

# „Feuchtigkeit und Schimmelbildung in Gebäuden - Bauphysikalische und nutzungsbedingte Ursachen“

Dipl.-Ing. Matthias Goslar

Frömchen, Goslar & Partner - Freie Architekten, Karlsruhe - [www.fgp-architekten.de](http://www.fgp-architekten.de)

Redtenbacherstraße 4, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721 – 38 48 98 98

Arbeitsschwerpunkt: energetische Sanierung

Lehrauftrag für Bauphysik an der Hochschule Karlsruhe

## Aufbau des Vortrags

1. Einleitung und Voraussetzungen zur Schimmelpilzbildung
2. Feuchtigkeitsbildung aus bauphysikalischer/bautechnischer Sicht
3. Tauwasserbildung und Taupunkttemperatur
4. Typische Baumängel und Wärmebrücken
5. Diagnose von Baumängeln: Normen & Messmethoden
6. Typische Lüftungsfehler
7. Diagnose von falschem Lüftungsverhalten: Messmethoden
8. Literaturangaben

## 1. Einleitung

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit der Entstehung und Diagnose von Feuchte- und Schimmelschäden auf Grundlage der Bauphysik.

Fragen zur Beurteilung von Qualität und Umfang des Schimmelpilzbefalls werden an anderer Stelle erörtert. Dennoch soll auch hier auf die Dringlichkeit der Sanierung aller Schäden mit Feuchte und Schimmelpilzbildung hingewiesen werden. Derartige Schäden sind sehr häufig ein Hinweis auf eine fehlerhafte Baukonstruktion.

Feuchtigkeitsschäden und Schimmelpilzbefall:

Gefährden potentiell die Gesundheit der Bewohner

Zerstören die Substanz des Gebäudes und den Wert der Immobilie

Führen gewöhnlich zu höheren Energieverbräuchen

Drei Hauptfragen stehen im Mittelpunkt der Untersuchungen bei vorhandenen oder vermuteten Schimmelpilzschäden:

Ist ein Schimmelpilzbefall vorhanden und wenn ja, wie umfassend ist dieser (Fläche und Tiefe der Eindringung etc.)?

Liegen bauliche Mängel oder Schäden vor und wie lassen sich diese beseitigen?

Liegt ein Fehlverhalten bei den Nutzern vor?

## Voraussetzungen zur Schimmelpilzbildung

Schimmelpilzsporen sind ein natürlicher Bestandteil der Luft, die nur dann zu einer störenden Schimmelpilzbildung führen, wenn die physikalischen Bedingungen gegeben sind. Voraussetzung für das Schimmelpilzwachstum sind dauerhafte Feuchtigkeit und das Vorhandensein von Nährstoffen. Darüber hinaus benötigen einige Schimmelpilze zum Wachstum Wärme.

Der Schimmelpilz-Leitfaden des Umweltbundesamtes erläutert die baulichen und nutzungsbedingten Voraussetzungen wie folgt:

*„In älteren und in nicht vorschriftsgemäß errichteten neuen Gebäuden kann durch bauliche Mängel (undichtes Dach, Risse im Mauerwerk) oder Fehler in der Gebäudekonstruktion Feuchtigkeit in Wände, Fußböden und Decken eindringen sowie zur Gebäudeinnenseite wandern. Durch Wärmebrücken oder unzureichend oder falsch angebrachte Wärmedämmungen kommt es zu einer erhöhten relativen Feuchte an der Oberfläche bis hin zur Tauwasserbildung an Innenflächen der Gebäudewände. Um dies zu verhindern und einem Schimmelpilzbefall vorzubeugen, müssen an erster Stelle solche baulichen Mängel beseitigt werden.*

