichen. Kommt die Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk, so bildet sich das Schimmelpilzgeflecht vorwiegend unter der Tapete. Liegt Kondenswasser vor, so bildet sich der Schimmel zuerst vorwiegend auf der Oberfläche.

Textilfasertapeten und Naturfasertapeten bestehen aus Papierbahnen, auf welche Geflechte aus Leinen, Jute und Baumwolle aufgeklebt werden. Auch Geflechte aus Kokos, Gras oder Sisal können dazu verwendet werden. Achtung: Entscheidend für eine mögliche Schadstoffabgabe sind der verwendete Kleber und die Ausrüstung der Tapeten mit formaldehydhaltigen Faserschutz- und Antipilzmitteln.

Pigmente älterer Tapeten bestanden auch aus Arsen, die durch *Scopulariopsis Spezies* zu giftigen Gasen umgesetzt wurden. Die heutigen Tapetenpigmente enthalten kein Arsen mehr, sodass das nicht mehr passieren kann. [25]

7.5.3.4. Innendämmung und Innenverkleidung

Die Funktionsweise der Innendämmung wird in der Anlage 3 bei den Varianten 4 bis 6 dargestellt. Der Effekt besteht darin, dass die Oberflächentemperatur an der Innenwand sich erhöht und damit die Tauwassergefährdung an der Oberfläche verringert wird. Das setzt eine fugendichte Ausführung voraus. Im Punkt 7.3.4. werden einige dieser Problembereiche benannt. Ein wesentlicher Nachteil ist das hinein wandern des Frostpunktes. Messungen haben ergeben, dass bei einer 28er Ziegelsteinwand inkl. Putz und einer Innendämmung von 2 cm Hartschaum mit Gipskartonbauplatten bei einer Innentemperatur von 20 °C und einer Außentemperatur in der Nacht von -15°C und am Tag bei 0 °C (Sonneneinstrahlung) in einem Abstand zur Außenoberfläche von 10 cm über -8 °C vorlagen. Die hohe Belastung des Außenmauerwerkes durch den Wechsel des Frostpunktes lässt sich recht gut erkennen. Die Entscheidung für eine Innendämmung sollte immer als letzte Maßnahme ausgewählt werden.

Die wenigen Millimeter Dämmung bringen nur eine geringe Erhöhung der Oberflächentemperatur und dazu sind diese noch diffusionsdicht. Das darunter befindliche Mauerwerk kann so keine Feuchtespitzen aufnehmen. Nicht überdeckte Wandabschnitte (Fugen) werden so zur „verstärkten“ Wärmebrücke und sind daher oft intensiv mit Schimmelpilz befallen. Das kann man sehr deutlich feststellen, wenn die zur Dekoration verwendeten Hartschaumplatten an kühle Wand- und oder Deckenflächen geklebt werden. Die Fugen werden dann deutlich sichtbar.

Hier gilt das Gleiche wie bei den Isoliertapeten, aber mit dem Unterschied, dass Kork selbst feuchteregulierend wirkt und so eine elegantere Variante darstellt. Die theoretische Veränderung der Temperatur an der Innenwandoberfläche kann aus der Anlage 3 Variante 5 entnommen werden.

Innendämmung mit Unterkonstruktion und Dämmmaterial

Hier gibt es verschiedene Varianten. Auf der Wandfläche werden Holzlatten befestigt oder es werden Metallprofile vor die Wand aufgestellt (Vorsatzwand). Die eingelegte Dämmung wird mit Holz, Paneele, Holzwerkstoff- oder Gipskartonbauplatte verkleidet. Das Wichtigste ist hier die richtige Ausführung der Dampfbremse. Ist diese nicht fugendicht an die anderen Wandanschlüsse befestigt, so kommt es zu schweren Schäden zwischen der Vorsatzwand und der Innenseite des Mauerwerkes. Gerade bei Fachwerkbauten kann eine mangelhafte Ausführung innerhalb von kurzer Zeit zur völligen Zerstörung der Konstruktionshölzer führen. Organische Dämmstoffe sind nur bedingt einsatzfähig. Durch die Möglichkeit der Feuchtebelastung unterliegen sie sehr schnell dem natürlichen biologischen Abbauprozess. Um diese Gefährdung zu verringern, werden dann Fungizide und Insektizide zugegeben.

Innendämmung durch Aufkleben von Dämmplatten

Eine sehr gute Variante ist das Anbringen von 2,5 cm dicken Kalzium-Silikat-Platten. Diese Lösung fand bei dem Problemfall im Bild 7.2.6. Anwendung. Diese Materialien haben einen hohen pH-Wert von ca. 11 und wirken daher keimtötend bzw. -hemmend. Ebenso wirkt diese feuchteregulierend, nimmt Feuchtigkeit aus der Raumluft auf und gibt diese auch wieder ab. Diese Platten werden fugengenau zugeschnitten und geliefert.

Eine preiswertere Variante sind die Mehrschichtplatten, bestehend aus einer Gipskartonbau- und einer 2 cm Hartschaumplatte. Der Autor hat diese Innendämmung vor 5 Jahren auf eine 28er Außenwand angebracht und kann bisher keinerlei Nachteile oder kritische Bereiche feststellen.

Holzwohle-Leichtbauplatten

Bei magnesia- oder zementgebundenen Platten soll der Spritzbewurf hauptsächlich vor eindringender Feuchtigkeit schützen. Werden diese Platten unter nicht ausgebauten Dachräumen oder unmittelbar unter der Dachhaut angebracht und unterseitig verputzt, so ist auch die Plattenrückseite mit einem Porenverschluss zu versehen. Dadurch wird die Wärmedämmung erhöht und die Gefahr einseitiger Spannung beseitigt. Die Plattenfugen und die Fugen zu den angrenzenden anderen Baustoffen sind mit mindestens 80 mm breiten, korrosionsgeschützten Drahtnetzstreifen zu bewehren. [97]

Andere Innenverkleidungen

Holzvertäfelung und Holzverkleidungen im Sockelbereich wurden immer mit einer Hinterlüftung ausgeführt. Wird die verkleidete Wand, meist aus Ziegelmauerwerk, z. B. durch aufsteigende Feuchtigkeit, zu feucht, so kommt es in dem Zwischenraum zum Feuchtestau. Die Folgen sind eine erhöhte Schimmelpilzbildung und auch später zu einer Zerstörung des Holzes durch holzerstörende Pilze. Für den Bewohner wird dieser Sachverhalt nur selten und meist erst sehr spät bewusst. Im Bild 7.5.4. war über viele Jahre an der Außenwand eine Holzverkleidung angebracht. Nach der Demontage zeigte sich dahinter ein völlig verschimmelter Putz. In der gesamten Wohnung war dadurch eine sehr hohe Konzentration an Schimmelpilzen vorhanden. Das wurde deutlich, wo sich über das Wochenende im Sommer großflächig auf allen Wandflächen Schimmelrasen gebildet hatten. Am Freitag wurde das Fenster zum Lüften einige Stunden geöffnet. An diesem Tag besaß die Außenluft eine hohe Luftfeuchtigkeit, was bei dem intensiven Sonnenschein nicht so empfunden wurde. Man kann also auch eine sehr große Menge Feuchtigkeit in das Gebäude hinein lüften.

Bild 7.5.6.: Schimmelpilz auf dem alten Kalkputz einer Außenwand hinter einer Wandverkleidung



7.5.4. Fußboden

Eine Schimmelpilzbildung im Fußboden ist nicht immer sofort zu erkennen. Trockene Fußböden schimmeln in der Regel nicht. Hier soll auf zwei Fälle eingegangen werden.

Befindet sich ein Holzfußboden (Lagerholz und Dielung) direkt über dem Erdreich, Kies- oder Schlackeschüttung, so können bei entsprechender Feuchtebelastung neben den holzerstörenden Pilzen auch Schimmelpilze auftreten. Das ist eine Bauausführung von vielen

älteren Gebäuden gerade im ländlichen Gebiet. Bisher konnte ein Teil der Feuchte über die Dielenfugen in den Raum entweichen. Wird jedoch ein dicht schließender Bodenbelag aufgelegt, so kommt es zum Feuchtestau. Das gilt auch für den Laminatbelag. Auch in Einzelfällen, besonders bei älteren Gebäuden, tritt diese Feuchtebelastung über das Kellergewölbe (Kappe) (vergleiche Bild 7.3.5.1.). Ist das Auflegen von Bodenbelägen vorgesehen, so sollten alle organischen Bestandteile, z. B. Holzfußboden, entfernt¹⁴ und durch einen mineralischen Fußbodenaufbau ersetzt werden. Nur wenn die Holz- bzw. Holzwerkstoffkonstruktion dauerhaft trocken bleiben, können diese verbleiben. Analoge Bedingungen gelten auch für gipshaltige Estriche bzw. Trockenestriche.

Leistungswasserschäden bei Holzbalkendecken, bei einem Fußbodenaufbau mit Spanverlege-, Fermacellestrich- oder Mehrschichtgipsestrichplatten sind unverzüglich zu trocknen. Alle diese Baustoffe neigen bei zu langer Feuchtebeeinflussung zur Schimmelpilzbildung. So werden Fermacellestrichplatten bei einer Zwischenlagerung im Keller allein über die Luftfeuchte sehr feucht. Neben dem muffigen Geruch bildet sich ein rötlicher Schimmelpilzbelag.

Spanverlegeplatten haben ein sehr breites Anwendungsfeld. Daher soll hier auf die wichtigsten Eigenschaften eingegangen werden.

Spanplatten (DIN 68 761 bis 68 765) werden aus kleinen Holzteilen und/oder anderen holzartigen Faserstoffen (Hanf- o. Flachsschäben) hergestellt und mit Bindemittel verpresst. Als Bindemittel kommen sowohl härtbare Kunstharzleime als auch Zement oder Magnesiabinder infrage. Man unterscheidet Flachpressplatten und Strangpressplatten.

Die Einteilung erfolgt in Holzwerkstoffklassen

V20 für allgemein niedrige Luftfeuchte, nicht wetterbeständige Verleimung,

Bindemittel: Aminoplast. (Dauerhaft begrenzte Freisetzung von Formaldehyd.) Feuchte max. $u = 15\%$ ¹⁵

V100 der Beständigkeit gegen hohe Luftfeuchtigkeit mit begrenzt wetterbeständiger Verleimung. Eine kurzzeitige hohe Luftfeuchte mit anschließender ausreichender Abtrocknung ist ohne Probleme möglich.

Bindemittel: alkalisch härtende Phenolplaste, Phenolresorcinharze. (Setzt praktisch kein Formaldehyd frei.) Feuchte max. $u = 18\%$ ¹⁵ **V100 G** sind wie V100, nur zusätzlich sind diese mit einem Holzschutzmittel gegen Pilzwuchs geschützt. Damit für den Innenraum nicht zulässig, vgl. DIN 68 800. Auch hier führt eine ständige hohe Feuchte zur Zerstörung des Werkstoffs trotz Holzschutzmittel. Eine kurzzeitige hohe Luftfeuchte mit anschließender ausreichender Abtrocknung ist ohne Probleme möglich. Feuchte max. $u = 21\%$ ¹⁶

Als Bindemittel von Holzwerkstoffen werden hauptsächlich Phenol-Formaldehydharze (PF) sowie Aminoplaste: Melamin-Formaldehydharz (MF) und Harnstoff-Formaldehydharz (UF) verwendet.

Bei Phenolharzverleimungen treten Formaldehydemissionen nahezu nicht auf, sie werden bei Aminoplastverleimungen beobachtet. Die Ausdunstung erhöht sich mit wachsender Temperatur und Zunahme der relativen Luftfeuchte von 35 auf 80%. Bekannt ist, dass die Formaldehydabspaltung bei entsprechenden Bedingungen (Temperatur und Feuchte) über ein

Jahr und länger andauern kann. Nach 8 Monaten Lagerzeit verringert sich das Formaldehydniveau deutlich.

Formaldehydfreie Spanplatten sind, wenn sie nicht mit Gips, Kalk oder Zement gebunden sind, fast immer mit Kleber gebunden, die Diisocyanate enthalten. Die Härterkomponente ist immer ein Diisocyanat. Bei der Spanplattenverleimung kann aus Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat durch Hydrolyse, das heißt durch die verändernde Wirkung von Wassermolekülen, das im Tierversuch krebserregende 4,4'-Diaminodiphenylmethan entstehen. Zugleich entsteht auch Kohlendioxid.

Bei großflächiger Anwendung bleibt die Raumluft auch nach dem vollständigen Abbinden noch stark belastet. Der MAK-Wert liegt bei 0,01 ppm bzw. ml/m³. Isocyanate sind außerordentlich starke Allergene, die asthma- oder heuschnupfenähnliche Symptome hervorrufen. Die Asthmaanfälle können bereits bei einem Zehntel des o. g. MAK-Wertes ausgelöst werden. [98, 99]

Soll auf Spanplatten zugunsten anderer Verkleidungsmaterialien nicht verzichtet werden, muss die Produktwahl und durch konstruktive Vorkehrungen versucht werden, die Ausgasung auf ein tolerierbares Maß zu begrenzen. Die feuchtbeständigen Spanplatten vom Typ V100 setzen praktisch kein Formaldehyd gegenüber den billigeren V20 frei. Zu beachten ist, dass Baukleber und -leime, Einbaumöbel, Zigarettenrauch, offene Flammen, Reinigungs- und Desinfektionsmittel Formaldehydquellen sind. [91]

Durch die Kombinationswirkungen der Alltagsgifte können die o. g. Lösungsmittel gemeinsam mit Schimmelpilzteilen eine Allergie oder andere gesundheitliche Probleme für den Bewohner verursachen. Bei der Bewertung bei Schimmelpilzuntersuchen sollten auch diese Kriterien berücksichtigt werden.

8. Sanierung des Schimmelpilzbefalls

8.1. Allgemeine Grundlagen

Das Leben beruht auf drei Grundvoraussetzungen, das flüssige Wasser, Energie und Nahrungssubstanz. Im Verlauf der Evolution haben sich solche Lebensformen durchgesetzt, die unter den jeweiligen klimatischen Bedingungen am zweckmäßigsten Überleben und zur Erhaltung ihrer Art beitragen. Hierfür haben die Nukleinsäuren als Funktionselemente überragende Bedeutung. Die DNA (Desoxyribonukleinsäuren) dient als Träger der genetischen Informationen in den Chromosomen des Zellkerns und in den äquivalenten Strukturen der Mitochondrien, Chloroplasten, der kernlosen Organismen und vieler Viren sowie in Plasmiden [101]. Die (Transfer)- RNA (Ribonukleinsäure) stellen das Bindeglied zwischen der Übermittlung und Realisierung dieser genetischen Informationen in den meisten lebenden Zellbestandteilen den eigentlichen Funktionsträgern einer Zelle, den Eiweißen, dar. [102]

Beim Studium des Archaeobakteriums *Nanoarchaeum equitans* wurde ein bisher unbekannter Weg entdeckt, zentrale zelluläre Nachrichtenüberträger zu bilden, die den Aufbau von Zellen steuern.[102] Betrachtet man weiterhin, unter welchen extremen Bedingungen Leben existiert, wie z. B. Bakteriums *Thermus thermophilus*, welche bei 60 bis 85 °C wächst, die Proteine enthalten, die offenbar bei Hitze sehr gut arbeiten und damit besonders stabil sind. [103] Dagegen wachsen andere Kulturen im Eis. Es wird deutlich, unter welchem breiten

Spektrum die o. g. drei Grundvoraussetzungen vorhanden sein können, um eine Erhaltung bzw. Bildung des Lebens zu ermöglichen.

Vereinfacht ausgedrückt heißt das, jedes Lebewesen ist bestrebt auch unter extremen Bedingungen zu überleben, um sich irgendwann fortzupflanzen, wenn seine spezifischen optimalen Lebensbedingungen wieder vorliegen. Einige haben sich sogar an die extremen Bedingungen angepasst. Es gibt so gut wie keinen Ort auf der Erde, wo nicht Leben existiert.

Eine erfolgreiche Bekämpfung der Mikroorganismen hat nur dann Erfolg, wenn die o. g. Bedingungen berücksichtigt werden. Ziel muss es sein, mit minimalen bzw. vertretbaren Aufwendungen einen hohen Nutzeffekt zu erzielen. Es ist Unsinn die Wohnung in einen sterilen Raum verwandeln zu wollen. Weiterhin darf durch diese Maßnahmen die Wohnqualität¹⁷ nicht verringert werden und es darf keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch „chemische Keulen“ auftreten. (Beachte: Austausch der Schimmelpilze durch Fungizide.)

Die meisten uns umgebenden Mikroorganismen stellen keine gesundheitliche Gefährdung dar. (Siehe hier auch unter Punkt 1. und 5.2.) Werden diese mit den vermeintlichen gesundheitsschädigenden abgetötet, so entstehen „Lebensraumnischen“, wo sich stattdessen andere Kulturen ansiedeln können. [107] So kann das Vorhandensein bestimmter Mikroorganismen (harmlose) ein begrenzter Schutz darstellen. Auf neue Kulturen, die bisher nur eine untergeordnete Rolle spielten, jetzt aber sich ausbreiten können, ist unser Immunsystem nicht in jedem Fall ausreichend eingestellt. Eine Verschiebung des natürlichen Mikroklimas sollte daher immer mit Bedacht vorgenommen werden.

Wichtigste Maßnahme muss daher der Entzug bzw. die Reduzierung des flüssigen Wassers und der Nahrungssubstanz sein. Welche Maßnahmen erforderlich und geeignet sind, wurde bereits in den vorangehenden Abschnitten ausführlich erläutert. Oft reichen bereits geringfügige Veränderungen aus, die in vielen Fällen durch die Bewohner selbst ohne großen Aufwand realisiert werden können.

Bevor eine erfolgreiche Bekämpfung erfolgt, müssen weiterhin noch eine Reihe von weiteren Fragen geklärt werden.

Bei einem kleinen Befall, z. B. nur oberflächlicher Befall nicht größer als ca. 0,4 m² (sind keine Bauwerksmängel), ist kein Risiko für gesunde Personen zu erwarten. Diese Schädigungen können im Allgemeinen ohne Beteiligung von Fachpersonal selbst¹⁸ beseitigt werden. [42]

Nach folgender Reihenfolge könnte vorgegangen werden:

1. Welchen Umfang hat der Schimmelpilzschaden?

Nur einzelne Flecken oder dicker Schimmelbelag, Tiefe des Befalls und Art der befallenen Materialien (ausbaubar oder Mauerwerk bzw. tragende Konstruktionen).

2. Um was für einen Schaden handelt es sich hierbei?

Zu beachten ist, dass es neben typischen „Wohnraumschimmelpilzen“ auch eine Vielzahl von Lebensmittelschimmelpilzen gibt und das ihre toxische Wirkung nicht zu unterschätzen ist. Es sollte hier eine genaue Zuordnung erfolgen, z. B. verschimmeltes Brot oder Schimmel im

Abfalleimer, feucht oder nass gelagerte Textilien können einen Befall begünstigen oder auch verursachen. Zur Beseitigung reichen hier bereits einfache Maßnahmen aus.

Weiterhin können auch holzerstörende Pilze auf der Tapete, wie z. B. ein kleiner Fruchtkörper des Echten Hausschwamms, optisch wie ein Schimmelpilzbefall aussehen. Vergleiche Bild 6.4.3.

3. Es wird die relative Luftfeuchte über eine längere Zeit überprüft.

Dabei sind auch die Zimmertemperatur und auch die Temperatur an der kühlen Wandoberfläche zu überprüfen. Das sollte über einen längeren Zeitraum erfolgen. Eine Momentaufnahme gibt keine zuverlässige Aussage. (Erläuterung zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte an der Wandoberfläche, siehe Anlage 7.)

