

Vermeidung von Schimmelpilzbildung in Wohnräumen

Neue Definition des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 als hygienischer Wärmeschutz

1. Vorbemerkungen

Schimmelpilzbildung in Wohngebäuden ist mehr denn je ein aktuelles Thema. Dies geht nicht nur aus dem Bauschadensbericht der Bundesregierung eindeutig hervor (Bilder 1 bis 5). Nicht nur in Gebäuden mit geringem Wärmeschutz werden von Schimmelpilz befallene Bauteile beobachtet, sondern häufiger noch in Neubauten, die gemäß den Anforderungen der Wärmeschutzverordnungen hergestellt wurden, sowie in sanierten Altbauten. Da die in Wohnungen auftretenden Schimmelpilze mehr oder minder starke gesundheitliche Beeinträchtigungen (Allergien, Bronchitiden, Asthma, Aspergillose, Aspergillom) erzeugen, ist ihre Bekämpfung aus hygienischen Gründen geboten.

Damit sich aus den in der Luft stets vorhandenen Sporen (Aeroplankton) Schimmelpilzkolonien (im Volksmund "Stockflecken") bilden, müssen folgende Voraussetzungen bestehen:

- Nährgrund
- Sauerstoffangebot
- Feuchtigkeit

Übliche kunststoffhaltige Anstriche (Dispersionen), Tapeten und Tapetenkleister bieten für das Wachstum der ständig in der Luft befindlichen Sporen einen vorzüglichen Nährgrund, da diese Materialien chemisch sauer und eiweißhaltig sind. Auf alkalischem Untergrund (Beton, Kalk) breitet sich der Schimmelpilz wegen des geringen Nährstoffangebots nicht oder in nur geringem Maß aus. Sauerstoff befindet sich in der umgebenden Luft in ausreichender Menge. Somit hängt es von dem Feuchtigkeitsangebot ab, ob es zur Schimmelpilzbildung kommt. Das Feuchtigkeitsangebot kann aus angrenzenden Bauteilen stammen, wenn diese infolge unzureichenden Regenschutzes durchfeuchten. Häufiger ist jedoch erhöhte Luftfeuchte, insbesondere in Verbindung mit Taupunktunterschreitungen, zu nennen. Zur Verdeutlichung der damit verbundenen Vorgänge sollen nachfolgend einige Grundbegriffe kurz erläutert werden.

2. Luftfeuchte

Wasser kommt unter normalen Klimabedingungen in allen drei möglichen Phasenzuständen vor: In fester Form als Schnee, Eis oder Hagel, in flüssiger Form als Niederschlags- oder Tauwasser und im gasförmigen Zustand als Wasserdampf. Allgemein wird ein Gas nahe der Verflüssigung als Dampf bezeichnet. Wasserdampf wird nicht nur durch Sieden des Wassers bei 100 °C erzeugt, sondern befindet sich auch in der Luft bei niedrigeren Temperaturen. Luft ist demzufolge in Abhängigkeit der jeweiligen klimatischen Situation mehr oder weniger 'feucht'.

Die Wasserdampfkonzentration, die von der Luft in Abhängigkeit der jeweiligen Temperatur maximal aufgenommen werden kann, wird als Wasserdampfsättigungsgehalt c_s bezeichnet.

Sie nimmt mit zunehmender Temperatur überproportional zu. Der Verlauf der Wasserdampf-sättigungsmenge in Abhängigkeit von der Temperatur ist durch die obere Kurve in Bild 6 dargestellt.

Tabelle 1

Wasserdampfgehalt und zugehöriger Dampfdruck gesättigter Luft in Abhängigkeit der Temperatur

Lufttemperatur	Wasserdampf-konzentration c_s	Wasserdampf-druck p_s
°C	g/m ³	Pascal
20	17,3	2340
15	12,8	1706
10	9,4	1228
5	6,8	872
0	4,8	611
-5	3,2	401
-10	2,1	260

In der Luft befindet sich jedoch praktisch nie der maximal mögliche Wasserdampfgehalt, sondern eine geringere Menge. Das Verhältnis vom Wasserdampfgehalt der Luft c_d zur Wasserdampfsättigungsmenge c_s wird **relative Luftfeuchtigkeit** genannt und üblicherweise in % angegeben (Bild 6).

Wird bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C eine relative Luftfeuchte von 50 % gemessen, so heißt dies, dass sich in der Luft eine Wasserdampfkonzentration von

$$c_d = 0,50 \cdot 17,3 = 8,65 \text{ g/m}^3$$

befindet; 80 % bei -10 °C ergeben hingegen

$$c_d = 0,80 \cdot 2,1 = 1,68 \text{ g/m}^3$$

also deutlich weniger, obwohl die Luft relativ feuchter ist. Diese Eigenschaft der Luft, bei unterschiedlichen Temperaturen unterschiedliche Wasserdampfmengen zu beinhalten, bewirkt unter bestimmten baukonstruktiven und klimatischen Umständen den Tauwasserausfall.