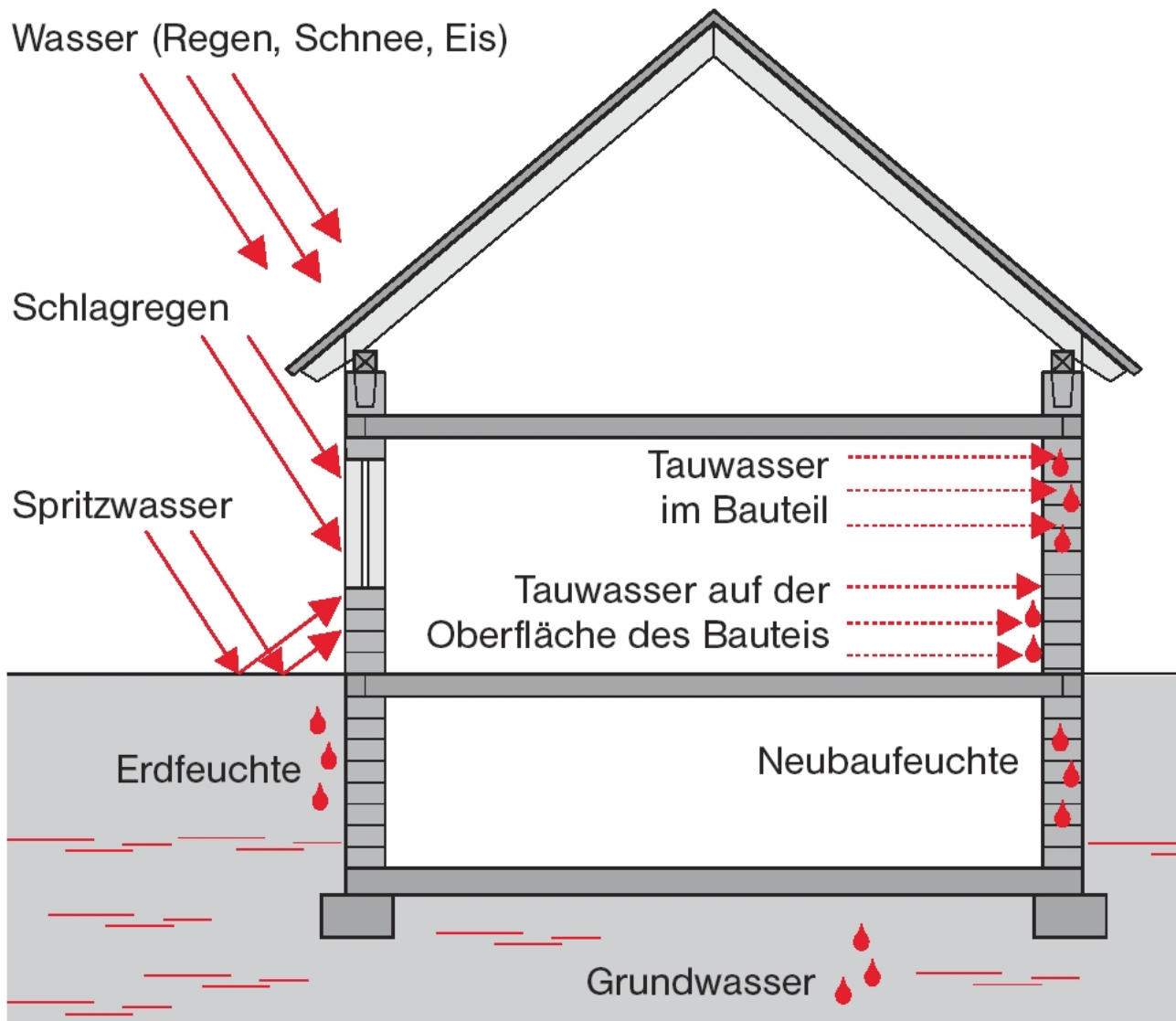
*Das Verhalten der Raumnutzer kann ebenfalls zu erhöhter Feuchte im Innenraum beitragen. Vor allem unsachgemäßes Lüftungsverhalten der Bewohnerinnen und Bewohner in Verbindung mit Tätigkeiten, bei denen Feuchtigkeit entsteht (Duschen, Kochen, Wäschetrocknen etc.), erhöht die Feuchtigkeit der Raumluft. Dies kann zu Schimmelpilzwachstum führen. Besonders bei nachträglich wärmegeämmten und nach den geltenden Wärmeschutzvorschriften neu errichteten Gebäuden ist wegen des verringerten natürlichen Luftwechsels (das ist der Luftaustausch mit der Außenluft, der z.B. über Fugenundichtigkeiten bei geschlossenen Fenstern und Türen auftritt) ein sachgerechtes Lüften erforderlich.“*

(Gekürzte Auszüge aus dem „Schimmelpilz-Leitfaden“ des Umweltbundesamtes)

Leider gibt es Schimmelpilze, denen lokal auftretende Luftfeuchtigkeit von 70-80 % ausreichen! Wie schnell dieser Wert erreicht wird, wird später dargestellt.

## 2. Feuchtigkeitsbildung aus bauphysikalischer/bautechnischer Sicht

Typische Quellen die zur Feuchtigkeitsbildung führen:



(Quelle: RWE-Bau-Handbuch, 2004)

Wenn Feuchte oder bereits Schimmelpilze im Bau vorhanden sind, sollte zunächst festgestellt werden, welche der hier dargestellten Quellen für die Durchfeuchtung der Bauteile verantwortlich ist.

Sofern man einen baukonstruktiven Mangel ausschließen kann, kommen als Verursacher eines Schadens in der Regel Tauwasser, Neubaufeuchte und Erdfeuchte (auch Grundwasser) oder Altschäden, die nicht vollständig saniert oder erkannt wurden, in Betracht.

Mit Ausnahme von Altschäden lassen sich die meisten Ursachen für Feuchteschäden durch bauphysikalische Berechnungen und Messungen feststellen - sofern die Schadensursache nicht im falschen Lüftungsverhalten des Nutzers zu finden ist.