4. Es ist zu prüfen, ob nicht andere Ursachen für eine höhere Feuchtigkeit verantwortlich sind. Hierzu können ein veränderter Grundwasserspiegel (Grundwasser im Keller), lang anhaltender Niederschlag, Baufeuchte nach umfangreichen Sanierungsmaßnahmen, Veränderung von Bauteilen oder anderes zählen.

5. Wie ist der Zustand des betroffenen Raums bzw. Gebäudes und welche Nutzungsart liegt vor?

- Lage und Größe, Umgebung (Betriebe wie Kompostierung, Landwirtschaft u. a.)
- Bewohner, Haustiere (Hier ist auch die Anzahl der Bewohner zur Fläche bzw. Raumvolumen wichtig.)
- Reinigungsgewohnheiten, Müllentsorgung, Sammeln von Biomüll in der Wohnung.
- Ausstattung der Räume (Fußbodenbelag, Luftbefeuchter, raumluftechnische Anlagen, hohe Anzahl von Topfpflanzen u. a.)
- Heizungs- und Lüftungsverhalten
- Nutzung als Lagerraum, Wohnung, Kindergarten, Krankenhaus o. a.

6. Welche bautechnischen Maßnahmen wurden in den vergangenen Jahren durchgeführt oder lagen Bauschäden vor?

Änderung der Raumaufteilung, Fallrohrverstopfungen, Wärmebrücken usw.

7. Gibt es eine Nutzungsänderung?

Z. B. es werden auch alte Scheunen oder alte Burgkeller ausgebaut, die eventuell früher Stallungen waren oder es wurden z. B. Wintergärten (Gewächshäuser) angebaut, die jetzt zum Bestandteil der Wohnung gehören.

8. Welche Baustoffe wurden verwendet bzw. sind diese feucht?

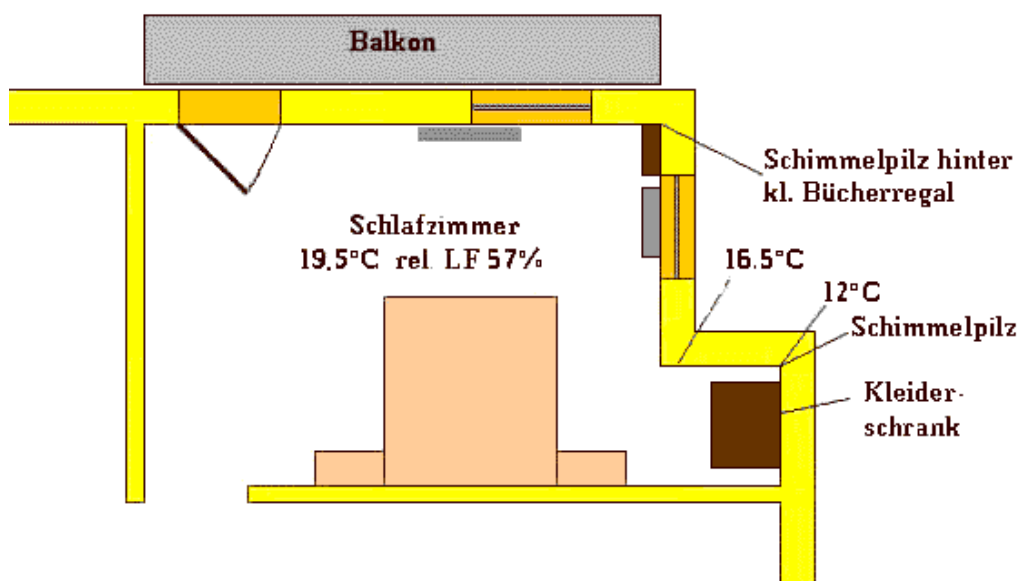
Das können Dämmmaterialien auf Zellulosebasis, Silikonfugenmaterial, Tapeten, Holz, Stroh, Papier u. a. sein. Besonders bei Leichtbauweisen können bei unsachgemäßer Ausführung sehr schnell Feuchteschäden auftreten. Wurden z. B. gipshaltige Baustoffe verwendet, wo konstruktiv eine Feuchtebelastung vorliegt.

Nicht immer gibt es nur eine Ursache, sondern die Summe der zum Teil sehr unterschiedlichen Kriterien führt zum vorliegenden Schaden. Es empfiehlt sich daher,

schrittweise an die Schadensbehebung heranzugehen. Zweckmäßig beginnt man mit der Maßnahme, die den wenigsten Aufwand verursacht. Mit dem folgenden interessanten Beispiel im Bild 8.1. soll stellvertretend ein Problemfall genannt werden.

Beispiel: In der Wohnung tritt im Januar an den beiden Innenecken der Außenwand bis in einer Höhe von ca. 1,5 m Schimmelpilz auf der Tapete auf. Die Außenwand besteht aus einer 38er Ziegelsteinwand. Das Raumklima ist in Ordnung. Es sind keine weiteren Schäden erkennbar. Es handelt sich hierbei um ein altes sehr ordentlich saniertes Mehrfamilienhaus. Der Mieter wollte die Schäden mehr oder weniger der Baufirma anlasten, da an der Innenwand auch ein schräger Setzungsriß vorliegt. (Die beiden Schäden haben nichts miteinander zu tun.)

Bild 8.1.: Schadensbereich mit Schimmelpilzbefall an den Innenseiten der Außenecken



Die einfachste Lösung ist hier den Schrank entfernen oder wenigstens einfach um 90° an die Innenwand zu drehen. Damit kann die geometrische Wärmebrücke besser mit der warmen Raumluft erwärmt werden. Wobei hier das Problem besteht, dass die Luftwalze wegen dem Standort des Heizkörpers unter dem Fenster nicht sehr wirkungsvoll ist. Weil aber der Schrank so schön in diese Nische passt, soll er nicht umgestellt werden. Die weiteren Ratschläge sind dann zweitrangig. Den Schrank weiter an die Innenwand rutschen und auf Leisten stellen und von der Wand abrücken. Die Raufasertapete im Eckbereich entfernen und die Wandfläche nur mit Kalkfarbe oder Silicatfarbe beschichten. Ist dies nicht ausreichend, könnte im unteren Wandabschnitt eine kleine Tapetenheizung mit Thermostatfühler angebracht werden, welche nur bei kalten Außentemperaturen zeitweise die Wandoberfläche um wenige Grad erhöht. Das Regal in der Zimmerecke zum Balkon muss so aufgestellt werden, dass genügend warme Luft von der Heizung heran strömen kann oder was besser ist, es wird an einem anderen Standort aufgestellt.

Durch ein undichtes Dach wurde die Betonaußenwand durchfeuchte und es bildete sich Schimmelpilz an der Putzoberfläche und an der Tapete. Die Wandoberfläche wurde mit einer Infrarotheizung getrocknet. Bereits nach wenigen Stunden konnte ein sichtbarer Erfolg festgestellt werden. Im Bild 8.1.2. wird eine noch in der Versuchsphase getestete Strahlungsheizung gezeigt.

Bild 8.1.2.: Versuchsphase zur Trocknung einer durchfeuchteten Wand mithilfe der Infrarotstrahlung. [104]



8.2. Bestimmung von Schimmelpilzbelastung

Die Bestimmung einer Schimmelpilzbelastung dient unterschiedlichen Zielen. Dazu gehören:

- Nachweis einer Außenluftquelle,
- Nachweis einer Innenraumlufthquelle oder eine
- Gesundheitliche Bewertung der Schimmelpilzbelastung.

Die Bestimmung von Schimmelpilzbelastungen ist durch qualifizierte Fachleute nach entsprechender abgestimmter Empfehlung, vergleiche [4], auszuführen. Es wird auf die entsprechenden TRBA-Richtlinien, Verfahren der BIA und VDI-Richtlinien und auf die allgemein übliche mikrobiologische Praxis hingewiesen. Weiterhin gelten die Verfahren nach TRBA 405 und 430 für die Messung in Arbeitsräumen.

Für die Klärung, ob eine Schimmelpilzbelastung in den Räumen vorliegt, sind Proben zu nehmen und zu untersuchen:

- Proben aus der Innen- und Außenluft (Kurzzeitmessung)
- Hausstaubproben (Langzeitinformationen)
- Baustoffe, Einrichtungsgegenstände und deren Oberflächen (zur Lokalisierung der Quelle).

Etwas wichtiger als die Gesamtzahl von kultivierbaren Schimmelpilzen ist die Bestimmung der Schimmelpilzart, die eine wichtige Voraussetzung zur Beurteilung der Schimmelpilzbelastung ist.

Eine Schimmelpilzquelle im Gebäude ist zu vermuten, wenn die Anzahl der Schimmelpilze in der Innenraumlufth deutlich höher ist als außen und sich die Zusammensetzung der Arten deutlich voneinander abweichn. Allerdings wird eine genaue Aussage erschwert, da

- mikrobiologische Bestimmungen mit einer hohen Streuung behaftet sind,
- die Messverfahren
- basieren vorwiegend auf Kurzzeitmessung (5-15 min.) und

- nicht alle vorhandene Schimmelpilze kultivierbar sind.

Dem gegenüber ergeben Untersuchungen von Hausstaubproben eine Auskunft über eine mögliche längere Schimmelpilzbelastung im Gebäude, da sich Schimmelpilze im Hausstaub über eine längere Zeit anreichern.

Die Messung der kultivierbaren Schimmelpilze von Material- und Oberflächenproben (Holz, Putz, Tapeten, Estrich, Dämmstoffe u. a.) geben mögliche Hinweise auf Schimmelpilzquellen und ermöglichen auch eine klare Abgrenzung des Keimspektrums im Gebäude von der Außenluft. Die Oberflächenkontaktprobe erfolgt mit der Hilfe einer Abklatschprobe¹⁹ oder eines Klebefilmpräparates²⁰. Beide Verfahren erlauben keine quantitative Aussage.

Toxische und sensibilisierende Wirkungen luftgetragener Pilzsporen gehen sowohl von kultivierbaren als auch von nicht kultivierbaren Schimmelpilzen aus, daher ist eine Bestimmung der Gesamtsporenzahl erforderlich. Als Methode sollen hier die Schlitzdüsenimpaktion und die Cannea-Filtermethode genannt werden. [105]

8.3. Chemische Bekämpfung

8.3.1. Was ist eine chemische Bekämpfung?

Die chemische Bekämpfung beseitigt nicht die Ursache, sondern reduziert nur die Auswirkung. Grundsätzlich ist immer erst die Ursache zu beseitigen. Sind diese beseitigt, so können die Reste des Schimmelpilzbefalls auch durch den sinnvollen Einsatz chemischer Bekämpfungsmittel oder auch durch Hitze beseitigt werden. Besteht bei der Entfernung die Gefahr einer unkontrollierten Ausbreitung, so ist in diesem Fall eine Abtötung sinnvoll. Pilzteile sind in der Lage sich in Materialvertiefungen oder Ritzen abzulagern. Wenn sich wieder günstige Wachstumsbedingungen einstellen, erfolgt ein Neubefall. In einem abgeschlossenen Projekt wurde festgestellt, dass eine bloße Reinigung (ohne Biozide) denselben Langzeiteffekt bewirkt, wie eine Biozidanwendung vor der Reinigung. Entscheidend ist die vollständige Erfassung und Beseitigung des Bewuchses. [106] Unter diesen Überlegungen sollte die Anwendung der chemischen Bekämpfung erfolgen.

Eine Bekämpfung von Schimmelpilzbefall bei Materialien aller Art, bei Farben und Anstrichen ist durch Phenol-, Methyl- oder anorganische und organische Schwermetall-Verbindungen leicht möglich, aber wegen der Giftigkeit stellen diese Substanzen für die Umwelt eine Problematik dar. Andere Verbindungen, wie quartäre Ammonium-Verbindungen (Quats)²¹, halogenierte Sulfonylpyridine, Captane, Triazine sind weniger giftig. Die Forderung an solche fungizide Substanzen, für den Menschen und Tier quasi ungiftig, geruchlos, nicht flüchtig sowie licht- und luftbeständig zu sein, ist nur schwer zu erfüllen. [9]

Die fungizide Wirkung der meisten angebotenen Schimmelbekämpfungsmittel, vor allem auf dem Baumarkt, basieren auf Chlor-, Schwefel-, Stickstoff- und organische Zinnverbindungen. In der Anlage 8 sind einige Bekämpfungsmittel mit Ihren Anwendungsbereichen aufgeführt. Haushaltsreiniger mit „Aktiv-Chlor“, die sog. Chlorbleichlauge wirkt bleichend und abtötend auf Schimmelpilze. Der eingeatmete Sprühnebel solcher Mittel bildet im Körper schädliche chlororganische Verbindungen. Eine Anwendung sollte möglichst gar nicht erfolgen oder auf ein Minimum reduziert sein. Analog wie die Schimmelbekämpfungsmittel, allerdings etwas minimiert verhält es sich mit den „Schimmelfarben“, wo Fungizide zugesetzt werden.

Richtiger ist es ein „schimmelhemmender“ Anstrich. Hier sollte lieber ein auf physikalischen Verfahren beruhender Schutz zur Anwendung kommen. (Vergleiche hierzu Punkt 7.5.3.2. unter „Andere Beschichtungen.“) Bei der Anwendung dieser Bekämpfungsmittel erfolgt praktisch ein Austauschen eines Giftes durch ein anderes. Bei einigen Anwendungsfällen mit den „Chemischen Keulen“ vom Baumarkt konnten die Mieter den Wohnraum trotz guter Lüftung für einige Tage nicht nutzen. Für eine vorübergehende, oberflächliche Beseitigung erfüllen auch weniger unbedenkliche Mittel den Zweck. Das Problem dieser Maßnahme war, es wurde weder die Ursache erkannt noch beseitigt.

8.3.2. Bekämpfungsvarianten

1. Ist z. B. eine mit Dispersionsfarbe beschichtete Raufasertapete in der Fensterlichte oder an einer anderen Stelle leicht befallen, so kann die Entfernung der Tapete einschließlich der Zellleimreste (Nahrung) ausreichend sein. Statt der Dispersionsfarbe wird eine Silicat- oder Kalkfarbe verwendet.

2. Im Anfangsstadium des Bewuchses reicht ein bloßes feuchtes Reinigen der Fläche.

- Wasser und Brennspritus im Verhältnis 90:10 Gewichtsteile
- 5%-ige Sodalösung (Apotheke)
- hochprozentiger Essig (Essigessenz)²²

Diesen Stoffen können auch geringe Tensidbeigaben²³ zur Verringerung der Oberflächenspannung beigegeben werden. Eine vorbeugende Wirkung ist nicht gegeben. Die Pilze können sich wieder ansiedeln.

3. Zur Bekämpfung können die befallenen Stellen übergangsweise bis zum Beginn der Sanierung möglichst ohne Staubentwicklung gereinigt und desinfiziert werden.

- 70%-igem Ethylalkohol bzw. Brennspritus bei trockenen Flächen, (Apotheke bzw. Drogerie)
- 80%-igem Ethylalkohol bei feuchten Flächen (Achtung: Nicht großflächig in Räumen anwenden, da explosive Luft-Alkohol-Gemische entstehen können!)
- Salmiak (Konzentration so hoch, wie verträglich, mindestens 5%-ig.) Die Ammoniaklösung wirkt stark reizend auf die Atemorgane.
- 5% oder 10%-ige Wasserstoffperoxydlösung (Apotheke), wirkt abtötend auf die Schimmelpilze und gleichzeitig bleichend (bei Befall durch Bläupilze, siehe Holz). Hat aber keine vorbeugende Wirkung gegen einen Neubefall. [107, 108]
- Da die meisten Schimmelpilze im neutralen oder leicht sauren Milieu vorkommen, ist auch eine Verschiebung des pH-Wertes in den leicht alkalischen Bereich als Bekämpfungsmaßnahme zu werten. Z. B. Einsatz von alkalischen Baustoffen, wie frischer Kalkputz (statt Gipsputz), Zementkalkputz, Silikatplatten u. a.

Weitere Mittel zur Bekämpfung mit Kurzbeschreibung und ihre Anwendung werden in der **Anlage 8** aufgeführt.

8.3.3. Anwendung und Umgang mit chemischen Mitteln

Die Stellen werden gut durch getränkt und ausgerieben. Die Augen und Schleimhäute sind zu schützen und es ist intensiv zu lüften, keine offene Flamme oder Funken erzeugen. Es empfiehlt sich, bei den Maßnahmen Handschuhe und eventuell eine Staubbrille sowie

Mundschutz zu tragen. (In zahlreicher Literatur wird dies zwingend vorgeschrieben, aber beim Umtopfen der Zimmerpflanze trägt man auch keine Handschuhe, obwohl die Blumentopferde die höchste Konzentration an *Aspergillus fumigatus* aufweist.) Bei den Maßnahmen ist eine Staubentwicklung und damit Sporenausbreitung möglichst zu vermeiden.

Daneben muss man sich vor den Bekämpfungsmitteln schützen. Spritzer z. B. von Ammoniak in die Augen sind unangenehm, daher ist ein Augenschutz sinnvoll. In der Regel reicht die normale Brille aus. Bei gewerbemäßiger Ausführung ist eine Schutzbrille oder ein Schutzvisier (gleichzeitiger Gesichtsschutz) erforderlich.

Die befallenen Materialien, wie Tapete, Leime, Farbanstriche und andere organische Bestandteile sind zu entfernen und gleich in Plastiktüten, z. B. Mülltüten, zu stecken. Es ist möglichst eine staubfreie Ausführung zu garantieren, damit eine unnötige Verteilung der Sporen und Myzelteile vermieden wird. Schimmelpilze benötigen vorwiegend organische Materialien als Nahrung. Diese sind im Gefährdungsbereich zu entfernen, z. B. an kalten Wandflächen. Über die Entfernung des Putzes ist fallweise zu entscheiden. In der Regel dürfte eine gründliche Säuberung der Wand- bzw. Putzoberfläche, z. B. mit Spachtel und Drahtbürste, ausreichen. Mineralische Putze dienen nicht als Nahrungsgrundlage. Das Myzel bewächst daher vorwiegend die Oberfläche und eventuell wenige Millimeter tief, um an der Oberfläche eingelagerte Feuchtigkeit und organische Bestandteile aufzunehmen. Bei altem sprödem Putz sind die Einlagerungen natürlich viel tiefer. Auch kann hier das Myzel durch das lockere Gefüge leichter eindringen. Ob ein teilweiser Putzaustausch erforderlich ist, muss je nach Befallsstärke durch Schimmelpilzmyzel eingeschätzt werden. Bei sichtbar durchfeuchtetem, mit Salzausblühungen versehenem oder sehr altem losen Putz ist ein Austausch generell zu empfehlen. [14]

8.4. Bekämpfung durch Hitze

Die Bekämpfung der Mikroorganismen mit Hitze findet in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, Medizin, Pharmazie und viele andere Bereiche Ihre Anwendung. Myzel lässt sich bereits bei relativ niedrigen Temperaturen wirkungsvoll bekämpfen. Sporen sind dagegen wesentlich hitzeresistenter. Ein Gebäude mit massivem Mauerwerk benötigt eine sehr große Wärmemenge durch sein Speichervermögen. Bei den erforderlichen Temperaturen weit über 100 °C stehen solche Verfahren aus wirtschaftlicher Sicht nicht zur Diskussion. Ebenso werden bei diesem Temperaturbereich viele Baustoffe in ihrer Struktur, Farbe und Aussehen geschädigt. Eine Bekämpfung durch Hitze gibt keinen vorbeugenden Schutz. Solche Verfahren können sich daher nur auf ausgewählte Bereiche beschränken. Bei den Heißluftverfahren zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten und Pilze sind die Temperaturen niedriger. Auf diese soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Lokal auf kleine Bauteilflächen wäre der Einsatz der Mikrowellentechnik denkbar. Erfahrungen über eine erfolgreiche Bekämpfung liegen nicht vor. Anwendungsbereiche könnten hier im Denkmalschutz liegen, wo eine chemische Bekämpfung entfällt. Die Wassermoleküle im betreffenden feuchten Bauteil reagieren aufgrund ihres Dipols²⁴ und erwärmen sich durch Molekülreibung. Die Erwärmung wirkt auch in organischen Verbindungen, die Wassermoleküle beinhalten. Diese werden zerstört oder geschädigt, sodass kein Wachstum mehr erfolgen kann. Inwieweit auch trockene Materialien, wie Myzelteile oder Sporen, abgetötet werden, kann nicht gesagt werden, dazu bedarf es entsprechende Untersuchungen.