3. Taupunkt

Definitionsgemäß hat Luft, die mit Wasserdampf gesättigt ist, eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 %. Bei Erwärmung der feuchten Luft sinkt die relative Luftfeuchtigkeit, da der höheren Temperatur ein höherer Sättigungsgehalt zugeordnet ist. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass dem betreffenden Luftvolumen kein weiterer Wasserdampf zugeführt wird. Beim Abkühlen des betrachteten Luftraums erhöht sich dessen relative Luftfeuchtigkeit. Diejenige kritische Temperatur, auf die sich ein Luftvolumen abkühlen muss, bis es die relative

Luftfeuchtigkeit von 100 % erreicht hat, wird als 'Taupunktstemperatur' oder kurz 'Taupunkt' bezeichnet.

Aus dem oberen Rechenbeispiel kann das verdeutlicht werden: bei 20 °C und 50 % rel. Feuchte befinden sich in der Luft 8,65 g/m³ Wasserdampf. Aus der tabellarischen Aufstellung bzw. Bild 2 folgt dann, dass etwas unterhalb 10 °C dieser Wert der Wasserdampfsättigungsmenge entspricht. Dort liegt also der 'Taupunkt' (genau bei 9,3 °C), bei dessen Unterschreiten Wasserdampf als Nebel, auf festen Oberflächen als Tauwasser ausgefällt wird. Aufgrund neuerer Untersuchungen ist festzustellen, dass Schimmelpilzbildung bereits ab einer oberflächennahen relativen Raumluftfeuchte von 80 % erfolgt. Die zugehörige kritischen Temperatur ergibt sich somit zu 12,6 °C.

Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt wird Tauwasser als Reif auskondensiert. Umgekehrt wird Wasser beim Überschreiten des Taupunkts verdunstet und zwar um so mehr, je höher die Temperatur über dem Taupunkt liegt. Dies gilt auch für Temperaturen unter 0 °C, da auch Eis verdunstet. Den direkten Übergang von Eis zu Wasserdampf bezeichnet man als 'Sublimation'.

Die Taupunktstemperatur ist somit abhängig vom Klimazustand des betrachteten Luftraums. Eine oberflächige Tauwasserbildung findet statt, wenn die Oberflächentemperatur des betrachteten Bauteils unterhalb des Taupunktes der angrenzenden Luft liegt.

4. Raumklima

Zur Charakterisierung des Raumklimas sind die Angaben der Temperatur sowie der relativen Luftfeuchtigkeit notwendig. Für normale Wohnbauten ist in DIN 4108-3 das Normklima mit 20 °C und 50 % relative Luftfeuchtigkeit festgelegt worden. Das Raumklima wird aber auch durch die Nutzung bestimmt. In der Praxis sind Begriffe wie 'Feuchtraum' oder 'Nassraum' üblich. Um ihnen quantitative Inhalte zu geben, sind die in Tabelle 2 angegebenen Abgrenzungen zu beachten.

Tabelle 2

Raumklimare, Benennungen

Raumklima	relative Luftfeuchtigkeit bei 20 °C in %	Beispiele
trocken	40 %	Büchereien, Trockenlager
normal	50 %	Wohnbauten, Schulen, Büros, Sporthallen, Ausstellungs- und Montagehallen
feucht	60 - 70 %	Speisesäle, Gaststätten, Versammlungsräume, Druckereien, Spinnereien, Webereien, Warmställe
nass	80 %	Bäckereien, Wäschereien, Wasch- und Duschräume bei mehr als 24 °C: Schwimmbhallen, Gewächshäuser, Leder-, Papier- Tabak-, Gummi-, Textilindustrie

Für die Wohnraumnutzung ist die Wärme- und Wasserdampfabgabe des Menschen von Bedeutung. Bereits in Ruhe gibt ein Mensch in 8 Stunden etwa 250 Gramm Feuchtigkeit als Wasserdampf ab, dem entspricht ein Viertel Liter Wasser. Wird nicht ausreichend gelüftet, erhöht sich also die relative Luftfeuchtigkeit auch in sonst trockenen Räumen. Weitere Feuchtigkeitsabgaben sind Tabelle 3 zu entnehmen. Insgesamt ist davon auszugehen, dass in einer normal genutzten Wohnung je Woche etwa 100 bis 150 Liter Wasser als Wasserdampf abgegeben werden. Dies entspricht dem Inhalt einer Badewanne.