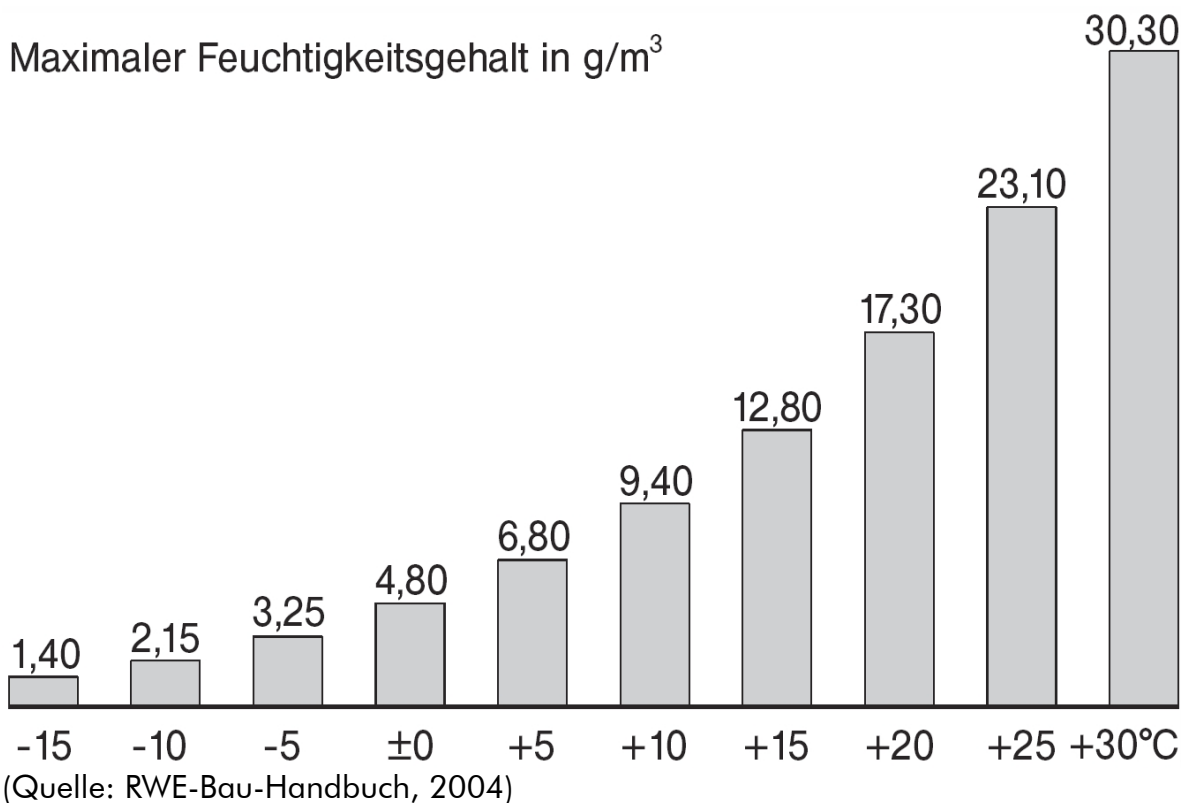
Besonders kritisch ist die Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen, da hier oft erst nach Jahren ein äußerlicher Befall erkennbar wird, aber geruchliche oder gesundheitliche Beeinträchtigungen bereits wesentlich früher auftreten können.

Wärmebrücken können ebenfalls zu Tauwasserbildung führen, da sie die innere Oberflächentemperatur von Außenbauteilen deutlich verringern. Das verstärkt wiederum die Gefahr der Bildung von Tauwasser an der betroffenen Oberfläche.

### 3. Tauwasserbildung und Taupunkttemperatur

Die wichtigste Einflussgröße bei der Tauwasserbildung ist die sogenannte „relative“ Luftfeuchtigkeit. Sie gibt an, zu wie viel Prozent die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Ist die Luft „gesättigt“, kommt es zur Tauwasserbildung. Dieses Phänomen kennen wir alle vom beschlagenen Spiegel im Badezimmer nach dem Duschen, oder den beschlagenen Autoscheiben im Winter direkt nach dem Einsteigen.

Die Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Luft ist temperaturabhängig. Das heißt, dass mit steigenden Temperaturen immer mehr Wasserdampf aufgenommen werden kann, ehe es zur Wasserdampfsättigung und anschließend zum Tauwasserausfall kommt.



Bei einer Innenlufttemperatur von 20 °C sollte die relative Luftfeuchtigkeit idealerweise zwischen 40 und 70 % liegen, das ist der Bereich in dem wir die Luft weder als „zu trocken“ noch als „zu feucht“ empfinden.