Es muss hier ergänzend darauf hingewiesen werden, dass eine bloße Abtötung der Schimmelpilze nicht ausreicht, sie müssen entfernt werden. Auch von abgetöteten Schimmelpilzen gehen allergische und reizende Wirkungen aus. [42]

8.5. Sanierungsmaßnahmen

8.5.1. Kurzfristige Maßnahmen

Die nachfolgenden Ausführungen sind allgemeine Empfehlungen und haben keinen rechtsverbindlichen Charakter. Jeder Sanierungsfall erfordert eine spezielle Einzellösung.

Zur fachgerechten Sanierung ist die genaue Bestimmung der Ursachen erforderlich. Dazu sind bereits verschiedene Hinweise in den vorangehenden Punkten aufgeführt. Können die Ursachen nicht eindeutig bestimmt und beseitigt werden, so ist ein erneuter Befall vorprogrammiert.

Kann eine Sanierung nicht sofort begonnen werden, so sind aus hygienischen und vorbeugenden gesundheitlichen Gesichtspunkten Maßnahmen zu ergreifen, um möglichst eine geringe Belastung zu erreichen. Als Beispiel sollen hier einige ausgewählte Maßnahmen genannt werden:

Abrücken der Möbel von der kühleren Wandfläche (Außenwand, Treppenhaus, unbewohntes Nachbargebäude usw.),

- Entfernung von befallenen Tapeten, z. B. hinter dem Möbelstück (ist nicht im unmittelbaren Sichtbereich und somit nicht störend),
- Reduzierung der vorhandenen Schimmelsporen durch das Herausnehmen des befallenen Möbelstückes, z. B. starker Befall auf der Rückseite des Schrankes (Pressspanplatte) oder
- Reinigung und Desinfektion der kleineren Befallsfläche mit 80 %igen Alkohol (siehe Punkt 8.3.2. Oder Punkt 8.6. unter Holz bzw. Möbel),
- Abdecken der Befallsbereiche möglichst ohne Staubverwirbelung,
- Vorübergehende Nichtnutzung des Raumes, wo der Befall vorliegt, bzw. nur eingeschränkte Nutzung oder einer anderen Nutzung zuführen,
- Veränderung der Nutzung, z. B. die Luftfeuchtigkeit wird kontrolliert (Hygrometer) und entsprechend gelüftet und geheizt,
- Befallene Blumenerde entfernen.
- Lebensmittel und andere Gegenstände wie Kinderspielzeug und Kleidung sollten in diesem schimmelpilzgefährdeten Raum möglichst nicht gelagert werden.

8.5.2. Langfristige Maßnahmen

- Die Sanierung muss das Ziel haben, die Schimmelpilze vollständig zu entfernen. Eine bloße Abtötung von Schimmelpilzen reicht nicht aus, da auch von abgetöteten Pilzmaterialien allergische und reizende Wirkungen ausgehen.
- Zur Sanierung keine pilzwidrigen Anstriche verwenden; sie sind entweder wirkungslos oder enthalten starke Wohngifte.
- Glatte Oberflächen, wie bei Metall, Keramik oder Glas, können nach Entfernung mit Wasser und üblichen Haushaltreinigungsmitteln gesäubert werden.

- Ausbaubare Baustoffe, wie Paneele, Gipskartonbauplatten, Beläge werden entfernt. Andere poröse Stoffe, wie Putze, Mauermörtel oder Mauersteine verschiedener Art sind gründlich mechanisch (Besen, Drahtbürste usw.) zu säubern oder bei starkem Befall abzubrechen. Hier könnte unter Umständen auch die Bekämpfungsmethode aus dem Holzschutz, das Abflammen, zur Anwendung kommen. Die Oberfläche wird mit einem Gasbrenner abgeflammt. Der Ausbau erfolgt so, dass möglichst eine geringe Staubbelastung auch auf andere Räume erfolgt.
- Stark befallene Einrichtungsgegenstände mit Polsterung oder andere Textilien (Teppich, Vorhänge, Wäsche usw.) sind kaum mit vertretbarem Aufwand zu säubern, sodass je nach Anschaffungskosten und ideellem Wert eine Entsorgung zu empfehlen ist, Ergänzungen hierzu im Punkt 8.6.
- Der Sanierungsaufwand muss dem Ausmaß des Schadens, der Nutzung und wirtschaftlichen Gesichtspunkten entsprechen. Z. B. in einem Kindergarten oder im Krankenhaus ist ein anderer Aufwand erforderlich als bei einem untergeordneten Lageraum.
- Bei größeren Schimmelpilzschäden sollten daher die befallenen Bereiche staubdicht abgeschottet werden oder andere Maßnahmen ergriffen werden, um die Ausbreitung von Schimmelpilzsporen zu minimieren. Nach der Sanierung ist eine Entfernung von Feinstaubpartikeln (Feinreinigung) in der Umgebung der sanierten Stellen vorzunehmen. Nach Abschluss der Sanierung kann eine „Sanierungsfreimessung“, durch die der Erfolg der Sanierung belegt wird, vorgenommen werden, wenn vorher eine qualitative und quantitative Messung erfolgte.
- Falls ein erneuter Pilzbefall selbst durch Baumaßnahmen nicht auszuschließen ist, bleibt für Allergiker nur noch der Auszug.

8.6. Sanierung von schimmelpilzbefallenen Materialien

8.6.1. Einleitung

Einrichtungsgegenstände oder Haushaltstextilien können sowohl durch hohe Luftfeuchtigkeit aber auch nach einem Leitungswasserschaden oder Hochwasser durch Schimmelpilze geschädigt werden. Je eher beim Erkennen eines Schimmelschadens, was meist in Verbindung mit einem muffigen Geruch steht, reagiert wird, so geringer ist der Aufwand zur Erhaltung des Gegenstandes bzw. es muss nicht alles entsorgt werden.

Werden die Gegenstände unmittelbar durch Wasser durchfeuchtet, dann ist eine schnelle Trocknung erforderlich. Sind diese verschmutzt, so ist vorher noch eine Säuberung mit sauberem Wasser erforderlich. Bauteile sind so zu öffnen, dass möglichst viel Luft diese umspült. Weitere Ausführungen unter [109].

8.6.2. Glatte Oberflächen

Glatte Oberflächen aus anorganischen Stoffen, wie Metalle, Glas, Keramik lassen sich mit Wasser und Haushaltsreiniger säubern.

8.6.3. Poröse Materialien

Poröse Materialien (meist aus organischen Stoffen), wie Tapete, Gipskartonbauplatten, Gipsfaserplatten, Putze, zum Teil (poröses) Mauerwerk und Verkleidungsplatten können in der Regel nicht ausreichend gereinigt werden. Das Entfernen der Tapete stellt dabei kein

Problem dar. Der Karton der Gipsplatte ist für die Festigkeit verantwortlich. Ist dieser geschädigt, so wird die Festigkeit herabgesetzt. Eine Entfernung (ausgenommen auf wirklich kleinste Flächen) ist daher nicht sinnvoll. Die betroffenen Plattenbereiche sind mit einem entsprechenden Sicherheitsabstand auszubauen (mit Messer oder Handsäge) und anschließend wird ein neuer Plattenstreifen eingesetzt. Bei Zwischenwänden ist auch das Dämmmaterial auszutauschen. Die durchfeuchtete Kartonbeschichtung wird häufig von *Chaetomium sp.* und *Stachybotrys chartarum* befallen, die auch in der Mineralwolle vorkommen kann. [110]

Bei Putzen ist der entsprechende Schädigungsgrad festzustellen. Liegt ein umfangreicher Befall vor, so erfolgt ein Austausch, bevorzugt ist ein Kalkputz. Kalk ist stark alkalisch und somit keimtötend.

Schimmelflecken auf Tapeten und anderen Papieren

Dazu dient eine Lösung von 1 Teil Salizylsäure in 5 Teilen Alkohol, mit der die Stelle mehrmals betupft wird. (Chemikalien siehe Anlage 8)

Schimmel in Bücher

Hier feuchtet man den Fleck an und betupft mit etwas verdünnter Formalinlösung. (Chemikalien siehe Anlage 8). [111]

8.6.4. Holz

Holzbauteile können ebenfalls durch Schimmelpilze befallen werden. Zu beobachten ist dies, wenn nasses Holz im Gebäude verbaut wird und nicht ausreichend schnell abtrocknen kann, unsachgemäß oder unter Luftabschluss (Folie) gelagert wird. Eingebrachte Holzschutzmittel sind zum Schutz gegen holzerstörende Insekten und oder Pilze und bieten daher in der Regel keinen ausreichenden Schutz gegen Schimmelbefall. Z. B. frisch imprägniertes Bauholz mit fluoridhaltigem Holzschutzmittel biete eine gute Befallsgrundlage. [40] Bei schneller Abtrocknung sind diese Flächen lokal und stellen keine sonderliche Gefährdung dar. (Anmerkung: Holzschutzmittel dürfen nicht in Innenräumen verwendet werden.) Auf glattem Holz (Bretter, Leisten oder Balken) ist vorwiegend nur die obere Fläche (bis 0,5 mm tief) befallen. Die Schimmelpilze sind durch Abtrocknung zu bekämpfen. Es ist zu beachten, dass auch von toten Schimmelpilzsporen und Myzelteile gesundheitliche Gefährdungen ausgehen. Daher ist eine Beseitigung erforderlich bzw. diese dürfen nicht in den Innenraum gelangen. Durch das Abschleifen könnten hier begrenzt Oberflächenbereiche saniert werden. (Atemschutz tragen!)

Bei verschimmeltem Holzanstrich muss man sich bei der Reinigung ausreichend schützen. Um die in den Rissen des schadhaften Anstrichs verteilten Pilzteile abzutöten, ist eine desinfizierende Reinigung erforderlich. Ebenso ist vor einem Neuanstrich der Untergrund zu sanieren.

Holzwerkstoffe, wie Spanverlegeplatten oder Holzfaserplatten sollten ausgebaut und entsorgt werden. Durch ihre poröse Struktur und die Verteilung von Bindemitteln kann mit einem Myzelbefall durch den gesamten Querschnitt gerechnet werden.

8.6.5. Möbel

Möbel, Stühle u. a. haben meist eine geschlossene Oberflächenstruktur. Das kann Furnier, eine Kunststoffbeschichtung, Wachs- oder Ölschicht sein. Ein Befall kann sich unter Umständen auf die Staub- und Fettschicht beschränken. Die Oberfläche ist feucht zu reinigen, zu trocknen und gegebenenfalls mit 80%-igem Alkohol zu reinigen (Desinfektion). Arbeiten im Freien oder bei guter Durchlüftung vornehmen, da Brand- und Explosionsgefahr besteht. Bei stark befallenen Möbeln sollte eine Entsorgung erfolgen. Auch könnte man nur die befallenen Einzelteile, wie z. B. die Rückwand aus Hartfaserplatten, austauscht. (Baumärkte schneiden in der Regel die gewünschten Plattengrößen zu.) Die übrigen Teile werden wie o. g. behandelt.

8.6.6. Haushaltskeramik

Diese sind mit üblichem Haushaltsreiniger und Wasser zu säubern. Zusätzlich kann man die nicht brenn- und formbeständigen Gegenstände in die elektrische Backröhre bei 150 °C und ca. 20-30 min. erhitzen. Diese Temperatur ist ausreichend, um die meisten Sporen abzutöten.

(Holz erfährt bei einer Temperatur knapp unter 100°C eine thermische Veränderung, daher ist diese Methode für Holz nicht sinnvoll.)

8.6.7. Textilien

Einrichtungsgegenstände mit Polsterung (Sessel, Sofa) und Haushaltstextilien (Gardinen, Auslegware, Teppich u. a.) lassen sich nur mit großem Aufwand sachgerecht sanieren. Hier ist eine Kosten-Nutzen-Rechnung vorzunehmen. Bei kleineren Schädigungen ist die Behandlung, wie unter den Anstrich Stockflecke vorzunehmen. Einzelstücke können unter Umständen auch in der Waschmaschine gewaschen werden. Vorher sollten jedoch die Textilien soweit wie möglich vom Pilzmyzel bzw. -sporen gesäubert sein. Die Verwendung von Enzymwaschmittel könnte hierbei von Vorteil sein. Enzyme lösen Eiweißverbindungen, unabhängig ob diese tot oder lebend sind. Inwieweit sich dies auf den jeweiligen Schimmelpilz auswirkt, kann nicht mit Bestimmtheit genannt werden. Das hängt von Eigenresistenz, von der Konzentration des Myzels sowie der Sporen und von der Schadensgröße ab. In diesem Zusammenhang soll auch noch einmal darauf hingewiesen werden, dass Sporen sehr widerstandsfähig sind und extreme klimatische Bedingungen überstehen können. Myzel dagegen lässt sich in der Regel leichter abtöten. Z. B. werden Fußpilze bei einer Waschtemperatur von 30 °C nicht abgetötet. Erst ab einer Temperatur von 60 °C erfolgt eine Minderung um den Faktor 10.000 und bei 90 °C erfolgt eine vollständige Abtötung. [112] Sinngemäß sollte dies beim Waschen von pilzbefallenen Textilien berücksichtigt werden.

In der Textilindustrie erhalten bestimmte Textilien, wie z. B. Socken, Strümpfe, Futterstoffe, Woldecken, Teppiche für Badezimmer u. a., antimikrobielle Ausrüstung. Das sind Chemikalien (unter den verschiedensten Namen wie Sanitized, Actifresh, bioguard usw.) die zum Einsatz gegen Mikroorganismen kommen, wie sie für den Kampf gegen Pilze oder als Wachstumshemmer verwendet werden. So wird die anfällige Cellulosekleidung (pflanzliche Fasern, Regenratfasern) vor Schimmelbefall bewahrt. Zelte und Planen werden im Freien besonders stark vor Fäulnis und Verrottung beansprucht. Die Baumwolle oder das Leinen wird teilweise mit hochgiftigen Chemikalien geschützt. Diese stehen zwar nicht unmittelbar im Kontakt mit der Haut aber für eine spätere Entsorgung stellt es ein Umweltproblem dar. [112]

8.6.8. Stockflecken

Charakteristisch sind weißliche, graue oder grünliche Flecken mit muffigem Geruch. Die befallende Stelle wird mit warmem Wasser benetzt und verdünnte Ammoniaklösung aufgetropft, anschließend Kaliumhydrogenoxalatlösung, eine Weile einwirken lassen und dann auswaschen. Nun kann noch mit verdünnter Wasserstoffperoxydlösung, Entfärberlösung oder Bleichlauge je nach Faserart gebleicht werden. Für Wollerzeugnisse ist auch Waschmittellösung geeignet, dann verdünnte Ameisensäure oder Ammoniumchlorid anwenden. Zuletzt müssen alle Fleckmittelreste gut ausgewaschen werden.

Seide und Viskoseseide mit Boraxlösung betupfen und auswaschen. Bei gefärbten Textilien Vorsicht mit Bleichmitteln. [113]

8.6.9. Leder

Schimmelflecken (Stockflecken) werden mehrmals mit Essigwasser abgerieben. Nach dem Trocknen werden diese Stellen mit etwas Lösungsmittel gereinigt und anschließend mit Lederbalsam bzw. Schuhcreme behandelt. Stark saugende Erzeugnisse, wie Handschuhe, Taschen und Wildlederschuhe dürfen nicht mit einem Balsam behandelt werden, welches Lösungsmittel enthält. Es entstehen dunkle Wachsplecken, die sich nicht entfernen lassen. Hier sind Spezialpräparate zu verwenden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass der Fleck zuerst mit einem Tuch trocken abgerieben und dann mit einer Mischung aus einigen Tropfen Salpetersäure auf 100 ml Wasser benetzt wird. (Vorsicht beim Umgang. Salpetersäure ist einer der stärksten Säuren.) Zur Vernichtung der Schimmelpilze kann man auch Salizylspiritus (Apotheke) oder verdünnte Formalinlösung verwenden. Diese werden mehrmals aufgetropft, dann lässt man gut trocknen. Nachbehandlung wie in der ersten Möglichkeit.

Stark verstockte Lederhandschuhe betreut man mit Ammoniumkarbonat und wickelt sie in mehrere Lagen Papier fest ein. So bleiben sie einige Tage liegen. Das verdunstende Ammoniak vernichtet die Schimmelpilze. Die Stelle wird mit Schuhcreme mehrmals abgerieben. Genügt die Behandlung nicht, so benetzt man einen Lappen mit etwas Terpentin und reibt ganz leicht über den Fleck. Anschließend muss wieder Schuhcreme aufgetragen werden, da vom Lösungsmittel das Wachs gelöst wurde und eine stumpfe Stelle vorliegt. [114]

8.6.10. Außenfassade

Wie im Punkt 7.4.5. (Kondenswasserbildung an der Wandkonstruktion) genannt, erfolgt an bestimmte wärmegeämmten Fassaden ein mikrobieller Befall. Ein dreijähriger Freilandversuch (FHG/IBP Holzkirchen) zeigte eine Erhöhung der Oberflächentemperatur durch reduzierte Wärmestrahlung, was deutlich zur Verringerung der Tauwasserbildung auf gedämmten Fassadenoberflächen führte. Hier kam eine Kombination des Lotus-Effekts und einer niedrig emittierenden Beschichtung (ThermoColor) zur Anwendung. [115] Durch Stindl [116] wird besonders die hydrophobe Wirkung der Siliconharzfarben, welche einen großen Kontaktwinkel zwischen Wasser und Beschichtung erzeugen, als ein guter Schutz vor dem Algenwachstum hervorgehoben. Die schnelle Alterung der Kunstharzputze wird negativ bewertet.

8.7. Schutzmaßnahmen bei der Sanierung

Bei der Sanierung, in Eigenleistung oder durch ein Gewerbe, liegt eine Gefährdung durch sensibilisierende Gefahrstoffe vor, da schimmelpilz- und actinomycetenhaltiger Staub als sensibilisierender Gefahrstoff eingestuft ist.

Wichtig ist dabei, dass nicht nur die Sanierer, sondern auch die Bewohner bei der Beseitigung des Schimmelpilzbefalls durch geeignete Schutzmaßnahmen vor Schimmelpilzexposition geschützt werden müssen. Dabei muss auch der Gesundheitszustand der Nutzer (Gesunde, Allergiker, immunsupprimierte) berücksichtigt werden.

Außerdem muss verhindert werden, dass sich Schimmelpilze durch die Sanierungsmaßnahmen in andere Bereiche der Räume oder Gebäude ausbreiten und dort eventuell zu neuen Problemen führen. Auf jeden Fall sind Lebensmittel und andere Gegenstände wie Kinderspielzeug und Kleidung vor der Sanierung aus dem Raum zu entfernen.

Bei umfangreichen Maßnahmen ist auf eine persönliche Schutzkleidung, wie Handschuhe, Staub-/Schutzbrille und Atemschutz, zu tragen.