Tabelle 3

Wasserdampfabgabe und Verdunstungswerte in Wohnräumen

Feuchtequelle	Feuchteabgabe [g/h]
Mensch, je nach Aktivität	20 - 300
Trocknende Wäsche (4,5 kg-Trommel)	
- geschleudert	50 - 200
- tropfnass	100 - 500
Kochen, Backen	600 - 1500
Zimmerblumen, Topfpflanzen	5 - 20
Aquarium, je m ²	ca. 40

Die Feuchtigkeitsbilanz in Bauteilen kann wesentlich durch die Rohbaufeuchte beeinflusst werden. Genügend trockene Baustoffe weisen in der Regel die Werte der "praktischen Feuchtigkeit" auf, die für die Festlegung der Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108-4 verwendet wird. Ist der Wassergehalt des Baustoffs beim Einbau höher als die Ausgleichsfeuchte, so wird die Bauteilschicht solange Wasser abgeben bis der Gleichgewichtszustand erreicht ist. Kann wegen der Schichtenfolge die Wasserabgabe nur an den Innenraum erfolgen, so ist eine beträchtliche Anreicherung der Raumluffteuchte die Folge, die die vorgenannten Einflüsse erheblich verstärkt. In Bild 7 ist dies mit einem besonders krassen, jedoch nicht völlig ungewöhnlichen Fall dargestellt.

5. Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung durch unzureichenden Wärmeschutz

Für die oberflächige Tauwasserbildung ist die Oberflächentemperatur maßgebend. Damit eine Wand tauwasserfrei bleibt, muss ihre raumzugewandte Oberflächentemperatur deutlich über dem Taupunkt liegen. Dies ist bei Raumluffteuchten um 50 % auch bei Bauteilen, die nur die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes erfüllen, mit genügender Sicherheit zu erwarten. Oftmals ist jedoch die Tauwasserbildung im Bereich von Wärmebrücken zu beobachten. Als Wärmebrücke wird eine Stelle erhöhter Wärmedurchlässigkeit in einem sonst gut dämmenden Bauteil bezeichnet. Die Wirkung der Wärmebrücke ist selbstverständlich erst dann gegeben, wenn dieses Bauteil eine Konstruktion ist, die zwei Temperaturbereiche voneinander trennt, bei einer Außenwand im Winter also den beheizten Innenraum von der Außenluft.

Im hier diskutierten Zusammenhang interessieren besonders die geometrischen Wärmebrücken, insbesondere die Außenecke einer Wand, aber auch die Ecken in Fensterleibungen und Stürzen (Bilder 1 bis 4).

Aus der Erfahrung ist bekannt, dass im Eckbereich die raumzugewandten Temperaturen niedriger liegen als im eigentlichen Wandbereich in genügend großem Abstand von der Ecke. Deshalb kann dort Tauwasserbildung im Zusammenspiel mit höherer Luftfeuchtigkeit auftreten. Der Grund liegt darin, dass Ecken in Außenwänden nämlich in wärmeschutztechnischer Hinsicht Unstetigkeiten darstellen, die besonders zu beachten sind. Dies darf nicht nur auf die dort geringeren konvektiven und strahlungsbezogenen Wärmeaustauschvorgänge zurückgeführt werden, die sich in größeren Wärmeübergangswiderständen äußern, sondern ist auch im Zusammentreffen von Wärmeströmen verschiedener Richtung begründet. In der Raumecke findet demzufolge ein mehrdimensionaler Wärmetransport statt.

Gegenüber der DIN 4108-2 Ausgabe 1981 wird in der Neufassung ausdrücklich betont, dass es im Einflussbereich von Wärmebrücken zu deutlich niedrigeren Oberflächentemperaturen und somit zu Tauwasserniederschlag und/oder Schimmelpilzbefall kommen kann. Es wird dort weiter auf die Notwendigkeit einer gleichmäßigen Beheizung und ausreichenden Belüftung der Wohnräume sowie weitgehend ungehinderten Luftzirkulation an den Außenwandoberflächen hingewiesen.

Ecken von Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau, deren Einzelkomponenten die Anforderungen nach Tabelle 3 in DIN 4108-2 erfüllen, bedürfen keines gesonderten Nachweises (neue Definition des Mindestwärmeschutzes als hygienischer Wärmeschutz). Alle konstruktiven, geometrischen und stoffbedingten Wärmebrücken nach DIN 4108 Beiblatt 2 sind ausreichend wärmegeklämt. Für alle davon abweichenden Konstruktionen muss der Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle

$$f_{RSi} \geq 0,70$$

erfüllen.

Die Berechnung des Temperaturfaktors erfolgt nach E DIN EN ISO 10211-2 aus

$$f_{RSi} = \frac{\vartheta_{Si} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e} \quad (1)$$

Hierin sind:

ϑ_{Si} die mit dem raumseitigen Wärmeübergangswiderstand $R_{Si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnete Oberflächentemperatur;

ϑ_i, ϑ_e die Raumluft- bzw. Außenlufttemperatur.