Die Norm-Innenluft für bauphysikalische Betrachtungen - und entsprechende Normen – weist üblicherweise eine Temperatur von 20 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit auf. Darin sind 8,65 g/m<sup>3</sup> Wasserdampf gelöst. Durch den Eintrag von Feuchtigkeit (Wasserdampf) erhöht sich die Luftfeuchtigkeit jedoch ständig. Typische Feuchtigkeitsquellen sind dabei:

Menschen: ca. 1-2 kg pro Tag (abhängig von Alter und Aktivität)

Wäsche, Pflanzen, Reinigen: ca. 3 kg pro Tag

Kochen: bis zu 2 kg pro Tag

Am Beispiel eines Dreipersonenhaushalts, der in einer 4-Zimmer-Wohnung mit 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche lebt, lässt sich gut zeigen, wie wichtig regelmäßiges Lüften ist.

Der Dreipersonenhaushalt erzeugt täglich ca. 10.000 g Wasserdampf, das sind 417 g/h. Bei ca. 250 m<sup>3</sup> Luftvolumen der Wohnung, steigt der Wasserdampfgehalt der Luft ohne Luftaustausch bereits nach einer Stunde auf gut 10 g/m<sup>3</sup>, das entspricht einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 60 % und nach nur 2,5 Stunden ohne Luftaustausch erreicht die relative Luftfeuchtigkeit schon 75 %! Nach etwas über 5 Stunden würde die relative Luftfeuchtigkeit 100 % erreichen. Komplette ohne Lüftung würden täglich knapp 8 l Wasser kondensieren.

Diese Berechnung verteilt die Luftfeuchtigkeit gleichmäßig auf die gesamte Wohnung. Da man allerdings davon ausgehen kann, dass die Feuchtigkeit eher gebündelt in einzelnen Räumen auftritt, kann man sich leicht ausrechnen, dass dort die Luftfeuchtigkeit schnell noch höher liegt.

### **Taupunkttemperatur**

Abhängig von Innenlufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit ergibt sich die sogenannte Taupunkttemperatur. Das ist die Temperatur, ab der die Luft die vorhandene Wasserdampfmenge nicht mehr lösen kann und sich Wasserdampf in Form von Nebel, Regen oder Schnee niederschlägt.

Bei 70 % Luftfeuchtigkeit und einer Innenlufttemperatur von 20 °C liegt die Taupunkttemperatur beispielsweise bei 14,4 °C (siehe Tabelle auf der nachfolgende Seite). Sobald diese Temperatur unterschritten wird, kommt es zwangsläufig zu Tauwasseranfall.

Luft-temp.	Taupunkttemperatur in °C bei verschiedenen Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten											
	°C	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
0	-10.7	-9.3	-8.1	-7.0	-6.0	-5.1	-4.2	-3.4	-2.7	-2.0	-1.3	-0.6
1	-9.9	-8.5	-7.3	-6.2	-5.2	-4.2	-3.4	-2.5	-1.8	-0.9	-0.4	0.5
2	-9.0	-7.7	-6.5	-5.4	-4.4	-3.4	-2.6	-1.7	-1.0	-0.2	0.5	1.3
3	-8.2	-6.8	-5.7	-4.5	-3.5	-2.6	-1.7	-0.8	0.0	0.8	1.5	2.3
4	-7.4	-6.0	-4.9	-3.7	-2.7	-1.8	-0.9	0.0	0.9	1.7	2.5	3.3
5	-6.6	-5.2	-4.0	-2.9	-1.8	-0.9	0.0	1.0	1.9	2.7	3.5	4.3
6	-5.8	-4.4	-3.2	-2.1	-1.0	0.0	0.9	1.9	2.8	3.7	4.5	5.3
7	-5.0	-3.6	-2.4	-1.2	-0.1	1.0	1.9	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3
8	-4.2	-2.8	-1.6	-0.4	0.7	1.9	2.9	3.9	4.8	5.7	6.5	7.3
9	-3.4	-2.0	-0.8	0.5	1.7	2.8	3.9	4.9	5.8	6.7	7.5	8.3
10	-2.6	-1.1	0.0	1.3	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.3
11	-1.8	-0.3	1.0	2.3	3.6	4.7	5.8	6.8	7.7	8.6	9.4	10.3
12	-1.0	0.5	1.9	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.3
13	-0.2	1.4	2.8	4.2	5.5	6.7	7.7	8.7	9.7	10.6	11.4	12.3
14	0.6	2.3	3.7	5.2	6.4	7.6	8.6	9.7	10.6	11.6	12.4	13.3
15	1.5	3.2	4.7	6.1	7.3	8.6	9.6	10.7	11.6	12.6	13.4	14.3
16	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.5	10.5	11.6	12.5	13.5	14.3	15.2
17	3.3	5.1	6.5	8.0	9.2	10.5	11.5	12.6	13.5	14.5	15.3	16.2
18	4.2	6.0	7.4	8.9	10.1	11.4	12.4	13.6	14.5	15.5	16.3	17.2
19	5.1	6.9	8.4	9.8	11.1	12.4	13.4	14.6	15.5	16.5	17.3	18.2
20	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.3	14.4	15.5	16.4	17.5	18.3	19.2
21	6.9	8.7	10.2	11.7	13.0	14.3	15.4	16.5	17.4	18.5	19.3	20.2
22	7.8	9.6	11.1	12.6	13.9	15.2	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2
23	8.7	10.5	12.0	13.5	14.9	16.2	17.3	18.4	19.4	20.4	21.3	22.2
24	9.6	11.4	12.9	14.4	15.8	17.1	18.2	19.3	20.3	21.4	22.2	23.2
25	10.5	12.3	13.9	15.4	16.7	18.0	19.2	20.3	21.3	22.4	23.2	24.2
26	11.3	13.2	14.8	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.1
27	12.2	14.1	15.7	17.2	18.6	19.9	21.1	22.2	23.3	24.3	25.2	26.1
28	13.1	15.0	16.6	18.1	19.5	20.8	22.0	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1
29	14.0	15.9	17.5	19.1	20.5	21.8	23.0	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1
30	14.9	16.8	18.4	20.0	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1
40	23.8	25.8	27.6	29.2	30.7	32.2	33.5	34.7	35.9	37.0	38.1	39.0