Folgende wichtige Arbeitsschutzvorschriften und andere Regelungen sind zu beachten:

- Biostoffverordnung
- TRBA (Technische Regel Biologische Arbeitsstoffe) 400 Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen,
- TRBA 430 Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz, BArbBl. Nr. I (1997) S47-53
- TRBA 460 Einstufung von Pilzen in Risikogruppen,
- TRBA 461 Einstufung von Bakterien in Risikogruppen,
- TRBA 500 Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen
- TRBA 524 Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen,
- TRGS (Technische Regel Gefahrstoffe) 540 (sensibilisierende Stoffe),
- TRGS 907 (Verzeichnis sensibilisierender Stoffe),
- Merkblatt der BGW und des GUV "Allergiegefahr durch Latexhandschuhe"

Bei größeren Schimmelpilzschäden sollten daher die befallenen Bereiche staubdicht abgeschottet werden oder andere Maßnahmen ergriffen werden, um die Ausbreitung von Schimmelpilzsporen zu minimieren. Nach der Sanierung ist eine Entfernung von Feinstaubpartikeln (Feinreinigung) in der Umgebung der sanierten Stellen vorzunehmen. [117]

8.8. Vorsichtsmaßnahmen zur Verringerung der Schimmelpilzgefährdung

- Räume mit hoher Luftfeuchte wie Küche, Bad, Schlafzimmer oft und gründlich lüften!
- Holzverkleidungen nur nach den Regeln der Baukunst mit ausreichender Hinterlüftung anbringen!
- Schränke oder großflächige Bilder nie an Außenwänden oder kühleren Nebenräume (Treppenhaus o. ä.) aufstellen bzw. hängen.
- Unbenutzte Räume (z. B. Gästezimmer) mindestens einmal täglich gründlich lüften. In diesen Räumen keine Zimmerpflanzen und keine großen Möbelflächen nahe an die Wand stellen!

- In Wochenendhäuser für Dauerlüftung sorgen. Keine Zimmerpflanzen und keine großen Möbelflächen nahe an die Wand stellen!
- In unbenutzten Räumen und Wochenendhäusern Wandanstriche, soweit das möglich ist, aus Kalk-, Silikat- oder Zementfarben verwenden!
- Zimmerpflanzen möglichst auf Blähton oder ähnlichen Substraten!
- Ein Hygrometer gibt immer Auskunft über den aktuellen Wert der relativen Luftfeuchte.
- Keine Zimmerpflanzen in Blumenerde in Krankenzimmern!
- Krankenzimmer besonders oft und gründlich lüften!
- In jedem Fall Verzicht auf Luftbefeuchter! [118]

8.9. Zusammenfassung zum schadstoffarmen Haus

Unter „gesunde“ Häuser versteht jeder etwas anderes, vor allem die Baustoff- oder Hausverkäufer. Der Begriff „bio“ oder „ökologisch“ muss zum Teil für sehr fragwürdige Konstruktionen oder Baustoffkombinationen herhalten. Grundsätzlich muss ein Fertigteilhaus nicht „ungesünder“²⁵ als ein Massivhaus sein. Es spielen eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle, die von der Konstruktion, Bauausführung, Standortklima, Nutzung u. a. abhängt. Als Orientierung sollten die örtlichen traditionellen Bauweisen gelten. Aber auch hier ist zu beachten, dass man auch früher preiswert und nicht immer ganz richtig gebaut hat. Bevorzugt sollten einfache massive Wandkonstruktionen aus mineralischen Baustoffen, z. B. 35-40 cm Ziegelstein um 700-800 kg/m³ und beidseitig Kalk-, Kalkzement- oder Trassputz sein. Generell sollten nur wenige Baustoffe zum Einsatz kommen, wo Lösungsmittel (z. B. Weichmacher) oder Konservierungsmittel (z. B. Biozide, Flammenschutzmittel u. a.) ausgasen können.

International werden für die Beurteilung von Innenraumbelastungen etwa 20 chemische Hauptschadstoffe benannt. Das UFZ erweitert die Zahl auf insgesamt 120 Substanzen. Hauptursache für die Innenraumbelastung ist das Rauchen oder das Abbrennen von Räucherstäbchen, danach folgen Ausdünstungen beim Kochen und Heizen. Eine ganzjährige Luftzirkulation ist das beste Mittel, um Schadstoffe im Gebäude zu reduzieren. [148]

Organische Baustoffe sind über viele Jahre trocken zu halten. Kann dies zweifelsfrei nicht abgesichert werden, so ist auf unverrottbare, meist mineralische Baustoffe auszuweichen. Bei der Heizungsauswahl ist eine Strahlungsheizung dem Vorrang zu geben. Ob eine Fußboden-, Wandflächen- oder Randleistenheizung zum Einsatz kommt, hängt von den jeweiligen Räumen, der Nutzung und den gestalterischen Wünschen ab. Sicherlich kann es auch ein moderner Ofen sein.

Anlage 1: Checkliste um die Schimmelpilzentstehung zu vermeiden

- Überprüfung der Lüftungsgewohnheiten, Querlüftung 3-4mal täglich, 5-15 Minuten lang;
- Kontrolle der Raumlufttemperatur, die Differenz innerhalb einer Wohnung sollte etwa 4 K nicht überschreiten, dabei ist die Raumtemperatur und die Temperatur in der kühlssten Raumecke möglichst über den Fußboden zu messen. Als Hilfsmittel steht das Berechnungstool unter www.ib-rauch.de/Beratung/schim/feucht1.php zur Verfügung.
- Erhöhtes Feuchtigkeitsaufkommen beim Backen, Braten, Kochen, Duschen, Baden sofort direkt ins Freie ableiten. Keine Verteilung der Feuchtigkeit in der Wohnung durch geöffnete Türen zu lassen.
- Einsatz technischer Hilfsmittel (Entlüftungseinrichtung)
- Messung der Feuchtigkeit mit einem Hygrometer, eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 60% sollte als Obergrenze eingehalten werden. Besser sind Werte um 50% besonders im Winter.
- Einrichtungsgegenstände an Außenwänden sind nicht luftstrombehindernd anzuordnen (mind. 5 cm Abstand zur Wand). Raumecken sind möglichst frei zu halten.
- Prüfung des Standortes des Heizkörpers. Kann eine richtige Luftwalze entstehen und werden durch diese alle Außenwandteile ausreichend erfasst.
- Verwendung diffusionsoffener Baustoffe, Vermeidung von Dampfbremsen und diffusionsdichter Stoffe, Folien, Tapeten oder Farben.
- Austrocknung feuchter Bauteile vor jeder Sanierung!
- Nachträgliche, zusätzliche Dämmmaßnahmen immer so anordnen, dass die Dämmschicht möglichst weit außen liegt, also dort, wo der Wärmeverlust am größten ist.

Anlage 2: Ausgewählte Toxine

Aflatoxine

Gruppe von Stoffwechselprodukten der Schimmelpilze *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* u. a., die bestimmte Nüsse, Mais u. Getreidemehle befallen. A. zählen zu den gefährlichsten Pilzgiften (Mycotoxinen) und stärksten Lebercarcinogenen^{1,2}. Bekannt wurden sie als Verursacher des Truthahnsterbens, dem 1960 in Großbritannien 100.000 Truthühner zum Opfer fielen³.

Tab.: Aflatoxine.

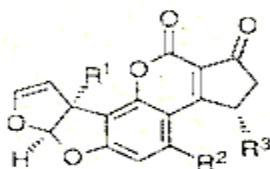
Aflatoxine	Summenformel	MR	Schmp. [°C]	Drehwert (a]D	CAS
B1	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	312,28	268 - 269	-562° (CHCl ₃)	1162-65-8
B2	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	314,29	305	-492°(CHCl ₃)	7220-81-7
B2a	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330,29	217		117878-54-5
P1	C ₁₆ H ₁₆ O ₆	298,25	>320	-574° (CH ₃ OH)	3225-02-4
B3	C ₁₆ H ₁₄ O ₆	302,28	217		23315-33-5
G1	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328,28	247- 250	-556° (CHCl ₃)	1165-39-5
G2	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330,29	237- 240	-473° (CHCl ₃)	7241-98-7
G2a	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328,28	299	-280° (DMF)	6795-23-9
M2	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330,29	293		6885-57-0
GM1	C ₁₇ H ₁₂ O ₈	344,28	276		23532-00-5
GM2	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	346,29	270- 272		
Q1	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328,28	266		52819-96-2

A. *flavus* bildet die A. B1 u. B2; A. *parasiticus* zusätzlich noch G1 u. G₂ (B = blau u. G = grün stehen für die Fluoreszenz im UV-Licht). Andere A. sind tierische oder mikrobielle Stoffwechselprodukte dieser vier (z.B. M1, M 2, GM2, P1, Q₁). Verbindung. der M-Reihe treten besonders in der Milch u. Milchprodukten auf. Die A. bestehen alle aus einem Dihydrofurofuran- bzw. Tetrahydrofurofuran-Ringsystem, das an ein substituiertes Cumarin-System ankondensiert ist.

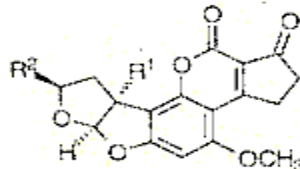
A. sind die einzigen Toxine, deren max. Gehalt in Lebens- u. Futtermitteln gesetzlich geregelt ist⁵ (Aflatoxin-Verordnung). Für den Nachweis im pgng Bereich sind Antikörper für ELISA-Tests erhältlich.

Aflatoxin B1 ist das am häufigsten vorkommende, am stärksten toxisch u. carcinogene Aflatoxin. Die Giftigkeit der A. hängt einmal von der Struktur, zum anderen aber von den individuellen Voraussetzungen des einzelnen Organismus bzw. Zelltyps ab. Primär wird die Leber angegriffen, aber auch Nierenschädigungen treten auf. A. B1 wird durch mikrosomale Enzyme metabol. aktiviert, dabei entsteht ein reaktives Epoxid. Dieses kann sowohl an DNA als auch chromosomale Proteine binden. Die mutagene u. carcinogene Wirkung wird durch eine kovalente Bindung an N-7 eines Guanosins der DNA mit anschließenden Folgereaktionen u. dadurch bedingte Mutation im Gen p53, einem Tumorsuppressor-Gen. erklärt. In Hepatozyten kommt es in Gegenwart von A. B1 zu einer G --> T Umwandlung, die zu einem Austausch von Arginin durch Serin im codierten Protein führt. Diese G --> T Umwandlung findet man auch in Lebertumoren⁶. A. B1 u. Hepatitis B Virus wirken synergist. in der Leber⁷. Bes. empfindlich auf A. B1 reagieren Forellen u. Entenküken (LD50

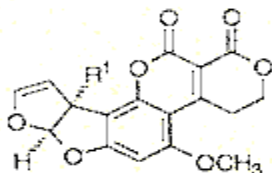
18 µg/50 g Körpergewicht). Die Biosyntheseschritte sind incl. der beteiligten Enzyme u. z.T. der Gene aufgeklärt⁷. - E aflatoxins



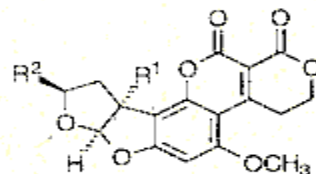
$R^1 = H, R^2 = OCH_3, R^3 = H$: A. B₁
 $R^1 = OH, R^2 = OCH_3, R^3 = H$: A. M₁
 $R^1 = H, R^2 = OH, R^3 = H$: A. P₁
 $R^1 = H, R^2 = OCH_3, R^3 = OH$: A. Q₁



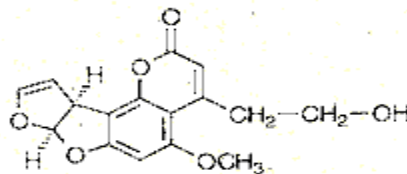
$R^1 = H, R^2 = H$: A. B₂
 $R^1 = OH, R^2 = H$: A. M₂
 $R^1 = H, R^2 = OH$: A. B_{2a}



$R^1 = H$: A. G₁
 $R^1 = OH$: A. GM₁



$R^1 = H, R^2 = H$: A. G₂
 $R^1 = OH, R^2 = H$: A. GM₂
 $R^1 = H, R^2 = OH$: A. G_{2a}



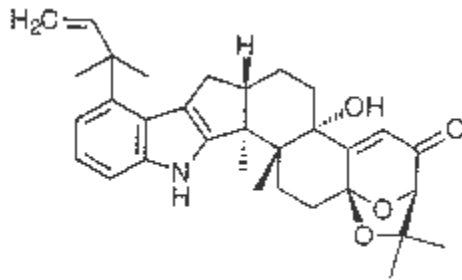
A. B₃

Lit.: Nature (London) 267, 863 (1977). ²Proc. Natl. Acad. Sci USA 80, 2695-2698 (1983).
³Endeavour 1963, 75-79. ⁴J. Am. Chem. Soc. 85, 1705 (1963); 87, 882 (1965) ⁵BGBI. I. S. 3313
i.d.F. der Änderungs-VO vom 6.11.1991. ⁶Nature (London) 350, 427-428, 429-432 (1991).
⁷Handbook of Applied Mycology. Bd. 5, Mycotoxins in Ecological Systems. Kapitel 10 u. lt.
New York: Marcel Dekker 1992; Appl. Environ. Microbiol. 59, 3273-3279 (1993); Lancet
339, 943-964 (1992).

allg.: Angew. Chem. 96. 462-474 (1984) - *Betina. Kapitel 7. Cote-Cox, 5. 1-66.* - *Biosynth.: Microbiot. Re., 52. 274—295 (1988).* *Biochemistry* 30.4343-435(1(1991) . *Appt. Environ. Microbiol.* 59. 3564-3571 (1993). - *Carcinogenese: Proc. Natl. Acad. Sci USA* 83, 9418-9422 (1986): 90, 8586-8590 (1993) - *J. Biol. Chem.* 264. 12226-1231 (1989). - *Epidemiologie: Annu. Rev. Phytopathot.* 25. 249—270 (1987).

- *Synth.: J. Org. Chem.* 51. 1006 (1986) - *Sax 18.*). *AET-AEW 500. Synthesis* 1988. 760. [HS 2932 90] [119]

Aflatrem (a,a-Dimethylallylpaspalinin)



a,a-Dimethylallylpaspalinin C₃H₃₉NO₄, MR 501,67, Nadeln, Schmelzpunkt 222-224 °C, Inhaltsstoff von *Aspergillus flavus* - Sklerotien u. Mycel, gehört zu den tremogenen Toxinen, welche bei Tieren Zittern u. Krämpfe hervorrufen (s.a. Paspalin bei Paspalitreme). In den Sklerotien wird A. Schutzfunktion vor Tierfraß zugeschrieben. - E aflatrem

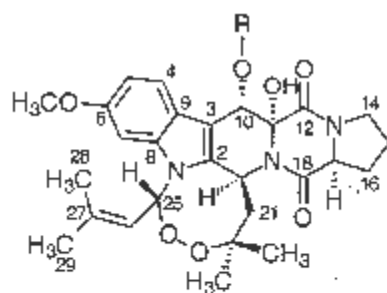
Lit.: - Cole-Cox. S. 410-413 , - Science 44, 177 (1964), - *Tetrahedron Lett.* 1980. 239. - [CAS 70553-75-2] [120]

Fumitremorgene

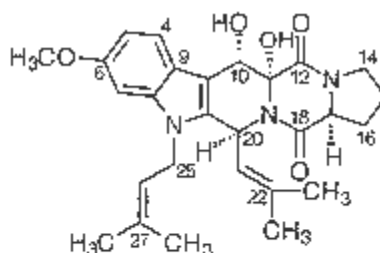
Gruppe neurotox. 6-Methoxyindol-Alkaloide aus *Aspergillus*- u. *Penicillium*-Arten. Lanosulin, das von *Penicillium lanosum* gebildet wird, ist identisch mit F. B. Die F. zählen zu den Mycotoxinen die tremorgene Effekte auf Tiere haben (=Zittern auslösen). Andere Verb. mit dieser Eigenschaft sind z.B. die Aflatreme, Janthitreme, Penitreme (Tremortine), Paspalitreme, Territreme u. Verrucosidin.

Tab.: Daten von Fumitremorgenen.

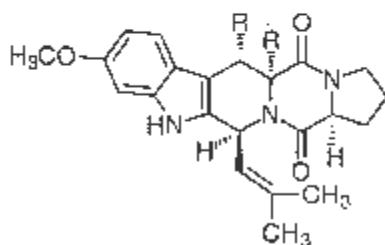
Toxin	Summen- formel[°C] M _R	Schmp.	[α] _D	CAS
F. A	C ₃₂ H ₄₁ N ₃ O ₇ 579,69	206–209 (Aceton)	+61°	12626-18-5
F. B	C ₂₇ H ₃₃ N ₃ O ₅ 479,58	211–212 (CHCl ₃)	+24°	12626-17-4
F. C	C ₂₂ H ₂₅ N ₃ O ₃ 379,46	125–130		118974-02-0
F. C- Diol	C ₂₂ H ₂₅ N ₃ O ₅ 411,46		+18,4°	111427-99-7
TR-2	C ₂₂ H ₂₇ N ₃ O ₆ 429,47	150–152		51177-07-2
Verru- culogen	C ₂₇ H ₃₃ N ₃ O ₇ 511,57	233–235 (CHCl ₃)	–27,7°	12771-72-1



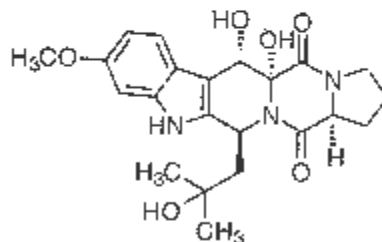
R = H : Verruculogen
R = CH₂–CH=C(CH₃)₂ : F. A



F. B (Lanosulin)



R = H : F. C (SM-Q)
R = OH : F. C-Diol



TR-2

Mit Ausnahme der Territrems u. des Verrucosidins leiten sich alle biosynthetisch von Tryptophan ab. F. A u. B. rufen in Dosen von 1 mg/Tier (i.p.) bei Mäusen Tumor hervor, 5 mg/Tier führen in 70% zum Tode. Verruculogen führt bereits bei 0,01 mg/Tier zu Zittern. Insbes. Weidetiere sind von diesen Toxinen betroffen (s. Taumellolch). *Penicillium piscarium*, von Gras isoliert, produziert Verruculogen u. F. B.; *Aspergillus fumigatus* aus verschimmelten Mais-Silagen produziert Verruculogen. F. A, F. B u. TR-2. —
Efumitremorgins

Lit.: Betina. Kapitel 16 - Chem. Pharm. Bull. 37. 23–32 (1989) Cole-Cox. S. 335–509 - Steyn u. Vleggar. Mycotoxins and Phycotoxins. S. 399–408, 501–512. Amsterdam: Elsevier 1986 - Steyn (Hrsg.). The Biosynthesis of Mycotoxins. S. 204–209. New York: Academic Press 1980 - Tetrahedron 44. 359–377. 1991–N)00 (1988): 45, 1941 (1989) - Tetrahedron

Lett. 28. 1131 (1987): 29, 1323 (1988) - *Turner* 2.410—413. 535ff. - *Zechmeister* 48.54—60. [121]

Mycotoxine

Niedere Pilzmetabolite, die in Nahrungs- und Futtermitteln vorkommen und bei Menschen und Tiere Symptome einer Mycotoxicose (Z.B. Sankt Antonius-Feuer, Ergotismus, Kashin Beck-Krankheit) hervorrufen. Werden M.-haltige Futtermittel an Schlachttiere verfüttert, können M. auch in Eiern, Fleisch od. Milch auftreten, man spricht dann von "carry-over". Teilweise wirken M. auch gegen andere Mikroorganismen, sodass die Abgrenzung zu den Antibiotika nicht immer eindeutig ist. Zu den am stärksten befallenen Lebensmitteln gehören Getreide u. -erzeugnisse, Nüsse, Erdnussbutter, Presskuchen von Ölpflanzen (in die Öle gehen meist nur <10% der Toxine über), Reis, Mais, Malz, Fruchtsäfte (insbes. Apfelsaft), Milch u. Käse. M. Produzenten sind v. a. *Aspergillus*-, *Penicillium*-, *Fusarium*-, *Claviceps*- (Ergot-Alkaloide) und *Rhizopus*-Arten. M. können bereits auf dem Feld oder erst bei der Lagerung (auch im Kühlschrank) gebildet werden. Bekannte M. sind die Aflatoxine (die stärksten natürlichen Carcinogene), Byssochlamsäure, Citrinin, Citreoviridine, Fumonisine, Patulin, Ochratoxine, Sterigmatocystin, Ergot-Al-kaloide, Ergochrome, Cytochalasin, Penicillsäure, Zearalenon, Penitrem, Trichothecene u. andere.