Nach DIN 4108-2 ist im Regelfall

$$\vartheta_i = 20 \text{ °C} \text{ und } \vartheta_e = -5 \text{ °C}.$$

6. Einfluss der Heizung und Raumlüftung

Die Erwärmung eines Raumes erfolgt durch Abstrahlung von einem Heizkörper oder einer Heizfläche (Deckenstrahlungsheizung, Fußbodenheizung) und durch Luftumwälzung. Bei den

früher üblichen Kachelöfen und offenen Kaminen ist der Strahlungsanteil besonders hoch. Bei den heute üblichen Konvektorheizkörpern erfolgt die Erwärmung durch Luftumwälzung (Konvektion, siehe Bild 8). Die am Heizkörper hochsteigende Warmluft erwärmt beim Vorbeiströmen die Oberflächen von Wänden und Decken. Die sich dort einstellenden Temperaturen hängen von der Wärmedämmung und Wärmespeicherung der Bauteile ab, aber auch davon, ob die Luftumwälzung ungehindert möglich ist.

Table 4

Mindestwerte des Wärmedurchlasswiderstandes von Bauteilen nach DIN 4108-2 Ausgabe März 2001; Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

Zeilen-Nr. nach DIN 4108-2	Bauteile	Wärmedurch- lasswiderstand R m²K/W
1	Außenwände; Wände von Aufenthaltsräume gegen Bodenräume, Durchfahrten, offene Hausflure, Garagen, Erdreich	1,20
2	Wände zwischen fremdgenutzten Räumen; Wohnungstrennwände	0,07
3	Treppenraumwände	0,25
4	- „ - zu Treppenräumen mit $\vartheta_i \geq 10$ °C	0,07
5	Wohnungstrenndecken; allgemein	0,35
6	in zentralbeheizten Bürogebäuden	0,17
7, 8	Unterer Raumabschluss, nicht unterkellert	0,90
9	Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen, belüftete Dächer und Dachschrägen, Abseiten	0,90
10	Kellerdecken; Decken gegen abgeschlossene, unbeheizte Hausflure	0,90
11	Decken, auch Dächer, die die Aufenthaltsräume gegen die Außenluft nach unten abgrenzen	1,75
	- nach oben abgrenzen •	1,20

An einem Bauteil mit guten Wärmedämmeigenschaften kann sich dort eine niedrige Oberflächentemperatur einstellen, wenn die vom Heizkörper erzeugte Luftumwälzung oder Wärmeabstrahlung behindert wird. Dies kann durch die Raumform (Nischen, Vorsprünge, Erker, tiefe Fensterleibungen) oder auch durch die Möblierung hervorgerufen werden. Besonders ungünstige Verhältnisse entstehen, wenn sich die genannten Einflüsse mit Wärmebrücken überlagern. Um Schimmelpilzbefall zu vermeiden, ist demzufolge nicht nur die korrekte Auslegung der Heizanlage erforderlich, sondern auch die Raumgestaltung und die sinnvolle Anordnung der Heizkörper.

- Für Umkehrdächer (Dächer mit einer Dämmschicht auf der wasserabweisenden Dachhaut) sind bei der Berechnung des U -Wertes nach DIN EN ISO 6946 Korrekturwerte in Abhängigkeit des Anteils des Wärmeschutzes unterhalb der Abdichtung zu berücksichtigen:

< 10 %	$\Delta U = 0,05$
10 ... 50 %	$\Delta U = 0,03$
> 50 %	$\Delta U = 0$

Ein weiterer Einfluss stellt die Beheizungsdauer dar. Die von der Heizkostenreduzierung geprägte Nachtabsenkung kann ebenfalls Tauwasserbildung und Schimmelpilzbefall begünstigen.

7. Einfluss des Luftwechsels

Der Luftaustausch zwischen Wohnräumen und Außenluft stellt den maßgebenden Einfluss auf die Raumluftfeuchte dar. Zur Beschreibung der Intensität des Luftwechsels dient die Luftwechselzahl, worunter das Verhältnis aus der stündlichen Intensität des Raumluftwechsels, bezogen auf das Volumen der Raumluft verstanden wird. In DIN 4701 wird die Mindestluftwechselzahl mit $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ angegeben, nach WSVO '95 ist $n = 0,8 \text{ h}^{-1}$; bei der Neufassung der Energieeinsparverordnung zwischen $0,6 \text{ h}^{-1}$ und $0,7 \text{ h}^{-1}$, je nach überprüfem Zustand der Gebäudehülle. Durch Fensterlüftung wird die Luftwechselzahl entsprechend gesteigert.

Man unterscheidet "Stoßlüftung" infolge kurzzeitigen Öffnens der Fenster und "Spaltlüftung", die im wesentlichen durch Fenster- und Türfugen verursacht wird.

Der Fugendurchlasskoeffizient a gibt die Größe der Spaltströmung durch eine Fensterfuge oder dergl. an. Die früher verwendeten Holzfenster wiesen hohe Fugendurchlasskoeffizienten auf. Hierdurch entstand ein so hoher Luftwechsel, dass oftmals zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen vorzunehmen waren, um unerwünscht hohe Wärmeverluste zu vermeiden, da der konvektive Wärmestrom direkt vom Volumenstrom abhängt.