(Quelle: Ampack AG, 2000 - Grundlagen und Theorie zu Wasserdampfdiffusion und Winddichtigkeit)

14,4 °C ist eine Temperatur die an typischen Wärmebrücken in Wohnungen nicht gedämmter Gebäude ganz häufig unterschritten wird. Z.B.:

- an Außenecken von Gebäuden
- bei Massiven Fensterstürzen (besonders bei dauer-gekippten Fenstern)
- im Sockelbereich von Erdgeschoss-Wohnungen
- in Bereichen mit auskragenden Stahlbetonteilen (Vordächer, Balkone, Treppen)

Früher waren beschlagene Fenster mit schlechter Verglasung ein guter Hinweis auf eine zu hohe Luftfeuchtigkeit und die Bewohner haben automatisch gelüftet. Außerdem dienten diese Fenster häufig als gezielter „Kondensator“, bei denen über Vertiefungen in der Fensterbank das Wasser gesammelt wurde, das dann durch Entwässerungsröhrchen nach Draußen gelangte.

Seit dem Einbau hochwertiger Fenster in schlecht gedämmte Außenwände oder Dachflächen fehlt dieser „Frühindikator“ und der Tauwasseranfall an der Oberfläche von Außenbauteilen wird häufig erst nach einer bemerkbaren Schimmelbildung entdeckt.

### **Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen**

Noch gefährlicher ist allerdings die Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen, da sie häufig über einen längeren Zeitraum unentdeckt bleibt.

Tauwasser tritt auf, wenn der Wasserdampfdruck im Inneren eines Bauteils den Wasserdampfdruck erreicht bzw. übersteigt.

Zur Berechnung des Tauwasserausfalls bei bekanntem, homogenen Bauteilaufbau wird unter anderem das sogenannte „Glaser-Verfahren“ verwendet. Für definierte Klimabedingungen werden dabei der Temperaturverlauf, der Sättigungsdampfdruck und der Wasserdampfdruck von Schichtübergang zu Schichtübergang errechnet.

Der Sättigungsdampfdruck ergibt sich aus der jeweiligen Temperatur am Schichtübergang. Der Wasserdampfdruck (auch als Partialdruck bezeichnet) ist abhängig von der Wasserdampfdurchlässigkeit (Schichtdicke) der einzelnen Bauteilschichten. Liegt der Partialdruck zeichnerisch oder rechnerisch an einem Schichtübergang über dem Sättigungsdampfdruck, kommt es im Inneren des Bauteils zur Tauwasserbildung.

Da von den zu untersuchenden Gebäude häufig keine Bauunterlagen vorliegen, sollten die betroffenen Bauteile geöffnet werden, um die entsprechenden Baustoffqualitäten zu ermitteln.



#### **4. Typische Baumängel und Wärmebrücken**

Bei einer Untersuchung auf Feuchtigkeit und Schimmelbildung muss als erstes eine intensive Untersuchung der baulichen Situation erfolgen. Ein besonderes Augenmerk sollte man dabei auf die folgenden Baumängel und Wärmebrücken legen:

- Fehlende oder mangelhafte Abdichtungen im Keller (horizontale Sperre und Abdichtungsanstrich)

- Defekte Dachrinnen, Fallrohre und Grundleitungen im Erdreich

- Schad- oder fehlerhafte Abdeckungen von Dächern und hervorstehenden Bauteilen

- Risse in Außenbauteilen

- Undichte Fugen

- Nicht oder unzureichend abgedichtete Leitungsdurchführungen durch Außenwände

- Defekte Wasser- oder Abwasserleitungen (häufig in unzugänglichen Hohlräumen oder unter Bauteilen wie schwimmender Estrich, abgehängte Decken etc.)

- Akute Rohrbrüche

- Undichte Fenster bzw. Fensterabdichtungen (Schlagregendichtigkeit!)