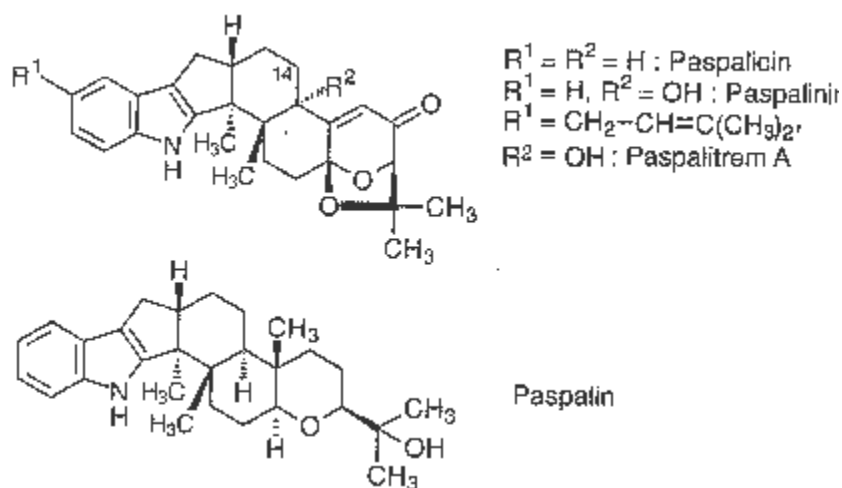
Den sichersten Schutz vor Mycotoxinvergiftungen bietet das Vermeiden des Verzehrs von verschimmelten Lebensmitteln. Pflanzenschutz- u. Konservierungsmittel verhindern Schimmelpilzbefall. Für einige M. gibt es gesetzlich festgelegte Höchstmengen. z. B. ist der max, zulässige Aflatoxin-Gehalt von Lebensmitteln in 60 Ländern geregelt. Die Grenzwerte in den einzelnen g/kg. Die Grenzwerte in den einzelnen Ländern schwanken zwischen 0.05 u. 5 g/kg. In jüngerer Zeit sind M. vom Trichothecen-Typ als Kampfstoffe in Verruf gekommen¹. E mycotoxins

Lit.: ¹*Nachr. Chem. Tech.* 32.598 (1984): *Nature (London)* 309. 207 (1984). *allg.: Chem. Ind. (London)* 1995. 260—264 - *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 96. 346. 355 (1989) - *Food Rev. Int.* 6. 115 (1990) - *Fördergemeinschaft Integrierter Pflanzenbau (Hrsg.)*. - *Natürliche Gifte in Getreide*. Bonn: Rheinischer Landwirtschafts-Verl. 1990 - *Forum Mikrobiol.* 138 (1981) - *Reiß (Hrsg.)*. *Mykotoxine in Lebensmitteln*. Stuttgart: G. Fischer 1981, - *Reiß, Schimmelpilze — Lebensweise. Nutzen. Schaden. Bekämpfung*. Berlin: Springer 1986 - *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 127, 69-94(1992) - *Samson u. van Reenen-Hoekstra, Introduction to Food-borne Fungi*. Baarn: CBS 1988. [122]

Paspalitreme

Gruppe tremorgener Mycotoxine aus *Claviceps paspali*, *Aspergillus flavus*, *A. nomius*. Die Verbindungen werden in Submerskulturen gebildet, kommen aber auch in Sklerotien der Pilze vor, wo man ihnen eine Schutzfunktion gegen Insektenfraß zuschreibt. Daneben findet man diese Neurotoxine auch bei Befall durch *Claviceps paspali* in Weidegras (*Paspalum dilatatum*), wo es zu "paspalum staggers" (s. Taumellolch) bei Weidetieren führt. Man unterscheidet die P. A. B u. C, Paspalin, Paspalinin sowie Paspalicin, z.B. P. A, C32H39NO4, MR 501,67, amorph; Paspalin, C28H39NO2, MR 421,62, Schmp. 264 °C; Paspalicin, C27H31NO3, MR 417,55, Schmp. 230 - 240 °C. A. nomius bildet 14-Hydroxypaspalinin u.

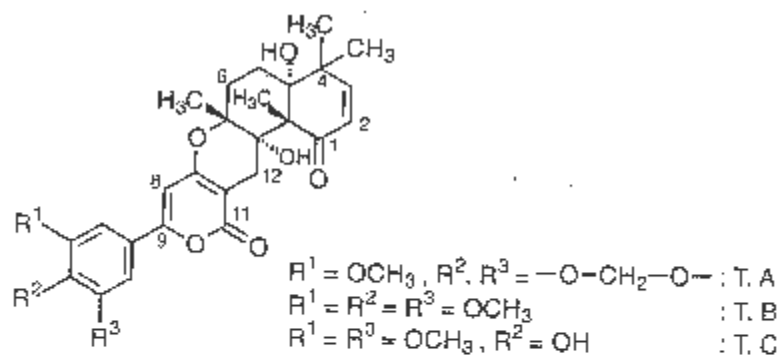
14-(N,N-Dimethyl-L-valyloxy)paspalinin. — E paspalitrems



Lit.: *Betina*. S. 366—371 - *CoLe-Cox*. S. 390—409 - *J. Agric. Food Chem.* 25. 826. 1197 (1977); 29, 293 (1981); 32. 1069 (1984). *Tetrahedron Lett.* 21, 231. 235 (1980); 34, 2569 (1993); - *Zechmeister* 48. 32—45 - s.a. *Janthitreme* u. *Penitreme*. - [CAS 63722-90-7 (P. A): 11024-56-9 (Paspalin); 11024-55-8 (Paspalitin)] [123]

Territrems

Gruppe von tremorgenen Mycotoxinen, die von *Aspergillus terreus* gebildet werden. Im Gegensatz zu den Penitremen Aflatrem und anderen Tremorgenen enthalten die T. keinen Stickstoff. - E. Erritrems



Tab.: Daten von Territremen

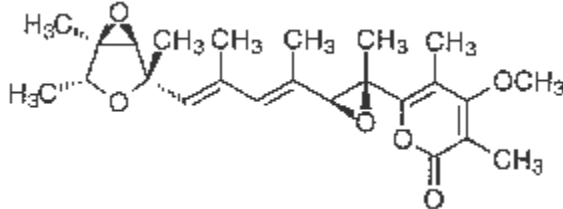
Terri- trem	Summen- formel	M_R	Schmp. [°C]	CAS
A	$C_{28}H_{30}O_9$	510,54	288–290	70407-19-1
B	$C_{29}H_{31}O_9$	526,58	200–203	70407-20-4
C	$C_{28}H_{32}O_9$	512,56	172–173	89020-33-7

Lit.: *Appl. Environ. Microbiol.* 37. 355, 358 (1979); 47. 98 (1984) 54. 585 (1988); - *J. Nat. Prod.* 55. 251 (1992); - *Zechmeister* 48. 45-48 [124]

Verrucosidin

C₂₄H₃₂O₆ MR 416.51. Schmp. 90—91 °C . [α]_D +92,4 (CH₃OH) tremorgenes Mycotoxin, das von *Penicillium verrucosum* var. *cyclopium* und anderen *Penicillium*-Arten gebildet wird. V. ist strukturell verwandt mit den Citreoviridinen und Asteltoxin. E verrucosidin

Lit.: *J. Am. Chern. Soc.* 112. 8985 (1990); - *J. Org. Chem.* 59 3762 (1964); - Zechmeister 48. 49 f. [CAS 88389-71-3] [125]

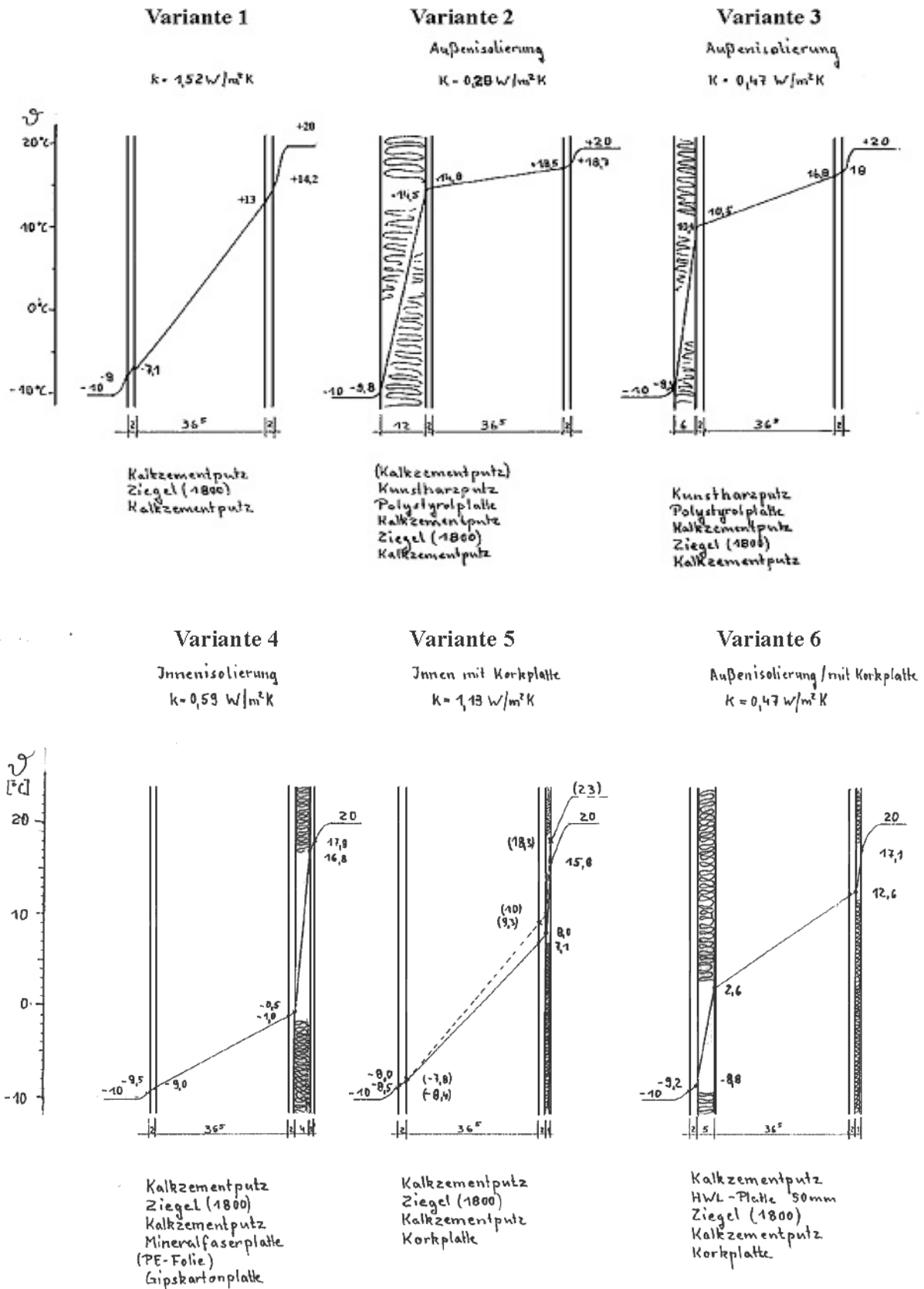


Verrucolotoxin.

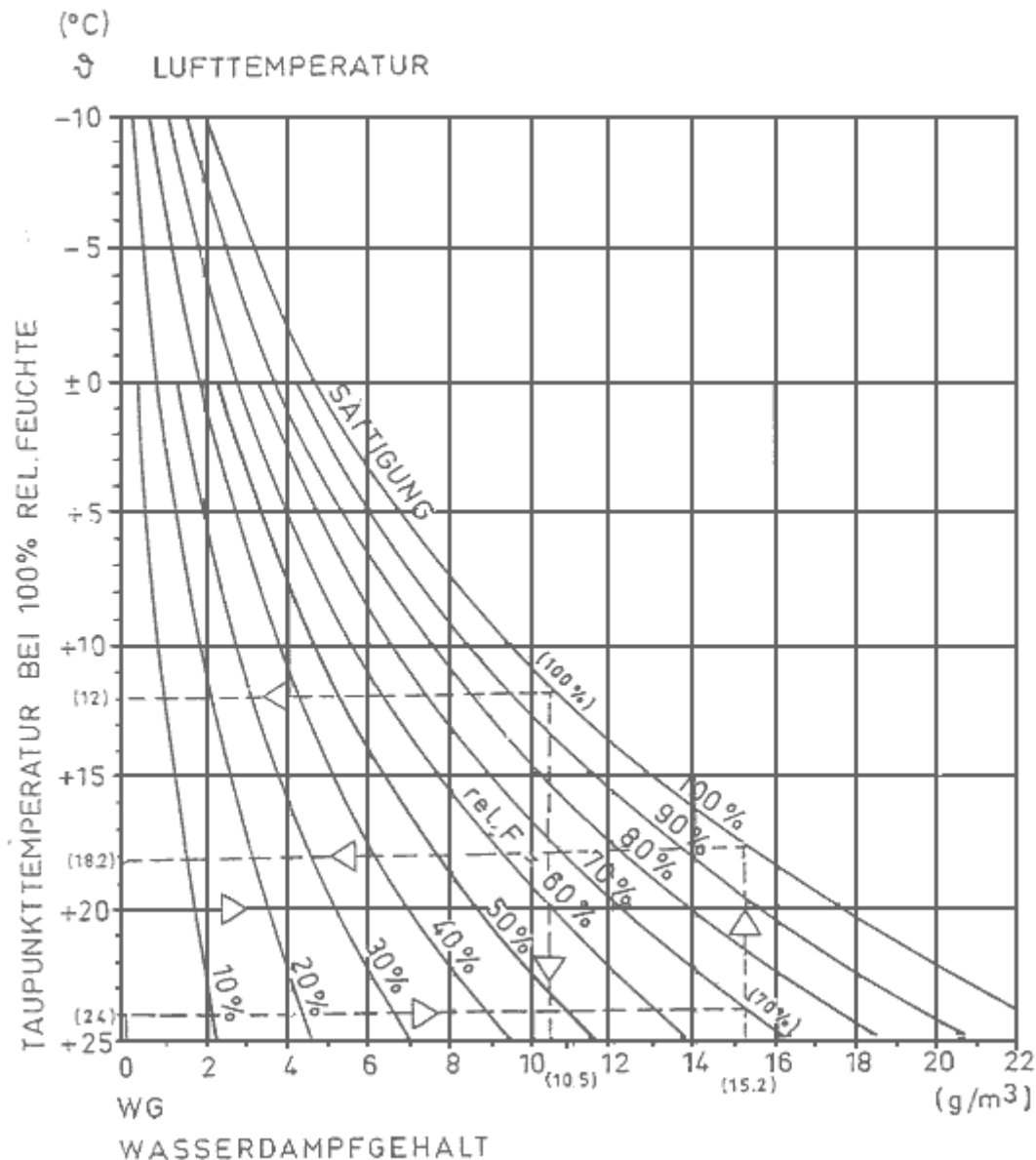
C₁₅H₂₀N₂O. MR 244.34. Schm 152C, [α]_D -56 °(CH₃ON); tremorgenes Mycotoxin aus grünen Erdnüssen, die mit *Penicillium verrucosum* infiziert sind. Die LD₅₀ Werte für Küken liegen bei 20mg/kg, die Tiere sterben innerhalb von 4-6 Std. nach Verabreichung. [125]

Anlage 3: Innen- und Außendämmung bei einer Außenwand

Eine 36,5er Ziegelwand wird mit unterschiedlichen Dämmstoffen als Außen- oder Innendämmung versehen. Hier wird der theoretische Temperaturverlauf im Wandquerschnitt und an der Innenseite dargestellt. Bei der Variante 1 und 5 besteht eine Gefährdung an der Innenwandoberfläche durch Schimmelpilzbildung. [127]



Anlage 4: Luftfeuchte und Taupunkttemperatur [61]



Hier wird ein Beispiel benannt. Bei einer Wandoberflächentemperatur von 12°C (linke Seite) beträgt die absolute Luftfeuchte 100% und es kommt zur Tauwasserbildung. Geht man von diesem Punkt nach unten, so kann man auf den Kurven die relative Luftfeuchte im Raum ablesen. So liegt z. B. bei 20°C (siehe linke Seite) die relative Luftfeuchte bei 60 %. Um keine Tauwasserbildung an der kalten Wandoberfläche zu erhalten, muss die absolute Luftfeuchte (siehe unten) von 10,3 g/m³ auf 8,5 g/m³ verringert werden. Das entspricht dann bei 20°C einer relativen Luftfeuchte von 50 %. An der Wand beträgt dann die relative Luftfeuchte ca. 80 %. Um die Wandoberfläche schimmelfrei zu halten, müsste die absolute Luftfeuchte weiter abgesenkt werden, oder man erhöht die Oberflächentemperatur.

Anlage 6: Klinisch relevante Schimmelpilze und die verursachten Erkrankungen
Schimmelpilze, die Infektionen über den Luftweg hervorrufen:

Species	Erkrankung	Risikogruppe nach TRBA 460
<i>Absidia species</i>	Mucorinfektion in Lunge, Nasennebenhöhlen, ZNS, Auge, Haut	1
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Invasive pulmonale Aspergillose; Invasive Aspergillose der Nasen-Nebenhöhlen; Invasive Aspergillose (Infektion von Gefäßen, Leber, Herz, Auge, n. opticus, ZNS, Rückenmark, Haut); Aspergillom (Lunge und Nasennebenhöhlen); Sinusitis; Allergische bronchopulmonale Aspergillose; Otitis externa	2
<i>Aspergillus nidulans</i>	Invasive Aspergillose	1
<i>Aspergillus niger</i>	Invasive Aspergillose sehr selten; Otitis externa; Aspergillose (Lunge und Nasennebenhöhlen)	1
<i>Aspergillus flavus</i>	Invasive Aspergillose sehr selten; Nasennebenhöhlenaspergillom; Allergische bronchopulmonale Aspergillose	2
<i>Aspergillus terreus</i>	Invasive Aspergillose sehr selten; Otitis externa	1
<i>Cladophialophora bantiana</i>	Hirnabszesse	3
<i>Conidiobolus species</i>	chronische Nasenschleimhautentzündung	2
<i>Cunninghamella species</i>	Disseminierte und pulmonale Allgemeininfektionen	1
<i>Exophiala dermatitidis</i>	Sinusitis, Pneumonie, Hirnabszesse	2
<i>Fusarium species</i>	Fusariose	1-2

<i>Mucor species</i>	Infektionen von Nasennebenhöhlen, Lunge, ZNS, Auge, Haut	1
<i>Paecilomyces variotii</i>	Paecilomykose	1
<i>Penicillium species</i>	Besiedlung des Bronchialtraktes (Penicillose)	1-2
<i>Phoma species</i>	Phaeohyphomycose	1
<i>Pseudoallescheria Boydii</i>	Sinusitis, Pneumonie, Arthritis, Osteomyelitis, Endophthalmitis, Hirnabszesse	2
<i>Rhizomucor species</i>	Infektionen von Nasennebenhöhlen, Lunge, ZNS, Auge, Haut	1
<i>Rhizopus species</i>	Infektionen von Nasennebenhöhlen, Lunge, ZNS, Auge, Haut	1
<i>Ramichloridium mackenzie</i>	Hirnabszesse	1
<i>Phialophora richardsiae</i>	Zystische Phaeohyphomycose	1
<i>Syncephalastrum species</i>	Pilzball im Respirationstrakt	1
<i>Stachybotrys atra</i> (chartarum)	Immunsuppressiv, haemorrhagisch, Pneumonitis	

Hinsichtlich des Auftretens von Infektionen sollten alle Schimmelpilze, die in die Risikogruppe 2 und 3 nach TRBA 460 eingestuft sind, als problematisch angesehen werden. Von großer Bedeutung als wichtigster Mykoseerreger gilt *Aspergillus fumigatus*. Weiterhin gelten Mykotoxinbildner als problematisch, wenn die Toxine kanzerogen sind. Es werden nicht immer Mykotoxine gebildet, meist sind hohe Keimzahlen erforderlich. Nur bei *Stachybotrys chartarum* können bereits bei geringer Sporenbelastung in der Raumluft Toxinwirkungen auftreten. [128]

Anlage 7: Bestimmung der relativen Luftfeuchte an der Wandoberfläche

Die relative Luftfeuchte wird mit einem Hygrometer bestimmt. Eine Bestimmung gerade nach den Lüften führt zu einer falschen Ausgangsgröße. Es sollte daher ein Mittelwert gebildet werden. Die Bestimmung der relativen Luftfeuchte direkt an der Wandoberfläche ist kompliziert, da direkt an der Wandoberfläche ein Temperatursprung erfolgt. Das heißt, die Temperatur der Raumluft an der Wandoberfläche ist in der Regel etwas höher als die Wandoberfläche selbst. Aus diesem Grund erfolgt die Bestimmung der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Raum. Daneben wird die Oberflächentemperatur bestimmt, mit der man auf der Grundlage des Schemas in der Anlage 4 die annähernde Feuchte an der Bauteiloberfläche ermitteln kann. Mit einem Infrarotthermometer kann die Bauteiloberfläche genau bestimmt werden. Dieses ist jedoch kaum in einem Haushalt vorhanden. Es reicht hierfür auch ein normales Thermometer. Dieses wird in die kühlsste Ecke des Zimmers, kühlsste Wandoberfläche (meist direkt über dem Fußboden) oder in die Fensternische (über dem Fensterbrett) angelehnt und z. B. mit einem Kissen oder einem anderen isolierenden Stoff abgedeckt. Je nach Temperaturdifferenz und Thermometer ist nach ca. 1 Std. die entsprechende Temperatur erreicht. (Dies sollte ausprobiert werden.) Zu empfehlen ist, dass von der ermittelten Oberflächentemperatur 1 K abgezogen wird.