Nach Wärmeschutzverordnung wird an die Fugendurchlasskoeffizienten von Fenster und Türen die in Tabelle 5 aufgeführten Anforderungen gestellt. Tatsächlich weisen die modernen Fenster sehr viel niedrigere a -Werte auf. Dies führt zu einer geringen "Grundlüftung" der Wohnräume (Bild 9).

Tabelle 5

Max. Fugendurchlasskoeffizienten a in $\text{m}^3/(\text{h m daPa}^{2/3})$
für Fenster und Fenstertüren

Gebäude	Beanspruchungs-Gruppe A nach DIN 18 055	Beanspruchungs-Gruppe B und C nach DIN 18 055
bis zu 2 Vollgeschossen	2,0	-
mit mehr als 2 Vollgeschossen	-	1,0

Der Volumenstrom ist definiert mit

$$\dot{V}_l = a \cdot l \cdot \Delta p^{2/3} \quad \text{in m}^3/\text{h} \quad (2)$$

Hierin sind

- a der Fugendurchlasskoeffizient in $\text{m}^3/(\text{m h daPa}^n)$
 l die Fugenlänge in m
 Δp die am Bauteil wirkende Luftdruckdifferenz in daPa

8. Feuchtebilanz für einen Wohnraum

In Bild 10 sind die zu- und abgehenden Feuchtigkeitsströme dargestellt. Unter Vernachlässigung der sehr kleinen Wasserdampfdiffusionsströme lässt sich daraus die relative Luftfeuchtigkeit für den Innenraum ableiten. Sie ergibt sich zu

$$\varphi_i = \varphi_a \frac{c_{Se}}{c_{Si}} + \frac{\sum_{i=1}^n \dot{m}_{D,i}}{n_L \cdot V_R \cdot c_{Si}} \quad (3)$$

Hieraus lässt sich zur Einhaltung einer nicht zu überschreitenden relativen Luftfeuchte im Wohnraum die erforderliche Luftwechselzahl ermitteln.

Beispiel Schlafzimmer mit 2 Personen:

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_{D,i} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ g/h}, V_R = 3 \cdot 4 \cdot 2,5 = 30 \text{ m}^3, n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}, V^* = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$c_{Si}(20 \text{ }^\circ\text{C}) = 17,2 \text{ g/m}^3, c_{Se}(-10 \text{ }^\circ\text{C}) = 2,1 \text{ g/m}^3$$

$$\varphi_i = 0,8 \cdot 2,1/17,2 + 60/15/17,2 = 0,33 = 33 \%$$

Eine Auswertung von Gl.(3) zeigt Bild 11.

9. Bewertung und Sanierung

Nach neuer Definition des Mindestwärmeschutzes als hygienischer Wärmeschutz reicht es nicht mehr aus, für Bauteiloberflächen den Taupunkt zu bestimmen. Vielmehr wird die kritische Temperatur für die Schimmelpilzbildung herangezogen. Dies stellt eine Erschwernis gegenüber der früheren Definition des Mindestwärmeschutzes dar. Eine Erleichterung ergibt sich daraus, dass die Außenlufttemperatur nicht mehr mit $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, sondern mit $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ berücksichtigt wird. Erschwerend ist wiederum die Annahme des raumzugewandten Wärmeübergangswiderstandes von $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ (früher $0,17$).

Somit ist es verständlich und auch folgerichtig, dass die Mindestwerte für Außenwände auf mehr als das Doppelte angehoben wurden.

Weiterhin ist beachtenswert, dass die Raumluftfeuchte mit 50 % als Richtwert beibehalten wird. Dies zieht eine entsprechende Raumlüftung nach sich, die bei Wohnungen ohne raumlufttechnische Anlagen durch den Nutzer zu besorgen ist.

Abschließend soll eine Checkliste für Maßnahmen beim Vorliegen von Schimmelpilzbefall aufgeführt werden. Es ist - am besten einvernehmlich, ggf. unter Einschaltung eines Sachverständigen und vor Einschaltung der Gerichte - zu prüfen:

- Liegt ein Wasserschaden vor? z.B. undichtes Dach, mangelhafte Fugendichtungen, Abflussrohre undicht?
- Besteht kein ausreichender Schlagregenschutz?
- Wird Tauwasserbildung infolge Wasserdampfkondensation, z.B. an Wärmebrücken festgestellt?
- Ist die ausreichende Beheizung der Räume sichergestellt?
- Wird eine ausreichende Raumlüftung betrieben, ist eine ausreichende Raumlüftung möglich?