- Mangelhafte Wärmedämmung

- Wärmebrücken:

  - Außenecken ungedämmter Außenwände, aber auch am Übergang von Außenwand zu Kellerdecke und Dach

  - Ausragende Stahlbetonteile (Vordächer, Balkone etc.)

  - Ungedämmte Stahlbetonstürze oder -Stützen

  - Heizkörpernischen mit reduzierter Wandstärke

#### **5. Diagnose von Baumängeln: Normen & Messmethoden**

Sofern nach eingehender Untersuchungen vor Ort ein Bauschaden, Baumängel oder offensichtlich falsches Lüftungsverhalten ausgeschlossen werden können, muss das betroffene Bauteil hinsichtlich Mindest-Wärmeschutz nach DIN 4108-2 und Tauwasseranfall im Inneren von Bauteilen nach DIN 4108-3 untersucht werden.

Weitere DIN-Normen zum Feuchteschutz sind DIN EN ISO 13 788 (Kritische Oberflächenfeuchte) und DIN 68 800 (Begrenzung der Holzfeuchte), sie werden hier aber nicht weiter erläutert.

Aus der DIN 4108 können ebenfalls nur einige Auszüge und Ziele benannt werden:



## Mindest-Wärmeschutz nach DIN 4108-Teil 2

In DIN 4108-Teil 2 wird unter Punkt 3.1.2 das Ziel des Mindestwärmeschutzes formuliert:

### *„3.1.2 Mindestwärmeschutz*

*Maßnahme, die an jeder Stelle der Innenoberfläche der Systemgrenze bei ausreichender Beheizung und Lüftung unter Zugrundelegung üblicher Nutzung ein hygienisches Raumklima sicherstellt, so dass Tauwasserfreiheit und Schimmelpilzfreiheit an Innenoberflächen von Außenbauteilen im Ganzen und in Ecken gegeben ist.“*

In Tabelle 3 der DIN 4108-2 sind für Außenbauteile ohne Wärmebrücken Mindestwerte für den Wärmedurchlasswiderstand, R, aufgeführt. Mit den dort geforderten Werten kann, unter den genannten Bedingungen (20 °C Innenlufttemperatur und 50 % Innenluftfeuchte), eine Oberflächenfeuchte von 80 %, vermieden werden.

Für Außenwände und Dächer gilt z.B.  $R > 1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ , das entspricht einem U-Wert von höchstens  $0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Für Decken gegen Außenluft (über Durchfahrten) oder auch Garagen darf der U-Wert max.  $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$  betragen.

Für alle im Beiblatt 2 der DIN 4108 aufgeführte Wärmebrücken sind hinsichtlich der Schimmelbildung keine weiteren Berechnungen vorzunehmen. Sie verursachen unter den genormten Randbedingungen keine Tauwasser- und Schimmelbildung.

Randbedingungen:

20 °C Innenlufttemperatur

50 % Innenluftfeuchte Innen

-5 °C Außenlufttemperatur

max. 80 % Luftfeuchtigkeit auf der Bauteiloberfläche

gleichmäßige Beheizung

ausreichende Belüftung

weitgehend ungehinderte Luftzirkulation an den Außenwandoberflächen

*„Für alle davon abweichenden Konstruktionen muss der Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle die Mindestanforderung  $f_{Rsi} > 0,70$  erfüllen, d.h., bei den unten (hier oben) angegebenen Randbedingungen ist eine raumseitige Oberflächentemperatur  $> 12,6 \text{ °C}$  einzuhalten. Fenster sind davon ausgenommen....“*

(Auszug aus DIN 4108-2, Abs. 6.2 - Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung)

### Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen nach DIN 4108-3

Laut Norm ist eine Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen unschädlich, wenn durch Erhöhung des Feuchtegehalts der Bau- und Dämmstoffe der Wärmeschutz und die Standsicherheit der Bauteile nicht gefährdet werden. Die Norm nennt Bauteilaufbauten (für Außenwände, nicht belüftete Dächer und belüftete Dächer), für die kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls erforderlich ist.

Für nicht genannte Bauteile ist eine **Tauwasserberechnung nach DIN 4108-4** durchzuführen. Diese Berechnung funktioniert allerdings nur für homogene Bauteilaufbauten, nicht aber für Wärmebrücken, Eckbereiche oder inhomogene Bauteilaufbauten wie bei Dächern oder beispielsweise Fachwerkwänden. Hier sind aufwendigere, dreidimensionale Berechnungen erforderlich, die üblicherweise mit PC-Programmen erstellt werden und hier nicht weiter erläutert werden können.

### Oberflächentemperatur

Zusätzlich zur Berechnung des Mindest-Wärmeschutzes und der Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen sollte die betroffene Stelle auf ihre Oberflächentemperatur hin untersucht werden.