Beispiel: Zimmertemperatur 20°C, relative Luftfeuchte 50% und Oberflächentemperatur 14°C.

In der Anlage 4 wird der Messpunkt mit der Zimmertemperatur und der relativen Luftfeuchte ausgewählt. Senkrecht nach oben wird die Oberflächentemperatur eingetragen und man kann an der Kurve die zugehörige relative Luftfeuchte von ca. 70% ablesen. (Unter normalen Umständen besteht hier noch keine Schimmelpilzgefährdung. Es ist aber eine ständige Sichtkontrolle ratsam.)

Liegt die Luftfeuchte im Raum bei ca. 55%, so ist diese an der Wandoberfläche bereits bei 78%. Betrachtet man nun das verallgemeinerte Isoplethensysteme für die Sporenauskeimung im (Bild 2.2), so besteht langfristig die Gefahr einer Schimmelpilzbildung.

Anlage 8: Chemikalien für die Schimmelbekämpfung [129]

Bezeichnung	Eigenschaft	Weitere Wirkung und Verwendung	Besondere Hinweise
Äthanol (Äthylalkohol, Alkohol, Spiritus, Sprit) auch mit Zusätzen vergällt als Lösungsmittel: Benzinvergälltes Äthanol (70, 90Vol.-%) und Brennspritus C ₂ H ₅ -OH	Farblose Flüssigkeit, mit Wasser leicht mischbar, auch mit Propantriol, Ammoniaklösung, Äthansäureäthylester und Propanon	Lösend, z. B. Auf Kaffee-, Bier-, Gras-, Obst- und Tintenflecke	Feuergefährlich, Dämpfe explosiv, wenig oder nicht gesundheitsschädigendes Lösungsmittel. Bezinvergälltes Äthanol ist in der Apotheke, Brennspritus in der Drogerie oder in anderen Fachgeschäften erhältlich.
Äthansäure (Essigsäure, Essigessen _z), verdünnt als Essig bezeichnet CH ₃ -COOH	Farblose, stechend riechende Flüssigkeit, mit Wasser leicht mischbar, sauer	Lösend auf Firnis-, Harz-, Farben-, Kopierstift- Obst- und Blutflecke; Bei Schädlingsbekämpfung zu beachten: Besonders Kalk hat eine neutralisierende Wirkung und außerdem gelangen mit dem Essig organische Nährstoffe auf das Material, daher ist die Anwendung von Essiglösung meist nicht sinnvoll.	Über 80%iger Äthansäure Gift (Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung) Flüssigkeit und Dämpfe ätzen Schleimhäute und Haut, wird verdünnt verwendet. Essigessen _z in Lebensmittelladen.
Ammoniaklösung, verdünnte (Salmiakgeist)	Farblose, stechend nach Ammoniak	Alkalisch lösend zur Entfernung vieler Flecken,	Über 10%ige Ammoniaklösung Gift (Chemikaliengesetz,

Bezeichnung	Eigenschaft	Weitere Wirkung und Verwendung	Besondere Hinweise
	riechende Flüssigkeit. Verdünnte Ammoniaklösung ist 10%ig, konzentrierte Ammoniaklösung ist mit Äthanol und Propanon mischbar, alkalisch	wie u. a. Tinten-, Kopierstift-, Gras- und Blutflecke. Benutzung verdünnt, 10-, und selten 25%ig. Vorsicht bei sauren Wollfärbungen.	Gefahrstoffverordnung). Flüssigkeit und Dämpfe ätzen Schleimhäute und Haut, innerlich sehr giftig.
Ammoniumchlorid (Salmiaksalz) NH_4Cl	Weisse Kristalle, leicht löslich in Wasser, schwach sauer	u. a. gegen Stockflecke	
Formaldehydlösung (Formalen) H-CHO	Farblose, süßlich riechende Lösung, mit Wasser mischbar	Gegen Schimmelpilzbildung auf Ledererzeugnisse	Gift (Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung), Dämpfe und Flüssigkeit ätzen Schleimhäute und Haut, innerlich sehr giftig
Natriumhypochloritlösung (Natriumbleichlauge, Chlorbleichlauge, Bleichlauge, -flüssigkeit, -wasser) NaClO	Klare gelbgrüne, ätzende Flüssigkeit. Es ist die wässrige Lösung von Natriumhypochloritlösung, alkalisch	Bleichend auf z. B. Obst-, Farbstoff- und Stockflecken. Nur für weiße Wäsche verwenden, sonst wird die Färbung angegriffen. Nachbehandlung mit Natriumthiosulfat. Für die Fleckenentfernung	Wirkt innerlich sehr giftig, auf die Haut ätzend, kühl und vor Sonnenbestrahlung geschützt aufbewahren.
Salizylsäure²⁶ $\text{C}_6\text{H}_4\text{-OH-COOH}$	Feine, weiße Kristalle, sauer	Wirkt keimtötend und wird gegen	

Bezeichnung	Eigenschaft	Weitere Wirkung und Verwendung	Besondere Hinweise
<u>26</u> Salicylanilid = Salicylsäureanilid und ähnliche verwandte Chemikalien aus der Gruppe der Salicylsäure werden ebenso oft als Analgetika (schmerzstillende Mittel) eingesetzt. Diese Substanzen können aber auch Vergiftungserscheinungen hervorrufen, die sich in starkem Schwitzen, erhöhter Reizbarkeit und Atemlähmung zeigen. [112]		Schimmelpilzbildung verwendet	
Wasserstoffperoxydlösung H_2O_2	Farblose Flüssigkeit, die sehr leicht Sauerstoff abgibt, wenn Licht, Alkalien oder Wärme einwirkt, sauer	1..3% als Bleichmittel für Wolle, Seide, u.a. Gegen Sengstellen, Tee-, Kaffee-, Blut-, Schweiß- und Teerfarbstoffflecken in Verbindung mit etwas verdünnter Ammoniaklösung	30%ige konzentrierte Lösung ätzt die Haut. Sie gibt außerdem den Sauerstoff spontan ab, Vorsicht vor Spritzern. Aufbewahrung kühl, vor Licht geschützt, sollte selten oder nicht verwendet werden.

Anlage 9: Ausgewählte bauphysikalische Begriffe

Diffusion

Gasaustausch durch Bauteile findet in der Regel nur durch Diffusion statt. "Diffusion" nennt man die allmähliche Durchmischung verschiedener Gase (aber auch Flüssigkeiten und sogar Festkörper) ohne äußere Einwirkung, allein durch Molekularbewegung, bis die Verteilung der verschiedenen Moleküle überall gleich ist. Der Widerstand, den ein Material der Diffusion von Wasserdampf oder anderen Gasen entgegensetzt, hängt hauptsächlich von seiner Porigkeit ab; je mehr offene Poren, desto geringer der Widerstand. Der Porendurchmesser spielt für Wasserdampfmoleküle so gut wie keine Rolle, sie sind kleiner und leichter als fast alle anderen Luftmoleküle; Sauerstoffmoleküle haben z. B. 60% mehr Masse und Kohlendioxidmoleküle fast dreimal soviel. Ihre Diffusionsgeschwindigkeit ist schon in der Luft viel geringer als die von Wasserdampf, und so gibt es Bauteilschichten, die zwar die Diffusion von Kohlendioxid fast völlig absperren, der Wasserdampfdiffusion aber keinen allzu großen Widerstand entgegensetzen. Die im Vergleich mit Wasserdampf, Sauerstoff oder Kohlendioxid meist riesigen Moleküle von "Wohngiften" können durch Diffusion erst recht nicht aus der Raumluft entfernt werden, wie das in manchen baubiologischen Schriften immer wieder mal zu lesen ist. Für sie bildet auch die diffusionsfähigste Wand ein praktisch unüberwindliches Hindernis.

Diffusionswiderstandswerte sind die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen und die daraus errechneten „diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken" (sd-Wert). In Analogie zu diesen Werten, die nur die Diffusion von Wasserdampf durch ein Material bzw. ein Bauteil betreffen, geben manche Baustoffkataloge vor allem bei Anstrichen und anderen Beschichtungen auch Widerstandswerte zur Kohlendioxiddiffusion an.

Dampfdiffusionswiderstandszahl μ :

Die Fähigkeit von Baustoffen, für Wasserdampf durchlässig zu sein, wird durch die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl beschrieben. Je niedriger der Wert, desto weniger wird der Wasserdampf auf dem Weg von der warmen zur kalten Seite gebremst. Für offenporige Konstruktionen ist ein niedriger μ -Wert vorteilhaft, da die Entfeuchtung ungehindert und schnell ablaufen kann. Werte unter

$\mu = 10$ zeigen eine sehr gute Diffusionsfähigkeit für Wasserdampf an;

$\mu = 10 - 50$ sind mittlere Diffusionswerte;

bei μ -Werten von 50 - 500 wird die Dampfdiffusion eingeschränkt;

bei μ 500 - 15.000 wird sie stark eingeschränkt;

ab μ 15.000 wirkt ein Material wasserdampfsperrend;

ab μ 100.000 ist ein Material dampfdicht.

Eine Aussage über die Wirkung eines Materials in einer gegebenen Konstruktion ist nur bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Dicke des Stoffes möglich $\mu \times s = \text{Diffusionswiderstand in „}\mu\text{"}$.

Dieser μ -Faktor sagt jedoch nur aus, wie gut Wasserdampf in einem Material im Verhältnis zu Luft diffundiert, aber nichts über die Diffusionsfähigkeit von Wasser. So lässt ein Zementputz ($\mu = 20$) den Wasserdampf relativ gut durch, so sperrt er doch Wasser beachtlich gut (relativ große Wassermoleküle). Dies gilt für Materialien, die kein Wasser durchlassen aber trotzdem (Wasserdampf-) diffusionsoffen sind, z. B. Kunststoff-Zement-Putze, Dispersionsanstriche. Lehm oder nicht zu hoch gebrannte Ziegel lassen jedoch Wasserdampf und auch flüssiges Wasser diffundieren. [130]

Kapillarität

Kapillarität bestimmt einerseits, wie schnell ein Bauteil wie viel Wasser aufnimmt, wenn es direkt mit Feuchtigkeit in Berührung kommt (Regen, Spritzwasser in Küche und Bad, Bodenfeuchte, Kondenswasser); andererseits bestimmt sie die Austrocknungsgeschwindigkeit neuer oder renovierter Bauteile oder von Wänden. Ein brauchbares Maß für die Kapillarität von Baustoffen ist der Wasseraufnahmekoeffizient (w).

Beim Kapillartransport wird eine große Menge von Wasser transportiert. Dagegen ist es bei der Wasserdampfdiffusion viel weniger.

Materialien mit stark ausgeprägter Kapillarität transportieren pro Quadratmeter benetzter Fläche in der ersten Stunde leicht 20 Liter und mehr (je feuchter das Material wird, desto weniger Wasser nimmt es zusätzlich auf).

In Materialien mit stark ausgeprägter Kapillarität wird flüssiges Wasser beliebig weit transportiert, und zwar in einem Material jeweils von den feuchteren zu den trockeneren Regionen. In Bauteilen aus Schichten mit unterschiedlicher Kapillarstruktur wandert das Wasser immer in Richtung der Schicht mit den feineren Kapillaren (bzw. mit dem höheren Wasseraufnahmekoeffizienten); Schichten mit gröberen oder unvollkommeneren Kapillaren (bzw. kleineren Werten für w) werden geradezu „trockengesaugt“.

Kapillartransport von Wasser gegen den Wasserdampfdiffusionsstrom kommt oft vor, im Winter ist das sogar die Regel. Wenn in einem Baustoff mit ausgeprägter Kapillarität Wasserdampf auskondensiert, beginnt im selben Moment der Transport des Kondenswassers in Richtung der geringeren Materialfeuchte, also zur wärmeren Seite der Wand, wo das Kondenswasser wieder verdunsten kann. In solchen Schichten gibt es oft auch dann keine Kondenswasserdurchfeuchtung, wenn sie rechnerisch zu erwarten wäre. Die Kapillarkräfte wirken beim senkrechten Transport auch gegen die Schwerkraft - theoretisch zwar nicht unbegrenzt, in der Praxis kann man die Schwerkraft aber vernachlässigen. Auf diese Weise bleiben in Altbauten auch Kellermauern ausreichend trocken, die nicht gegen Erdfeuchtigkeit abgesperrt wurden.

Man darf auf keinen Fall den Kapillartransport behindern. Im Keller durch eine dicht schließende innenliegenden Feuchtigkeitssperre oder im oberirdischen Mauerbereich, wenn man die Fassade im Sockelbereich zum Schutz gegen den Regen wasserhemmend, wasserabweisend (Hydrophobierung) oder sogar wasserdicht beschichtet. Vor der Beschichtung müssen dann zunächst Fundament und Kellermauern gegen eindringende Erdfeuchtigkeit abgesperrt werden.

Beim Austrocknen von baufrischen Wänden, Böden oder Decken wird die überschüssige Feuchtigkeit zunächst nur durch Kapillartransport an die Bauteiloberflächen befördert, wo sie verdunstet. Wenn nicht mehr alle Materialporen mit Wasser gefüllt sind, beginnen die Wasserfäden in den Kapillaren zu reißen, die Trocknung verlangsamt sich, und allmählich setzt die Dampfdiffusion ein, bis das Bauteil seine praktische Feuchte erreicht hat. Das ist der Feuchtegehalt, der in jedem Bauwerk immer als Rest erhalten bleibt. Je nach Bauteildicke, Anfangsfeuchte, Besonnung, Durchlüftung und anderen äußeren Einflüssen dauert das mehrere Monate bis mehrere Jahre.

Am längsten dauert es bei Materialien mit schwach ausgebildeter Kapillarität und einem hohen Sättigungswassergehalt. Am schnellsten geht es bei Baustoffen mit hoher Kapillarität,

wie etwa bei Vollziegeln. Sie haben bei mittleren Rohdichten Wasseraufnahmekoeffizienten um $20\text{--}30 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$ gegenüber Kalksandsteinen mit 10 und Gasbeton 4 bis 8 und Kunstharzputz mit 1. Weitere Werte unter Baustoffkatalog (www.ib-rauch.de/okbau/stoffwert/suchen01.php). Die Kehrseite dieser wünschenswerten Eigenschaft ist, dass solche Ziegel auch chemisch aggressive Niederschläge schneller und weiter ins Bauteil transportieren als Materialien mit geringerer Kapillarität. Sehr viel besser als Vollziegel verhalten sich Lochziegel. Bei ihnen ist die beim Kapillartransport wirksame Fläche durch die Lochung verkleinert. Hochlochklinker oder Hochlochvormauerziegel sind deshalb für Sichtfassaden besonders gut geeignet. Der beste Schutz von Bauteilen aus Materialien mit hoher Wasseraufnahmefähigkeit sind hinterlüftete Verkleidungen (Holz, Schiefer) oder Fassadenbepflanzungen. [131]

sd-Wert (diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke)

Die Fähigkeit von Baustoffen, für Wasserdampf durchlässig zu sein, wird durch die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl beschrieben. Wie diffusionsfähig eine Wand ist, hängt von den Materialien und der Dicke ihrer Schichten ab. Als Diffusionswiderstand einer Schicht gibt man die Luftschichtdicke in Metern an, die der Diffusion (Austausch von Wasserdampf- und Luftmolekülen) denselben Widerstand entgegensetzen würde wie die betreffende Schicht. Je niedriger der Wert, desto weniger wird der Wasserdampf auf dem Weg von der warmen zur kalten Seite gebremst. Für offenporige Konstruktionen ist ein niedriger μ -Wert vorteilhaft, da die Entfeuchtung ungehindert und schnell ablaufen kann. Eine Aussage über die Wirkung eines Materials in einer gegebenen Konstruktion ist nur bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Dicke des Stoffes möglich.

Den Wert dieser diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken (abgekürzt sd) bekommt man, wenn man den Wert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl (μ) mit der Schichtdicke in Metern mal nimmt. Eine 36,5 cm dicke Mauerschicht aus Ziegelsteinen ($\mu = 8$) hätte demnach eine äquivalente Luftschichtdicke von $sd = 8 \times 0,365 \text{ m} = 2,92 \text{ m}$.

Bei der Gipskartonverkleidung [132] ergibt sich ein sd-Wert $= 8 \times 0,0125 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$

Anstrichmaterialien haben in der Regel ziemlich hohe Werte. Da aber die Schichtdicken mit wenigen Zehntel Millimetern nur sehr gering sind, beeinträchtigen sie die Diffusionsfähigkeit der Wand im Allgemeinen kaum. Jedoch wird aber die Sorption (Wasserdampfaufnahme) beeinflusst und das ist gerade für Innenräume zum Abbau der Feuchtespitzen der Raumluft wichtig.

So ist entspricht der sd-Wert einer 0,5 mm dicken Leimfarbschicht [132] mit $\mu = 180 \dots 215$, $sd = 200 \times 0,0005 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$.

Wird ein Kunstharzdispersionanstrich [132] mit $\mu = 1800$ verwendet, so liegt der sd-Wert bei 0,9 m. Bei einem Ölsockelanstrich mit $\mu = 10.000$ sind dies 5 m. Damit wird deutlich, warum früher gerade an dieser Wandbeschichtung in der Küche nach dem Kochen sich ein Feuchtigkeitsfilm (Kondenswasser) bilden konnte und der sich darunter befindliche Putz bei Altbauten meist schadhafter ist. Wobei aber noch andere spezielle Stoffeigenschaften als nur die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl berücksichtigt werden sollte.

Werte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl unter

- $\mu = 10$ zeigen eine sehr gute Diffusionsfähigkeit für Wasserdampf an;

- 10 - 50 sind mittlere Diffusionswerte;
- bei Werten von 50 - 500 wird die Dampfdiffusion eingeschränkt;
- bei 500 - 15.000 wird sie stark eingeschränkt;
- ab 15.000 wirkt ein Material wasserdampfsperrend;
- ab 100.000 ist ein Material dampfdicht.