Nach Beseitigung der Ursachen des Schimmelpilzbefalls werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Entfernen der befallenen Tapete, soweit vorhanden
- Großflächige Behandlung des Putzes bzw. des Untergrundes mit einem pilzabtötenden Mittel (Fungizid); nach Abtrocknung soll der Vorgang wiederholt werden
- Neutapezierung mit möglichst dünnen Tapeten, an kritischen Stellen auf Tapete verzichten und einen Anstrich vorsehen, vorzugsweise mit silikatischen Farben
- Dauerfeuchte Ecken, z.B. in Duschen, vermeiden. Nährgrund für Schimmelpilze reduzieren, z.B. Blumenerde einmal pro Jahr wechseln
- Ausreichender Luftwechsel in der Heizperiode, Kontrolle der Luftfeuchte mit einem Hygrometer
- Ist der Schimmelpilzbefall hinter Möbeln aufgetreten, ist auf ausreichenden Abstand der Möbel von der Wand zu achten (5 - 10 cm).

10. Literatur

- [1] Gertis, K./Erhorn, H.: Neue Überlegungen zum Mindestwärmeschutz, wksb Sonderausgabe Mai 1985, 30. Jahrgang S.39-42
- [2] Habermann, J./Winkler, J.: Feuchtigkeit und Schimmelbildung in Wohnungen, Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V. (AGW), 2. Auflage 1990 Bonn
- [3] Hauser, G./Stiegel, H.: Wärmebrückenatlas für den Mauerwerksbau, Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1990; auch als CD-ROM

- [4] Hohmann/Setzer: Bauphysikalische Formeln und Tabellen, Werner-Verlag 2. Auflage 1995
- [5] Kasper, F.-J./Müller, R./Rudolphi, R.: Numerische Untersuchungen zum Tauwasserrisiko von Mauerwerksaußenwinkeln und Ecken in Gebäuden, schaden prisma 3'88 und 4'88
- [6] Künzel, H.: Richtiges Heizen und Lüften in Wohnungen, Das Bundesbauministerium informiert, BMBau 3. Auflage 1987
- [7] Liersch, K.W.: Wohnhausbau - Raumecken und Schimmelpilzbildung, bau-zeitung 48 (1994) 6
- [8] Liersch, K.W.: Dicht schließende Fenster und ihr Einfluß auf Raumluftwechsel, Tauwasser- und Schimmelpilzbildung, DBZ 3/89
- [9] Liersch, K.W.: Schimmelpilzbildung im Wohnhausbau - Ursachen und Abhilfe - DBZ 10/98
- [10] Oswald, R. et al.: Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden, herausgegeben vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 3/1996



Bilder 1 bis 4

Schimmelpilzbildung ist in Raumecken, an Fensterleibungen und hinter Möbeln häufig als Folge geringer Raumlüftung, erhöhter Luftfeuchte, unzureichender Beheizung und Wärmebrückenwirkung zu beobachten



AW: Außenwände

FT: Fenster und Türen

DuB: Dächer und Balkone

BE: Bauteile im Erdreich

D: Decken

F: Fußböden

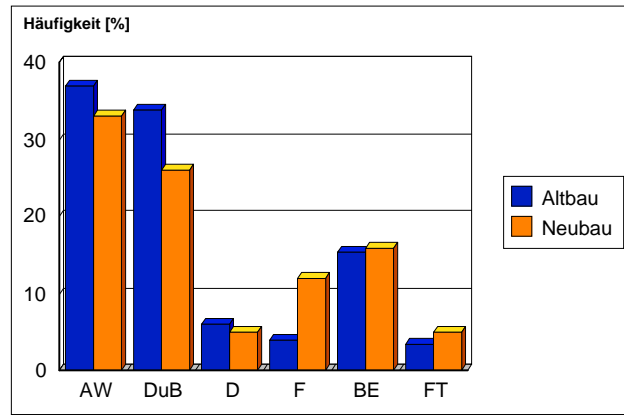


Bild 5

Prozentualer Anteil der Bauteilgruppen an der Gesamtheit aller vermeidbarer Schäden bei Arbeiten im Bestand bzw. bei Neubauten; die Gruppe "Dächer und Balkone" verursacht mit den Außenwänden die meisten Bauschäden; nach Bauschadensbericht 1996

Bild 6

Wasserdampfgehalt der Luft bei Wasserdampfsättigung und bei verschiedenen relativen Luftfeuchten in Abhängigkeit von der Lufttemperatur; Schimmelpilzbefall ist etwa ab einer oberflächennahe Luftfeuchte von 80 % möglich

Ablesebeispiele:

- Bei $\vartheta = 20\text{ °C}$ und einer rel. Feuchte von $\varphi = 50\%$ befinden sich ca. $8,6\text{ g/m}^3$ Wasserdampf in der Luft
- Grafische Ermittlung des Taupunktes: $\vartheta = 20\text{ °C}$ und $\varphi = 50\%$ Taupunkt $\vartheta_s = 9,3\text{ °C}$
- Grafische Ermittlung des kritischen Temperatur für Schimmelpilzbefall: $\vartheta_{sB} = 12,6\text{ °C}$ (bei sonstigen Klimadaten wie 2.)