Wenn der U-Wert eines ungestörten Außenbauteils bekannt ist, lässt sich die Oberflächentemperatur nach folgender Formel berechnen:

$$\theta_{si} = \theta_i - R_{si} \times U \times (\theta_i - \theta_e)$$

Dabei sind:

$\theta_{si}$ : Oberflächentemperatur in °C,  $\theta$ , = „Theta“

$\theta_i$ : Raumlufttemperatur in °C

$\theta_e$ : Außenlufttemperatur in °C

U: Wärmedurchgangskoeffizient in W/m<sup>2</sup>K

$R_{si}$ : Wärmeübergangswiderstand, innen in m<sup>2</sup>K/W

Mit der ermittelten Oberflächentemperatur lässt sich prüfen, ob der rechnerisch ermittelte U-Wert auch tatsächlich eingehalten wird.

Zusätzlich hilft der Vergleich zwischen berechneter und gemessener Oberflächentemperatur, das betroffenen Bauteil aus bauphysikalischer Sicht zu beurteilen.

Weicht die vor Ort ermittelte Oberflächentemperatur stark von der errechneten Oberflächentemperatur ab, so kann dies sowohl auf eine verdeckte Wärmebrücke als auch auf einen Feuchteschaden hindeuten, oder darauf, dass das Außenbauteil anders als geplant ausgeführt wurde. Allerdings sollten die Messungen an verschiedenen Stellen und bei unterschiedlichen

Klimasituationen erfolgen, da eine einmalige Messung nicht unbedingt verlässliche Rückschlüsse zulässt.

Außerdem lässt sich mit Hilfe der Oberflächentemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Innenlufttemperatur die „lokale“ Luftfeuchtigkeit am Außenbauteil ermitteln, um zu überprüfen, ob hier die kritische Oberflächen-Luftfeuchtigkeit von 80 % aktuell überschritten wird.

Ist der U-Wert des Bauteils nicht bekannt, lässt sich mit den gemessenen Temperaturwerten übrigens auch der U-Wert des Bauteils näherungsweise ermitteln indem man die gemessenen Werte in die Formel einsetzt und die Gleichung nach U auflöst. ( $U = (\theta_i - \theta_{si})/R_{si} \times (\theta_i - \theta_e)$ )

Erfüllen die betroffenen Bauteile die Forderungen des Wärmeschutzes, ist keine Wärmebrücke vorhanden und lässt sich auch sonst kein Baumangel oder -Schaden erkennen, kann mit großer Wahrscheinlichkeit von falschem Lüftungs- und/oder Heizverhalten ausgegangen werden.

## **Messmethoden zur Beurteilung von Baumängeln**

### 1. Temperaturmessung

Die Messung der Oberflächentemperatur erfolgt am schnellsten und einfachsten mit Infrarot-Thermometern. Zusätzlich lassen sich Infrarot-Kameras zur Thermografie eingesetzt, die insbesondere helfen können, verdeckte Schäden aufzudecken. Gegebenenfalls können auch Handmessgeräte mit Temperaturfühler eingesetzt werden.

### 2. Feuchtigkeit von Baustoffen

Am einfachsten ist die Messung mit Handmessgeräten zur zerstörungsfreien oder zerstörungsarmen Messung von Holz- oder Mauerwerksfeuchte. Diese Geräte sollten jedoch nur für Voruntersuchungen oder unterstützend eingesetzt werden, da die Messergebnisse nicht nur von der Feuchtigkeit, sondern auch von der Art des Baustoffes und vor allem vom Salzgehalt des untersuchten Baustoffes mitbestimmt werden. (Die Messung erfolgt über den elektrischen Widerstand, bzw. die Dielektrizitätskonstante). Materialwechsel und insbesondere eingebauten Metalle beeinflussen die Messung zusätzlich.

Verlässliche Ergebnisse erhält man nur über zerstörende Untersuchungen. Die Bestimmung des Feuchtegehalts erfolgt dabei meistens im Labor über den Gewichtsverlust bei Erhitzen. Ebenfalls verlässlich und „gerichtsfest“ ist die Messung über die sogenannte „CM-Messung“, die zum Beispiel von Parkett und Fliesenlegern angewendet wird. Eine genau definierte Material-Menge wird dabei zerkleinert mit einer Calciumcarbidpatrone in eine Druckflasche

gegeben. Mittels einer spezifischen Druckentwicklung durch die chemische Reaktion und die Anzeige über ein aufgesetztes Manometer lässt sich der angezeigte Wert über Tabellen in Materialfeuchte umrechnen. (Manche Manometer sind bereits so skaliert, dass sich die entsprechende Feuchtigkeit direkt ablesen lässt.)

### 3. Endoskopie

Endoskope können vielfach helfen die Zerstörung großer Bauteilflächen zu verhindern, da man mit Ihnen in sonst unzugängliche Hohlräume gelangt und den Zustand im Inneren des Bauteils beurteilen kann. Allerdings muss gewährleistet sein, dass die hierfür nötigen, kleinen Löcher so wieder verschlossen werden können, dass sie nicht zur zusätzlichen Schadens-Quelle werden. Z.B. dadurch, dass sie Dampfbremsen zerstören, die anschließend nicht wieder abgedichtet werden können.