Die Richtung der Diffusion wird von dem absoluten Feuchtegehalt der Luft bestimmt und ist so bei kalter Außenluft nach außen gerichtet. Sie ist nicht abhängig von der Richtung des Wärmestroms, sie kann dieser entgegengesetzt gerichtet sein. Wasserdampf kann trotz starker Abkühlung auf der anderen Seite der Wand heraus diffundieren, ohne seinen Aggregatzustand zu wechseln, also keine Tauwasserbildung an der Oberfläche. Dies ändert sich jedoch, wenn sich auf der kalten Seite eine dichte Schicht befindet und sich so ein Staubereich bildet, wo ein Dampfsättigungsdruck aufgebaut wird. Dann kann eine Kondensation ausgelöst werden. [133]

Bei zu geringem sd-Wert bei einer Außenwand kann der Taupunkt bei feucht-kaltem Wetter für die nach außen diffundierende Raumluftfeuchte schon unter verhältnismäßig normalen Bedingungen in der Wand liegen. An der Stelle beginnt dann die Durchfeuchtung der Wand umso stärker, je kleiner ihre Diffusionsfähigkeit ist. Für Außenwände gelten deshalb Werte zwischen $s_d = 4$ und 7 als besonders günstig.

Zur Vermeidung einer Wasserdampfkondensation bei mehrschichtigen Bauteilen soll von innen nach außen der Wärmedurchlasswiderstand zunehmen (Wärmedämmschicht außen) und die Dampfdurchlasswiderstände abnehmen. Diese Bedingungen werden z. B. beim Wandaufbau, Innenputz, Kalksand, Vollsteine, Mineralwolle, Luftschicht, Fassadenplatte (Wand mit hinterlüfteter Fassade), erfüllt. Bleibt die Wand feucht, das ist gerade beim **Neubau zu beachten**, so kann das Wasser hinter einer wasserdichten oder -abweisenden Außenschicht, wie es z. B. bei der Thermohaut der Fall sein kann, schlecht durch Diffusion entweichen und das Mauerwerk wird über lange Zeit geschädigt. [134] Dieses Problem tritt auch im ausgebauten Dachgeschoss auf, hier sammelt sich das Kondenswasser zwischen der Verkleidung (Gipskarton o. ä.) und der Dampfbremse. Es tropft dann in den Raum. Es wird dann angenommen, dass das Dach undicht ist. (Was unter Umständen auch sein könnte, daher ist dies auch zu kontrollieren.)

Da Gipskartonbauplatten nicht sehr stark sind, ist auch der sd-Wert gering (siehe oben). Je nach Farbbeschichtung (Art und Stärke) liegt der sd-Wert zwischen 1 eventuell maximal 10 m. Die Dampfbremse selbst hat je nach Art einen sd-Wert von 100...200 m und damit ist die Dampfdiffusion eingeschränkt aber nicht unterbunden. Gerade wenn noch eine hohe Baufeuchte nach dem Neubau vorliegt, wird so die Dämmung durch Diffusion stärker befeuchtet als vorgesehen. Im folgenden Bild wird eine Dachschräge mit dem Anschluss an eine Giebelwand gezeigt. Die Dampfbremse wurde nicht fugendicht angeschlossen, das Gleiche gilt auch für Stöße. Trotz dass die Gipskartonplatte fugendicht, mit Acryl oder Fugenband, an die Wand angeschlossen wurde, gelangt Feuchtigkeit (Diffusion) in den Hohlraum, zwischen Platte und Dampfbremse. Durch Fugen in der Dampfbremse wird ein Unterdruck aufgebaut, infolge des bestehenden Dampfdruckgefälles. Die warme Innenraumluft ist bestrebt, nach außen zu gelangen. Bei Windlast wird der Windsog noch verstärkt. Dies wirkt sich auch auf die Diffusion aus. Durch Untersuchungen von Wagner zu Wasserdampftransport infolge von Diffusion und Konvektion wurde ermittelt, dass bei einem $s_d = 10$ m und mittlerer Diffusion aller 10 Stunden auf einer Fläche von 60 m^2 etwa der Inhalt eines Schnapsglases durch das Bauteil diffundiert. [135]

Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]:

Nach Fourier ist der im Stoff geleitete Wärmestrom Q dem Temperaturgefälle dt/dx und der Wandfläche A senkrecht zum Wärmestrom proportional. Die Gleichung lautet:

$$Q = \lambda \times A \times dt/dx$$

Der Proportionalitätsfaktor λ heißt Wärmeleitfähigkeit. Er ist eine Stoffeigenschaft und in geringem Maße von Temperatur und Druck abhängig. Er muss experimentell ermittelt werden. [134] Gute Wärmeleiter (Metalle) haben eine hohe Wärmeleitfähigkeit, schlechte Wärmeleiter niedrige. Sind diese λ Werte kleiner 0,1 W/mK, so zählen diese Materialien zu den Wärmedämmstoffen. [147]

Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes ist auf die thermische Molekularbewegung zurückzuführen. Sie wird vor allem durch zwischenmolekulare Kräfte vermittelt. Kristallisierte Stoffe besitzen ein großes Wärmeleitvermögen, z. B. Metalle und ihre Legierungen ($\lambda = 40$ bis 380 W/mK) (gute Wärmeleiter). Bei amorphen Stoffen ist das Wärmeleitvermögen im Vergleich geringer, z. B. Glas ($\lambda = 0,8$ bis $1,1$ W/mK). Es nimmt weiter ab, wenn im amorphen Stoff Makromoleküle vorliegen, z. B. bei dichten Plasten ($\lambda = 0,12$ bis $0,4$ W/mK). Bei porösen und porigen Stoffen beeinflussen die in den Poren eingeschlossenen Medien Luft, Wasserdampf oder Wasser die Wärmeleitfähigkeit entscheidend. Je kleiner der mittlere Porendurchmesser ist, umso größer ist seine Wärmedämmleistung. Zwei Körper aus dem gleichen Material können dieselbe Rohdichte und dasselbe Porenvolumen aufweisen und dennoch verschieden in der Wärmedämmleistung sein. [137]

Z. B. Sand feucht: $\lambda = 1,1$ W/mK, Sand trocken: $\lambda = 0,33$ W/mK oder Eiche radial: $\lambda = 0,17 \dots 0,31$ W/mK, Eiche axial: $\lambda = 0,37$ W/mK. [137]

Wasseraufnahmekoeffizient w [kg/m²h^{0,5}]:

Er gibt an, wie viel Wasser gemessen in Kilogramm durch einen Quadratmeter benetzter Fläche in einer bestimmten Zeit - z. B. in einer Sekunde oder einer Stunde - in das völlig trockene Material eindringt. Für viele Baustoffe mit kleinem Wasseraufnahmekoeffizient, also nur gering ausgebildeter Kapillarität, ist eine besonders hohe "Wasseraufnahme" charakteristisch.

Wärmeeindringkoeffizient b [kJ/m²h^{0,5}K]:

Die Eigenschaften des einzelnen Baustoffs sind gut erkennbar mithilfe des Wärmeeindringkoeffizienten

$$b \text{ (} b = \sqrt{\lambda \times \rho \times c \text{)}$$

Je größer der Wert ist, umso mehr speichert der Stoff Wärme, umso berührungskälter ist er, umso langsamer kühlt er aus. [139] Bei Werten unter $20 \text{ kJ/m}^2\text{s}^{0,5}\text{K}$ wird die Oberfläche des Stoffes sehr schnell warm, weil die Wärme nur langsam nach innen weitergeleitet wird (= sehr günstiges Verhalten für Fußböden und andere raumumschließende Flächen).

Bei Werten von $20 - 50$ erreicht der Stoff eine angenehme Oberflächentemperatur (fußwarm). Bei Wärmeeindringkoeffizienten größer 50 wirkt die Oberfläche kalt, da die Wärme schnell

ins Innere des Stoffes abfließt, über 150 ist der Wärmeabfluss sehr unangenehm (z. B. Metalle). [147]

In der Literatur werden unterschiedliche Dimensionen angegeben. Beispiele:

König, Holger	$b = \text{KJ/m}^2\text{h}^{0,5}\text{K}$ (für Gasbeton 800 kg/m^3 $b=30$)
Eichler/Arndt	$b = \text{W s}^{0,5}/\text{m}^2\text{K}$ (für Gasbeton 800 kg/m^3 $b=246$)
Bobran [138]	$b = \text{J/s}^{0,5}\text{m}^2\text{K}$

Umrechnung

$1 \text{ kJ} = 2,78 \times 10^{-4} \text{ KWh}$; $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$

Anlage 10: Betrachtungsbeispiele zur Oberflächenfeuchte an einer Außenwand

Fall 1: Wohnzimmer mit 20°C

Aus Anlage 3 Variante 1 mit Außenmauerwerk Ziegel (1800) 36,5 cm, beidseitig Kalkzementputz, Oberflächentemperatur 14,2°C und Außentemperatur -10°C, Raumtemperatur 20°C, rel. Luftfeuchte 60 %

Aus Anlage 3 Variante 3 Wärmedämmung (Polystyrol) 6 cm Ziegel (1800) 36,5 cm, beidseitig Kalkzementputz, Oberflächentemperatur 18 °C und Außentemperatur -10°C Raumtemperatur 20°C, neue Fenster, rel. Luftfeuchte 65% (Eigene Beobachtungen zeigten, dass sich bei gleichem Nutzungsverhalten und einer einfachen Abdichtung nur am unteren Schenkel an Holzkastenfenster die rel. Luftfeuchte um ca. 5-8 % ansteigt.)

Ergebnis:

Aus der Anlage 4 wird die relative Luftfeuchte an der Wandoberfläche für die jeweilige Konstruktion und aus der Grafik (Bild 2.2.) die Keimungszeit entnommen.

Für Variante 1 ergibt sich eine rel. Luftfeuchte von 85 % und eine Sporenauskeimung von ca. 6 Tage. Um eine Sporenauskeimung zu vermeiden, muss die ständige relative Luftfeuchte im Raum unter 53 % liegen. (Energetisch ist diese Ziegelwand nicht so günstig, besser ist ein Ziegel mit $< 800 \text{ kg/m}^3$.)

Für Variante 3 ergibt sich eine rel. Luftfeuchte von 75 % und in der Regel liegt noch keine Sporenauskeimung vor. Zweckmäßig ist auch hier die ständige relative Luftfeuchte unter 55 % zu halten.

Fall 2: Schlafzimmer mit 17°C

Wandkonstruktionen wie im Fall 1, die ständige relative Luftfeuchte beträgt 50%.

Bei Variante 1 ergibt sich eine Oberflächentemperatur von 12°C mit einer rel. Luftfeuchte von 68 % und

bei Variante 3 von 15,5 °C mit einer rel. Luftfeuchte an der Oberfläche von 55 %.

Ergebnis:

In beiden Fällen liegt keine Sporenauskeimung vor.

Jetzt sollen aber noch die Überlegungen aus der Tabelle 3 hinzugezogen werden.

Erfolgt in der Nacht bei geschlossenem Fenster keine zusätzliche Lüftung, so steigt die relative Luftfeuchte im Raum kontinuierlich an, bis ein Feuchtgleichgewicht der Mischluft (abhängig von der Feuchteproduktion, Luftaustauschrate, Feuchteanteil der zugeführten Außenluft, Raumvolumen u. a.) erfolgt.

Bei der Variante 1 steigt nach Tabelle 3 dritte Spalte (Luftaustauschrate = $0,5 \text{ h}^{-1}$) die absolute Luftfeuchte nicht höher als 9 g/m^3 an, das entspricht einer relativen Luftfeuchte von

ca. 61 % und an der Wandoberfläche beträgt die rel. Luftfeuchte ca. 85 %. Damit liegt eine Sporenauskeimungszeit nach der Grafik (Bild 2.2.) von ca. 8 Tagen vor.

Bei der Variante 3 nach Tabelle 3 erste Spalte (Luftaustauschrate = $0,3 \text{ h}^{-1}$) wird bereits nach 3 Std. eine absolute Luftfeuchte von $10,2 \text{ g/m}^3$ erreicht, das entspricht einer relativen Luftfeuchte von ca. 71 % und an der Wandoberfläche beträgt die rel. Luftfeuchte ca. 80 %.

Damit liegt eine Sporenauskeimungszeit nach der Grafik (Bild 2.2.) von ca. 16 Tagen vor. **Aber** bei der Variante 3 erhöht sich die Luftfeuchte wegen der geringen Austauschrate und erreicht nach 6 Std. eine absolute Luftfeuchte von $11,2 \text{ g/m}^3$, was einer relativen Luftfeuchte im Raum von ca. 78 % und an der Wandoberfläche von ca. 85 % entspricht. Bei der Oberflächentemperatur von $15,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt jetzt eine Sporenauskeimungszeit nach der Grafik (Bild 2.2.) von ca. 4 Tagen vor!

Weiterhin ist zu beachten, dass bei einer wärmegeprägten Fassade die Sporenkonzentration höher ist (vergleiche Punkt 7.4.5.) und so die Wahrscheinlichkeit eines Wachstums größer ist.

Kommentar zum Fall 2:

Die Betrachtungen sind rein theoretisch aber lassen erkennen, dass eine Sanierung der Gebäudehülle durch eine nachträgliche Wärmedämmung mit Isolierverglasung wohnhygienisch keine Vorteile bringt. Je nach Situation können bei beiden Varianten Grenzbereiche erreicht werden, wo es zu einer Schimmelpilzbildung kommen kann. Ist das (Raum-) Luftvolumen im Beispiel aus der Tabelle 3 nicht 50 m^3 , sondern nur 40 m^3 , z. B. bei gleicher Grundfläche statt einer Raumhöhe von 2,6 m nur 2,3 m, wie bei einem Dachgeschoss oder durch Aufstellen von großen Mengen an Schränken und gelagerten Gegenständen, so nimmt ein m^3 Raumluft nicht 1 g Wasserdampf, sondern 1,25 g pro Stunde auf. So würde bei der Variante 3 auch bei einer Lüftungsrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ die Situation des Anstiegs der relativen Luftfeuchte an der Wandoberfläche annähernd gleich bleiben. Es ist immer die Gesamtsituation zu betrachten und zu bewerten. Bei einem „schimmelfreien“ Gebäude besteht aus wohnhygienischen Gründen nicht unbedingt die Forderung einer nachträglichen Wärmedämmung, es sei es handelt sich hierbei um energetisch sehr ungünstige Konstruktionen. Bisher gibt es keine Gleichung, die besagt, eine Verbesserung des U-Wertes auf $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist gleichwertig mit einer Einheit Mykose, Mykotoxikose oder Allergose.

Quellenverzeichnis

- [1] Dörfelt, Heinrich, BI-Lexikon Mykologie Pilzkunde, VEB Bibliographisches Institut Leipzig, 1988, S. 344
- [2] Davis, P.,J: Molds, Toxic Molds, and Indoor Air Quality, California Research Bureau, California State Library CRB Note., 8, (1), 1-17 (2001)
- [3] Boedijn, K. B.; Knauers Pflanzenreich in Farben, Niedere Pflanzen, Bd. 3 Droemersch Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf. München/Zürich 1967, S. 9
- [4] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, 14.12.2001; Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Dr. Gabrio, Wiederholdstr. 15, 70174 Stuttgart, gabrio@lga.bwl.de, S. 16
- [5] biomass Ingenieurbüro gmbh, Herzbroicher Weg 49, 41352 K.; (www.biomess.de/Inhalt/Detailinfos/Schimmelpilze/Pilzarten/hauptteil_pilzarten.htm)
- [6] Glathe, H.; Farkasdi, G.: Morphologie der Rotteorganismen. In Hösel, G.; Schenkel, W.; Schnurer, H.: Müll-Handbuch, Kennzahl 5020, Lieferung 7/65, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [7] Boedijn, K. B.; Knauers Pflanzenreich in Farben, a.a.O., S. 144
- [8] Boedijn, K. B.; Knauers Pflanzenreich in Farben, a.a.O., S.108-109
- [9] Schwantes, H.-O.; Biologie der Pilze 1995, Stuttgart Ulm 1996 (in DB N 8927), S. 230-235, 250
- [10] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S. 14
- [11] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S. 23
- [12] Zachäus, D.; Biologische Abfallbehandlung, Karl J. Thomé; Enzyklopädie S. 215; in DB 1995 Te 13707
- [13] Mück, M.; Lehmann, Ch.; Schimmelpilze, Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen, ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg 1999
- [14] Rauch, Peter: Schimmelpilzbildung infolge Wärmebrückenbildung - Allgemeine Darstellung und Aufzeigen konstruktiver Mängel beim Dachgeschoßausbau, Vortrag 4.5.1994 BZL
- [15] Smith, S.L.; Hill, S. T.: Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *Aspergillus versicolor*. Transactions of British Mycological Society Vol. 79 (1982), H. 3, S. 558 - 560
- [16] Sedlbauer, K.; Gabrio, T.; Krus, M.; Schimmelpilze – Gesundheitsgefährdung und Vorhersage, Gesundheitsingenieur 123, 2002, S. 285-336
- [17] Sedlbauer, K.; Krus, M.; Holzkirchen, Schimmelpilze an Wohngebäuden - Altes Thema, neue Lösungen -, Vortrag auf 3. Dahlberg-Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 38 – 47
- [18] Raschle, Paul; St. Gallen, Schweiz, Algen und Schimmelpilze auf Fassaden, Vortrag auf der 11. Quedlinburger Holzbautagung 1.4.2005, 4/9
- [19] Benedix, Heinz; Casper, S. Jost; Schmiedeknecht, Martin; u.a.; URANIA, a.a.O., S. 90, 91
- [20] Reiß, Jürgen; Schimmelpilze 1997, Springer Verlag, S. 36-46, 189-203, 231-251
- [21] Feuchtigkeit und Schimmelpilzbildung in Wohnräumen; Verbraucher Zentrale, Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., Heilbachstr. 20, 5308 Bonn
- [22] Brasche, S.; Heinz, E.; u.a.; Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen, Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 8-2003 Springer-Verlag 2003, S. 688
- [23] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S.7
- [24] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S. 70
- [25] Schimmelpilze CAN University of Toronto, 1997, WHERE MOULDS ARE FOUND, www.botany.utoronto.ca/ResearchLabs/MallochLab/Malloch/Moulds/Moulds.html