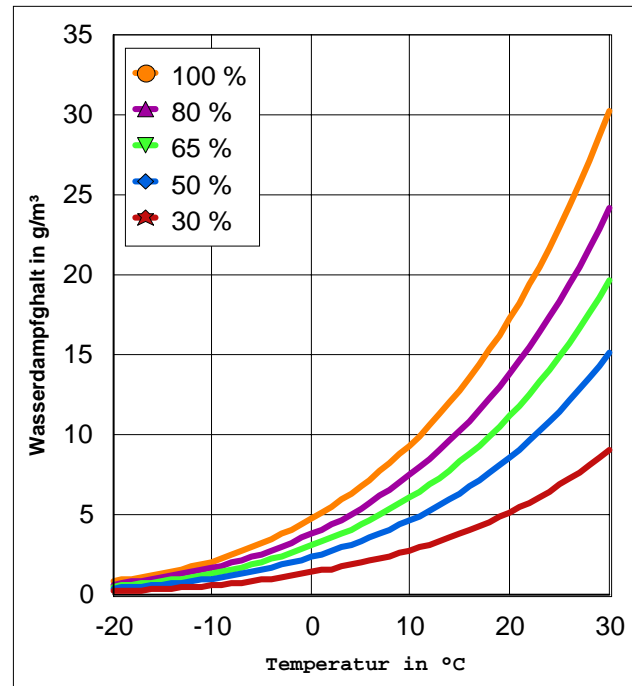


Bild 7

Verlauf der relativen Luftfeuchte in einer Wohnung von 50 m^2 mit 5 dicht schließenden Fenstern und geringem Luftwechsel; Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem, darüber nicht belüftetes Flachdach

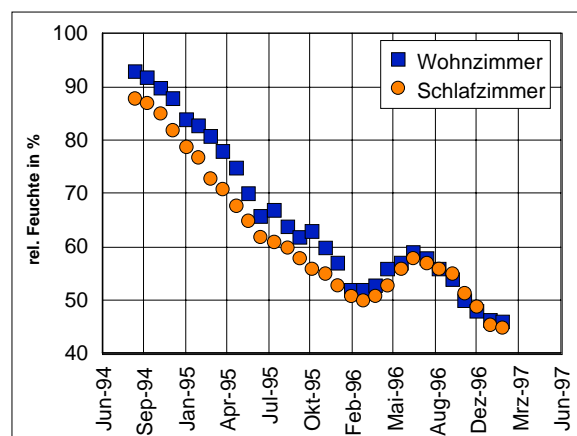


Bild 8

Luftumwälzung und Temperaturverhältnisse in einem Raum mit Konvektorheizkörper: bei einer Raumlufttemperatur von 22 °C in Raummitte weichen die Temperaturen in anderen Bereichen davon ab

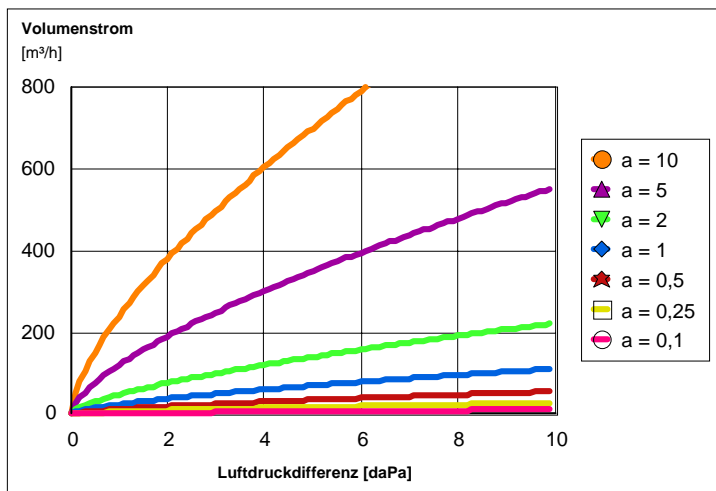
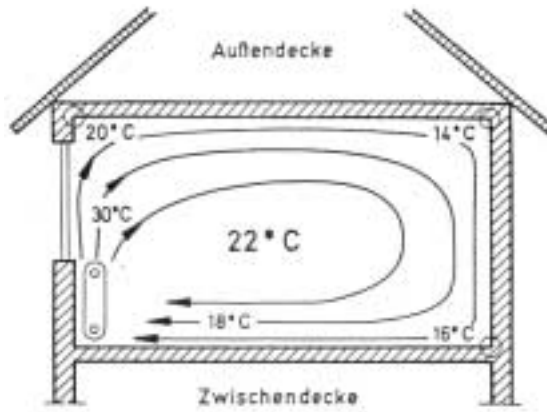
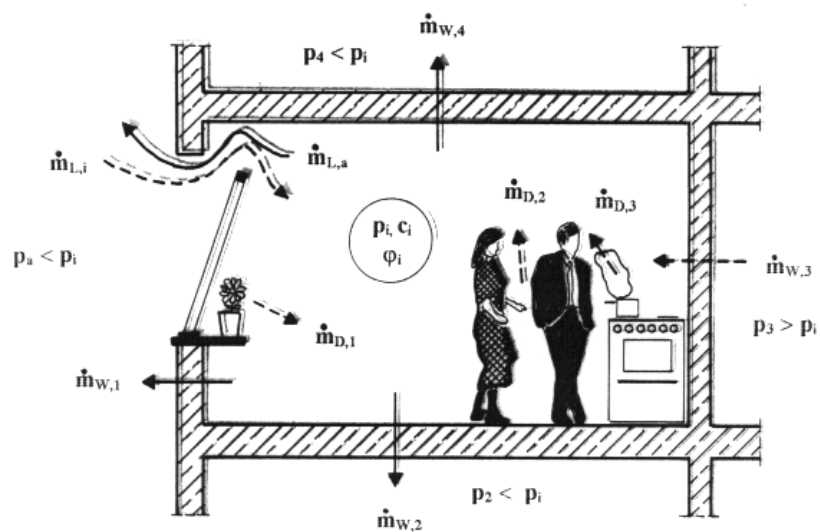