### 4. Blower-Door-Test

Blower-Door-Tests können unterstützt eingesetzt werden, um feine Risse oder Fugen zu finden, die zur Abkühlung der Außenbauteile führen.

Für das Vorgehen zur Diagnose von Baumängel gibt es unter anderem vom Umweltbundesamt und von den diversen Landesgesundheits- (und ähnlichen) Ämtern hervorragende Leitfäden mit entsprechenden Checklisten.  
(Siehe Anhang)

### **6. Typische Lüftungsfehler**

Auf „richtiges“ Lüftungsverhalten wird im folgenden Vortrag genauer eingegangen, so dass hier nur kurz die wichtigsten Fehler aufgezählt werden:

Zu seltenes Lüften: insbesondere Morgens und nach dem Duschen/Baden sollte eine Stoßlüftung der benutzten Räume erfolgen.

Dauerlüftung über gekippte Fenster

Lüftung von Kellerräumen im Sommer

Die Heizung bleibt nach dem Lüften aus, oder es wird zu kurz geheizt. (Da kalte Luft viel weniger Luftfeuchtigkeit aufnehmen kann, als warme Luft, bleibt die relative Luftfeuchtigkeit hoch und die Gefahr der Schimmelpilzbildung wird nicht verringert!)

Wäscheständer in nicht beheizten, nicht belüfteten Räumen

Verzicht auf Bauaustrocknung

### **7. Diagnose von falschem Lüftungsverhalten: Messmethoden**

Die bisher dargestellten Messungen und Berechnung stellen immer nur eine Momentaufnahme dar und helfen im Wesentlichen vorhandene Baumängel und Bauschäden aufzuspüren.

Wenn auch mit ihrem Einsatz die Ursachen für eine erhöhte Feuchtigkeit nicht nachgewiesen werden können, muss das Raumklima durch langfristige Messreihen untersucht werden.

Die wichtigsten Untersuchungsgrößen sind:

- Lufffeuchtigkeit und Lufttemperatur außen, gegebenenfalls auch die der benachbarten Räume
- Raumluftfeuchtigkeit und Raumluftfeuchte
- Oberflächentemperatur der raumumschließenden Fläche

Ergänzend können weitere Kenntnisse hilfreich sein (sofern sie nicht ohnehin schon ermittelt wurden):

- Raumluftströmungen, besonders bei hohen Räumen
- Nutzungsweise des Raumes
- Feuchtequellen
- U-Wert des Bauteils
- Verlauf der Feuchtigkeit im Querschnitt des Bauteils
- Holzfeuchte
- ungewöhnliche Feuchtigkeits- oder Schimmelpilzquellen der Umgebung

### 1. Eigenkontrollmessung

Zur Eigenkontrollmessung eignen sich einfache Haarhygrometer aus dem Baumarkt und einfache Luft- und Oberflächenthermometer.

### 2. Messreihen

Wenn ein Schimmelpilzbefall noch nicht sicher festgestellt werden konnte oder wenn bei gerichtlichen Auseinandersetzungen über „richtiges“ Lüftungsverhalten gestritten wird, müssen langfristige Messreihen erstellt werden. Dies kann über Thermohygrografen oder die Installation einer raumklimatischen Messeinrichtung erfolgen. Bei beiden Verfahren werden über einen längeren Zeitraum die oben genannten Messwerte automatisch aufgezeichnet.

## Literaturverzeichnis:

1. Umweltbundesamt (Herausgeber und Redaktion), Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen, „Schimmelpilz-Leitfaden“, Berlin 2002
2. Umweltbundesamt (Herausgeber und Redaktion), Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelwachstum in Innenräumen, „Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“, Dessau 2005
3. Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (Herausgeber), Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, überarbeitete Ausgabe Stuttgart 2004
4. Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW) (Herausgeber) Baufeuchtigkeit prüfen und beheben. Verfahrenstechniken. ILS NRW Ratgeber 6, Aachen 2006
5. VWEW Energieverlag GmbH (Herausgeber) RWE Bau-Handbuch, 13. Ausgabe Frankfurt 2004

## Linkverzeichnis:

vollkommen unvollständig!

1. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)
2. [www.ils.nrw.de](http://www.ils.nrw.de): Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW)
3. [www.gesundheitsamt-bw.de](http://www.gesundheitsamt-bw.de): Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg
4. [www.umweltberatung.org](http://www.umweltberatung.org): Bundesverband für Umweltberatung e.V, Bremen
5. [www.dhbv.de](http://www.dhbv.de): Fachverband des Holz- und Bautenschutzes
6. [www.schimmelpilz.tv](http://www.schimmelpilz.tv): Bundesverband Schimmelpilzsanierung
7. [www.holzfragen.de](http://www.holzfragen.de): Sachverständigenbüro für Holzfragen
8. [www.schimmel-schimmelpilze.de](http://www.schimmel-schimmelpilze.de)