- [26] Boedijn, K. B.; Knaurs Pflanzenreich in Farben, a.a.O., S. 84
- [27] Boedijn, K. B.; Knaurs Pflanzenreich in Farben, a.a.O., S. 64
- [28] SuperTV Nr. 1 vom 27.12.2001, S. 5
- [29] Magan, Naresh; Kampf den Mykotoxinen, FTE info Nr. 42 Aug. 2004 S. 29 ff
- [30] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) Lebensmittel und Bedarfsgegenstände; Berichterstattung zur Lebensmittelüberwachung 2003;
http://www.bvl.bund.de/lebensmittel/bericht_luew_03.htm
- [31] Owen P. Ward; Biorektionen, Prinzipien, Verfahren, Produkte, Springer Verlag 1989
- [32] Weiß, Björn; Wagenführ, André u. Kruse, Kordula; Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen; DRW-Verlag 2000, S. 103-104
- [33] Dörfelt, Heinrich, BI-Lexikon. a.a.O., S. 49
- [34] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S. 20-21
- [35] Gatkowsky, Gerd (Halle); Bild von einem Bauschaden 2001 in Leipzig
- [36] Douwes, J. Dubbeld, H. u.a.; work related acute and (sub-)chronic airways inflammation assessed by nasal lavage in compost workers. Ann Agric. Environ. Med. 4 , 149-151, 1997
- [37] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S. 26-27
- [38] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S. 94
- [39] DIN 68800 Teil 2, Pkt. 11.2 Holzschutz, Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- [40] Weiß, Björn; Wagenführ, André u. Kruse, Kordula; a.a.O., S. 102
- [41] Weiß, Björn; Wagenführ, André u. Kruse, Kordula; a.a.O. S.105-107
- [42] Moriske, Heinz-Jörn; Szewzyk, Regine; Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen Umwelt Bundes Amt, Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, 2002 S. 54-55
- [43] Weiß, Björn; Wagenführ, André u. Kruse, Kordula; a.a.O. S. 100
- [44] Weiß, Björn; Wagenführ, André u. Kruse, Kordula; a.a.O. S. 95
- [45] Benedix, Heinz; Casper, S. Jost; Schmiedeknecht, Martin; u.a.; URANIA Pflanzenreich, Niedere Pflanzen, Urania-Verlag Leipzig-Jena-Berlin, 1977, S. 311
- [46] Rauch, Peter; Bildergalerie holzzerstörende Pilze - Echter Hausschwamm www.ib-rauch.de/bildgal/schwamm/pilzschw.html
- [47] Erfurth, U.; Der Feuchtehaushalt von Fassadenbeschichtungen, Applica Heft 23/24, 2004, S. 4-7
- [48] Schadensmeldung 4/2005, Fertigteilhaus wurde 1993 errichtet
- [49] Moriske, Heinz-Jörn; Szewzyk, Regine; Leitfaden zur Vorbeugung, a.a.O. S. 61
- [50] Schadensmeldung 5/2005, Gebäude wurde 2004 errichtet
- [51] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, 14.12.2001, S. 34
- [52] Bieberstein, Horst; Schimmelpilze in Wohnräume - was tun? Omega Verlag 1989
- [53] Buss, Harald; Schimmelpilze in Wohnungen, Bauschäden - beurteilen und beheben durch konkrete Lösung im Detail, WEKA-Verlag 1991, S. 121
- [54] Meyer, Günter; Schiffner, Erich; Technische Thermodynamik, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1983
- [55] Rudolphi, A.; Kirchner, D.: Ökologische und gesundheitsorientierte Baustoff- und Konstruktionsauswahl. Moriske, H.-J.; Turouski, E.; Handbuch für Bioklima und Lufthygiene, ecomed-Verlag, 2000, Kap. IV.7.1, S. 12-24
- [56] Umweltbundesamt, Fachgebiet II 2.3., Innenraumhygiene, Fachgebiet II 2.3, Mikrobiologie Berlin, Hilfe! Schimmel im Haus, Ursachen –Wirkung- Abhilfe, S. 14
- [57] Künzel, H.; Lüftung in Wohnungen, Fenster Fassade 9, 1982, S. 174-179
- [58] Eike-Henning, W.; Wohnungslüftung, Feuchte und Schimmel in Wohnungen – ein neues Problem? Gesundheitsingenieur 2000, S. 69-81

- [59] Buss, Harald; a.a.O., S.152
- [60] Künzel, H.; Müssen Außenwände „atmungsfähig“ sein? Wksb 25/1980
- [61] Meier, Claus; aus Vortrag in Quedlinburg 10.02.2001 (beim FHH)
- [62] Informationsschrift zu Schadis, Bauschäden erkennen – beheben – vermeiden, Fraunhofer IRB Verlag, 30/09/2003[s9_werbeblatt_V428.qxd]
- [63] Lothar Goretzki; bs 2/97 S. 42
- [64] Wendehorst, R.; Baustoffkunde , 24. Aufl., Vicentz Verlag Hannover, 1994
- [65] Bomehag, C.; Blomquist, G.; Gyntelberg; Fet at (2001) Dampness in buildings and health. Indoor Air 11, S.72-86
- [66] hf sensor GmbH Leipzig, Wirtschaft 9/2001 S. 22
- [67] König, Holger; Wege zum gesunden Bauen, Ökobuchverlag Staufien 1991
- [68] Eichler, Arndt; Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, VEB Fachbuchverlag 1989, S. 92-102
- [69] Arendt, Horst; Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis, a.a.O.; S. 13
- [70] König, Holger; Das Dachgeschoß, 3. Aufl., ökobuch Staufien, 1996, S. 51
- [71] Haupt, P.; Bauphysik 5/94, Stand Deut. Bücherei (ZB 75 909) 24-5
- [72] Arendt, Claus; Seele, Jörg; Feuchte und Salze in Gebäude, Verlagsanstalt Alexander Koch; 2000, S. 12-16, 51
- [73] Rauch, Peter; Verfahren zur Entsalzung von Mauerwerk und Mauersalze, www.ib-rauch.de/Beratung/salz.html
- [74] Kurt, Schönborg; Bauschäden sind vermeidbar, Wissensspeicher für den richtigen Baustoffeinsatz, 2. Aufl. VEB Verlag für Bauwesen, 1978, S. 119
- [75] Arendt, Claus; Trockenlegung, Deutsche Verlagsanstalt 1983, S. 12 ff
- [76] Arendt, Horst; Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis, a.a.O.; S. 34
- [77] Häupt , P., Stopp, H.; Wasserdampfdiffusion in Außenbauwerksteilen unter Berücksichtigung des kapillaren Wassertransports. Stadt- und Gebäudetechnik 34(1980)
- [78] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; Bauwerkszerstörung und Sanierung durch Mikroorganismen, Forschungsbericht Institut für angewandte Forschung und Produktmarketing Wien, 3/1988, S. 5 (Standort Deut. Bücherei 1988B7863)
- [79] Künzel, H.M.; Krus, M.; Sedlbauer, K.; Algen auf Außenwänden- Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung , 3. Dahlberg – Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 75ff
- [80] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; a.a.O., S. 16
- [81] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; a.a.O., S. 48
- [82] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; a.a.O., S. 17
- [83] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; a.a.O., S. 18
- [84] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; a.a.O., S. 20
- [85] Scholz, Wilhelm; Hiese, Wolfram; Baustoffkenntnis, 13. Aufl., Werner Verlag GmbH Düsseldorf 1995
- [86] Kurt, Schönborg; a.a.O., S. 100
- [87] Dittmar Hecker, Gernot Minke; Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Universität Gesamthochschule Kassel, Arbeitshinweise zum Lehm-bau-Einführungskurs 1998
- [88] Borgstädt, Andreas; Rupp, Hindelang Klaus; Lehmputz als Baustoff wieder entdeckt, bauzeitung 54(2000)10
- [89] Niemeyer, Richard; Der Lehm-bau und seine praktische Anwendung, ökobuch-reprint Originalausgabe 1946
- [90] WTA-Merkblatt 2-2-91 Sanierputzsysteme, Herausgeber: Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Referat Oberflächentechnologie
- [91] Schwarz, Jutta; Ökologie im Bau, Entscheidungshilfen zur Beurteilung und Auswahl von Baumaterialien, 4. Aufl., Verlag Paul Haupt Bern Stuttgart Wien, 1998 S. 35

- [92] Daunderer, Max; Gifte im Alltag, 1. Aufl., München: Beck, 1999, 26 ff
- [93] Scholz, Wilhelm; Hiese, Wolfram; Baustoffkenntnis, a.a.O., S. 547-549
- [94] Köneke, Rolf; Schimmelpilze und Feuchte in Gebäude, 3. Aufl. Hammonia-Verlag GmbH, 2001, S. 68
- [95] Masan, Antischimmelfarbe Produktbeschreibung der Firma Masid, Rosenaustraße 25, 63303 Dreieich, www.masid.de
- [96] Scholz, Wilhelm; Hiese, Wolfram; Baustoffkenntnis, a.a.O., S. 560 ff
- [97] Scholz, Wilhelm; Hiese, Wolfram; Baustoffkenntnis, a.a.O., S. 351
- [98] Daunderer, Max; Gifte im Alltag, a.a.O., S. 108-109
- [99] Scholz, Wilhelm u.a.; Baustoffkenntnis, 13. Aufl., Werner-Verlag, 1995, S. 722, 762
- [100] Kauf Gips KG; Frische Raumluft: Mangelware?, Das Bauzentrum Baukultur 3/2005 S. 46 ff
- [101] Libbert, Eike; Allgemeine Biologie, 5. Aufl., Gustav Fischer Verlag Jena 1986, S. 66
- [102] Hoffmann, Elisabeth; Mikrobiologen entdecken "Puzzlestücke" vom Anfang des Lebens; Nature 433, 537-541 vom 3.2.2005 und <http://idw-online.de/pages/de/news99348> vom 04.02.2005
- [103] Fritz, Hans-Joachim, Gottschalk, Gerhard; Bakterien aus heißen Quellen: Goettinger Forscher entziffern Genomsequenz, Nature Biotechnology in seiner Online-Veröffentlichung am 04.04.2004 und in http://idw-online.de/public/zeige_pm.html?pmid=78168 vom 10.04.2004
- [104] Rauch, Peter; Trocknung von feuchten Bauteilen mit Infrarotheizung, www.ib-rauch.de/bautens/infrarot.html
- [105] Moriske, Heinz-Jörn; Szewzyk, Regine; Leitfaden zur Vorbeugung, a.a.O., S. 30-36
- [106] Büchli, R; Raschle, P.; Algen und Pilze an Fassaden. Ursachen und Vermeidung, Fraunhofer IRB-Verlag, 2004
- [107] DGfH-Merkblatt, (Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.) Vermeidung von Schimmelpilzbefall an Anstrichflächen außen, Januar 2002, S. 3
- [108] Umwelt Bundes Amt, Innenraumluftthygienekommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen (Schimmelpilz-Leitfaden), 2002, S. 53
- [109] Rauch, Peter; Wie feuchte Mauerwerksteile trocknen? www.ib-rauch.de/Beratung/feuchtig.html
- [110] Moriske, Heinz-Jörn; Szewzyk, Regine; Leitfaden zur Vorbeugung, a.a.O. S. 63
- [111] Dienter, Harry; Fleckenentfernung – aber richtig! 8. Aufl. Fachbuchverlag Leipzig, 1978, S.82
- [112] Ziegler, Juwitha; Chemie in der Kleidung, Fischer Taschenbuch Verlag GmbH 1995, S. 86-87
- [113] Dienter, Harry; a.a.O., S. 62-63
- [114] Dienter, Harry; a.a.O., S. 76
- [115] Kriftel, A. Born; Hugo, G.; Verminderung des mikrobiellen Befalls von Fassaden durch Integration physikalischer Schutzmechanismen in Beschichtungsstoffen, 3. Dahlberg – Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 95 ff
- [116] Stindl, T.; Ausgewählte statistische Analysen zum Algenbefall an wärmegeämmten Wohngebäuden im norddeutschen Raum, 3. Dahlberg – Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 59 ff
- [117] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, a.a.O., S.133-134
- [118] Daunderer, Max; Gifte im Alltag, a.a.O., S. 162
- [119] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; Rompp-Lexikon-Naturstoffe, Georg Thieme Verlag Stuttgart 1997, S. 10
- [120] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; a.a.O., S.11

- [121] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; a.a.O., S. 243
- [122] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; a.a.O., S. 419-420
- [123] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; a.a.O., S. 466
- [124] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; a.a.O., S. 639
- [125] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred; a.a.O., S. 682
- [126] Brasche, S.; Heinz, E.; u.a.; a.a.O., S. 683
- [127] Rauch, Peter; Schimmelpilzbildung infolge Wärmebrückenbildung – Allgemeine Darstellung und Aufzeigen konstruktiver Mängel beim Dachgeschoßausbau, Vortrag 4.5.1994 Bauberatungszentrum Leipzig (www.ib-rauch.de/bauphysik/waermebr.html)
- [128] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, a.a.O., S. 24-27
- [129] Dienter, Harry; a.a.O., S. 91 ff
- [130] Oberrauch, Bernhard; Bauphysikalische Daten über Lehm, Wohnung + Gesundheit 9/92 Nr. 64 S.48/49
- [131] Kur, Friedrich; Wohngifte, a.a.O., S. 545
- [132] König, Holger; Wege zum gesunden Bauen, a.a.O., S. 95 ff
- [133] Eichler, Arndt; Bautechnischer Wärme- und Feuchteschutz, Bauverlag 1989, S. 95
- [134] Meyer, Günter; Schiffner, Erich; Technische Thermodynamik 1983, Fachbuchverlag Leipzig S. 207, 365
- [135] Colling, Francois; Lernen aus Schäden im Holzbau, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung Innovations- und Service GmbH, 2000, S. 132
- [136] Rauch, Peter; Korrosion von Beton und Stahlbeton durch chemische Verbindungen und Mikroorganismen, Hausarbeit am Institut für technische Mikrobiologie, 29.9.1984
- [137] Eichler, Arndt; a.a.O., S. 23, 24, 226
- [138] Bobran, Hans W.; Bobran-Wittfoht, Ingrid; Handbuch der Bauphysik, 7.Aufl., vieweg Verlag, 1994
- [139] Eichler, Arndt; a.a.O., S. 114
- [140] Hahn, Stefanie; Bakterien helfen, gefährliche Schwermetalle im Boden zu binden, http://idw-online.de/public/zeige_pm.html?pmid=85909 vom 20.09.2004 weiter Informationen unter http://www.daad.de/lateinamerika-sued/argentinien_progs.html#4
- [141] Brasche, S.; Heinz, E.; u.a.; a.a.O., S. 691
- [142] Grochal, P.; Algen und Pilze an wärmegeprägten Fassaden, 3. Dahlberg – Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 113
- [143] Moriske, Heinz-Jörn; Szewzyk, Regine; Leitfaden zur Vorbeugung, a.a.O. S. 58-59
- [144] Heisel, J. P.; Baustoffe - die Qual der Wahl ; in ökologisch bauen und renovieren Ausgabe 10 /1997, Arbeitsgemeinschaft zur Patienteninformation über Gesundheit und Umwelt e.V.
- [145] Arendt, Horst; Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis, Verlag für Bauwesen Berlin 1996, S. 34
- [146] Raaf, Hermann; Chemie des Alltags A-Z, Ein Lexikon der praktischen Chemie, 27. Aufl. Verlag Herder Freiburg im Breisgau 1990, S. 264-265
- [147] Holger König; Wege zum Gesunden Bauen, Ökobuch Staufen b. Freiberg, 1997, S.225 ff
- [148] Krüger, A.; Interview Prof. Herbarth, Der Witz um die Feinstaub-Kriege, hallo Leipzig, 30.7.2005, S.1
- [149] Luerweg, Frank; Pilzbewachsene Getreidekörner als Pflanzenschutzmittel, Veröffentlicht am 08.08.2005 in Informationsdienst Wissenschaft unter <http://idw-online.de/pages/de/news123781>

¹ Es gibt z. B. Hohlräume hinter einer Trockenbauwand, Fehlböden usw. Durch eine kleine Öffnung können quantitative Vergleichsmessungen vorgenommen werden. Erst wenn der Verdacht bestätigt wird, erfolgt ein Rückbau des Bauteils.

² Die Umgebungsluft und der Baustoff stehen in einem Feuchtegleichgewicht

³ Wenn normal gelagerte Lebensmittel durch Schimmelpilze befallen werden, dann kann man auch von einer höheren Sporenbelastung im Raum selbst ausgehen.

⁴ es ist 3 Millionen Mal stärker als z. B. ein in Lebensmitteln vorkommender industrielles Lösungsmittel Tetrachlorkohlenstoff. Der Schwellenwert beträgt 0,000001 g pro Kilo und pro Tag. [29]

⁵ Bezüglich ihres Pathomechanismus und des klinischen Bildes werden die Typen I, III und IV unterschieden.

⁶ Deutsches Institut für Bautechnik Berlin

⁷ Ein nicht genutzter Raum sollte und braucht auch nicht so intensiv beheizt werden. Vor dem Schlafengehen kann die Heizung etwas zurückgedreht werden. Das gilt auch, wenn man tagsüber auf Arbeit ist. Man muss aber wissen, wenn der Raum zu sehr auskühlt, um so höher wird dann bei der Nutzung der Thermostat eingestellt. Inwieweit man die Heizung in dem jeweiligen Raum reduzieren kann, muss einfach ausprobiert werden. Behilflich ist auch ein kleines Protokoll mit der Zimmer- und Außentemperatur und verbrauchter Einheiten (Heizkörper) und der Kontrolle der Raumfeuchte mit einem Hygrometer.

⁸ Diese unkontrollierte Lüftung durch die Bauteile führt in vielen Fällen zu Feuchteschäden. Diese sind grundsätzlich zu vermeiden. (Siehe hierzu weiter Ausführungen unter den Punkten 7.3.3. und 7.3.4.)

⁹ Das Protokoll sollte die Außen- und die Zimmertemperaturen beinhalten. Einmal erfasst man die Einheiten im warmen Zimmer, dabei werden die anderen Räume wie bisher nicht beheizt. Zum Vergleich werden dann alle Räume beheizt (die nicht genutzten nur sehr wenig) und die Einheiten addiert. Je länger die Zeitabschnitte sind, so genauer werden die Werte.

¹⁰ Dampfsperren an der Innenseite einer Außenwand sind möglichst zu vermeiden. Hier ist im Einzelfall der mögliche Tauwasserausfall zu berechnen bzw. man kann hier auch aus Erfahrungen auf bewährte Konstruktionen zurückgreifen. Bei Leichtbaukonstruktionen kann in der Regel nicht auf eine Dampfsperre verzichtet werden.

¹¹ Der a_w -Wert wird berechnet nach $a_w = RH$ (Luftfeuchtigkeit in %)/100

¹² Ziel war es, Möglichkeiten und Methoden für eine biologische Fassadenbeschichtung zu finden, und Fassaden ohne synthetische Farbanteile zu gestalten.

¹³ Zusammenstellungen von Baustoffeigenschaften nach ökologischen Gesichtspunkten unter www.ib-rauch.de/okbau/stoffwert/bssuche.html oder nach physikalischen Eigenschaften unter www.ib-rauch.de/okbau/stoffwert/suchen01.php

- ¹⁴ Aus holzschutztechnischen Gründen erforderlich, vergleiche DIN 68800 und DIN 68365
- ¹⁵ DIN 68800 T. 2, Pkt. 11.2
- ¹⁶ DIN 68800 T. 2, Pkt. 11.2
- ¹⁷ irgend welche Festlegungen, wie Aufstellungsordnung von Möbel und der gleichen
- ¹⁸ Ausnahme für Allergiker oder Personen mit chronischer Erkrankung der Atemwege sowie geschwächtem Immunsystem
- ¹⁹ Es wird ein geeignetes präpariertes Nährmedium gegen die Befallsfläche gedrückt und bebrütet.
- ²⁰ Die Schimmelpilze vom Material werden auf eine durchsichtige Klebefolie überführt und anschließend mikroskopisch nachgewiesen.
- ²¹ Sie wirken meist selektiv. Einige Schimmelpilze werden nicht bekämpft, sondern verlieren ihre Nahrungskonkurrenten und entwickeln sich umso besser. [107]
- ²² Besonders Kalk hat eine neutralisierende Wirkung und außerdem gelangen mit dem Essig organische Nährstoffe auf das Material, daher ist die Anwendung von Essiglösung meist nicht sinnvoll.
- ²³ Für alle wasserlöslichen, grenzflächenaktiven Stoffe, die man auch als waschaktive Stoffe (WAS), Netz- und Emulgiermittel bezeichnet. In Waschmittel sind anionaktive Tenside. [146]
- ²⁴ Im Wassermolekül benutzt der Sauerstoff seine beiden einfach besetzten p_y - und p_z -Orbitale zur Bindung. Da dieser aufeinander senkrecht steht, sollte der Winkel im H-O-H-Molekül 90° betragen. Durch die abstoßende Wirkung der beiden Wasserstoffatome wird er jedoch verzerrt und beträgt 104° .
- ²⁵ Es gibt natürlich keine „gesunden“ Häuser. Das ist ein allgemeiner Begriff für schadstoffarme Gebäude und auch Einrichtungen. Der Begriff wird auch für biologisch orientierte Bauweisen verwendet.