Bild 9

Luftvolumenstrom und Luftwechsel durch Fensterfugen in Abhängigkeit der Fugendurchlässigkeit von Fensterfugen; berechnet für einen Raum von 50 m³ mit 5 Fenstern 1,40 * 1,00 m

Bild 10

Zugehende und abgehende Feuchtigkeitsströme; nach Hohmann/Setzer



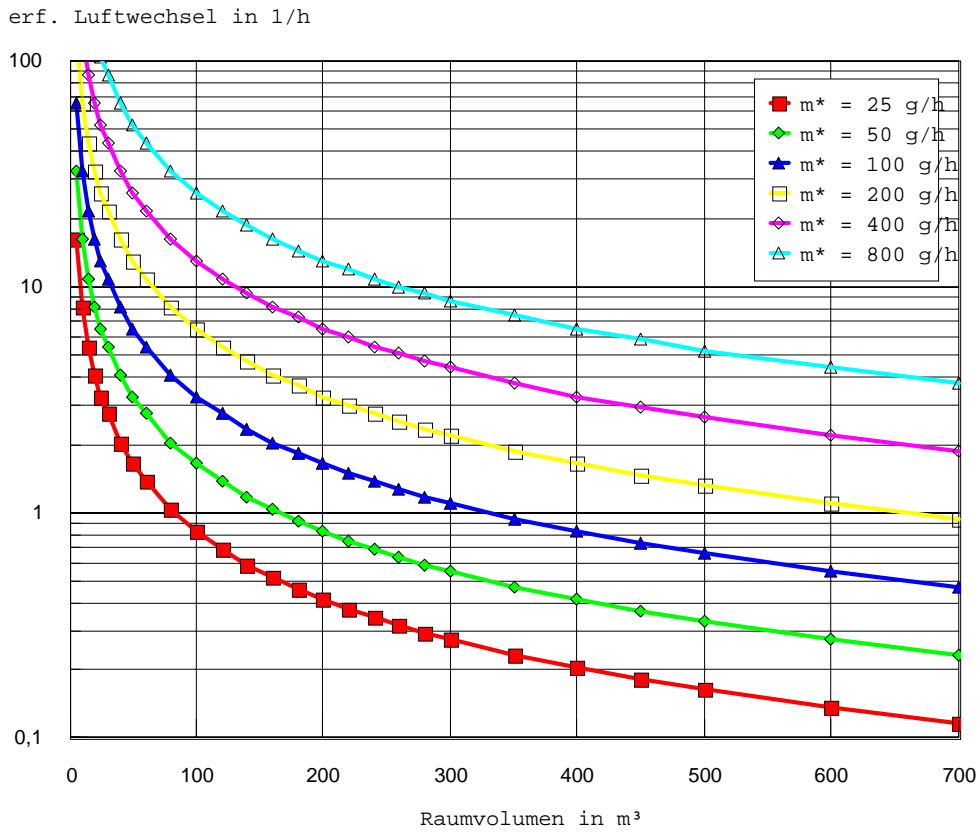


Bild 11

Maßgebende Größe für eine mittlere Raumluftheuchte ist die Raumlüftung; hingegen hat die Wasserdampfdiffusion oder die Sorptionsfähigkeit der Umfassungsbauteile kaum einen Einfluss; die nachfolgende Abbildung zeigt den erforderlichen Raumluftwechsel zur Erzielung einer Raumluftheuchte von 50 % bei einer Außenlufttemperatur von 0 °C bei verschiedenen stündlichen Feuchtigkeitsbelastungen in Abhängigkeit des Raumvolumens