

#1940

Ac 1358

A298

# Mindestwärmeschutz oder/und Mindestluftwechsel?

Hans ERHORN und Karl GERTIS

## 1. Einleitung

Die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und den erforderlichen Luftaustausch ergeben sich aus den folgenden drei Gesichtspunkten [1]:

- a) Anforderungen,
- b) sicherheitstechnische Aspekte,
- c) Erfordernisse zur Energieeinsparung.

Die Punkte a) und b) konkurrieren praktisch nie miteinander, dagegen kann der Punkt c) in erheblichem Gegensatz zu den ersten beiden Punkten stehen. Dies gilt weniger für die Anforderung an den baulichen Wärmeschutz als vielmehr für den erforderlichen Luftaustausch. Während bei früherem niedrigem Dämmniveau Bauschäden durch Schimmelpilzbildung zwar auch vorkamen [2], treten derartige Beanstandungen in neuerer Zeit häufiger auf [3]. Besonders deutlich zeigt sich dies im modernisierten Altbaubestand. Werden nachträglich neue, relativ luftdichte Fenster eingesetzt, so sind aus Wohnungen, die vorher von dem gleichen Personenkreis schadlos bewohnt wurden, nach der Modernisierungsmaßnahme Klagen über Schimmelpilzbildungen zu hören. Von einigen Zweiflern wurde dieser Effekt voreilig dem erhöhten Wärmeschutz angelastet [4].

Die verstärkte Bildung des Schimmelpilzes ist jedoch nicht, wie bislang allgemein vermutet, bei extremen Kälteperioden, sondern in den Übergangsjahreszeiten (Herbst, Frühjahr) zu beobachten [5]. Im folgenden werden die Anforderungen an den Wärmeschutz und an den Luftaustausch aus bauphysikalischer Sicht definiert und Anhaltswerte aufgezeigt. Ferner werden Möglichkeiten diskutiert, wie den Anforderungen nach c) doch Genüge getan werden kann, ohne die Anforderungen nach a) und b) zu vernachlässigen.

## 2. Stand der Anforderungen

### 2.1 Baulicher Wärmeschutz

Ursprünglich hatte man Deutschland in drei Klimazonen (Wärmedämmgebiete) eingeteilt. In der früheren DIN 4108 [6] wurden hierfür die Wärmedurchlaßwiderstände 0,45, 0,55 und 0,65 m<sup>2</sup> · h · grd/kcal als Mindestwärmeschutz für

Außenwände festgelegt. Diese erreichte man mit verputztem Vollziegelmauerwerk folgender Steindicken [1]:

- Wärmedämmgebiet I: 1 - Stein-Wände
- Wärmedämmgebiet II: 1<sup>1/2</sup> - Stein-Wände
- Wärmedämmgebiet III: 2 - Stein-Wände

Über einige Zwischenstufen [7; 8], haben sich diese Werte des Mindestwärmeschutzes auch in die heute gültige DIN 4108 [9] hinein fortgepflanzt. Diesen Werten liegt die Überlegung zugrunde, daß bei ihrer Einhaltung unter den hiesigen Klimabedingungen Tauwasserfreiheit an den raumseitigen Oberflächen der nichttransparenten Außenbauteile, einschließlich der Ecken, gewährleistet ist, wenn der Bewohner die Innenräume in üblicher Weise als Wohn- und Aufenthaltsräume nutzt. Aus diesen Gründen der Vereinfachung sind die drei Wärmedämmgebiete in einem Wert, nämlich dem Wärmedurchlaßwiderstand 1/A = 0,55 m<sup>2</sup> · K/W bzw. dem Wärmedurchgangskoeffizienten k = 1,39 W/m<sup>2</sup> · K zusammengefaßt worden. Dies geschah zurecht, weil Deutschland kein klimatisch so heterogenes Gebiet darstellt, daß eine Auffächerung in drei Klimazonen vom Standpunkt des Wärmeschutzes her gerechtfertigt erscheint. Um Energie einzusparen sind natürlich höhere Wärmedurchlaßwiderstände bzw. niedrigere k-Werte einzuhalten, die in den für die Energieeinsparung maßgeblichen Regelwerken zwischenzeitlich auch festgelegt [10; 11] und entsprechend den Energiepreissteigerungen novelliert wurden [12; 13]. In Tabelle 1 sind noch einmal alle Anforderungen zusammengestellt.

### 2.2 Luftaustausch

Die Qualität der Raumluft in Aufenthaltsräumen ist bislang nach Pettenkofer [14] mit dem CO<sub>2</sub>-Maßstab bewertet worden. Der notwendige Luftaustausch ist in DIN 1946 [15] für zwangsbelüftete Räume mit 20 m<sup>3</sup>/h bis 40 m<sup>3</sup>/h pro Person angegeben. In DIN 18017 [16] sind Werte für innenliegende Naßräume festgeschrieben. Während der personenbezogene Wert von mindestens 20 m<sup>3</sup>/h nach DIN 1946 nur bei Anwesenheit von Personen in Räumen zugrunde zu legen ist, wird in DIN 4701 [17] allgemein von einem Mindestluftwechsel von 0,5 h<sup>-1</sup> in Aufenthaltsräumen ausgegangen. Verbindliche Vorschriften über Mindestdurchlässigkeiten von Fenster- und Türfugen existieren nicht. Dagegen gibt es in [11] bzw. [13] eine aus Energieeinsparungsgründen festgelegte Höchstgrenze der Durchlässigkeit derartiger Fugen. Dies führte bei der Entwicklung neuer Fenstersysteme zu immer besser dichten-

Dipl.-Ing. H. Erhorn ist Leiter der Abteilung Wärmetechnik im Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Institutsbereich Wärme/Klima.

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Gertis ist Ordinarius für Konstruktive Bauphysik an der Universität Stuttgart und Mitglied der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik Stuttgart und Holzkirchen.

**Tabelle 1. Zusammenstellung der Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Wänden.**

Mindestanforderung nach	Ausgabe	Wärmedämmgebiete	Wand		
			1/Λ	k	
			m <sup>2</sup> · K/W	W/m <sup>2</sup> · K	
DIN 4108	bis 8. 69	I	0,39	1,8	
		II	0,47	1,6	
		III	0,55	1,4	
Ergänzende Bestimmungen zu DIN 4108	10. 74	I	0,47	1,6	
		II			
		III	0,55	1,4	
Wärmeschutzverordnung	Nachweis-Methode 1	9. 77	wie Ergänzende Bestimmungen (10. 74)*		
	Nachweis-Methode 2		wie Ergänzende Bestimmungen (10. 74)**		
DIN 4108		8. 81	—	0,55	1,4
Wärmeschutzverordnung	Nachweis-Methode 1	2. 82	wie DIN 4108 (8. 81)*		
	Nachweis-Methode 2		wie DIN 4108 (8. 81)**		

\* ggfs. höhere Anforderungen durch k<sub>m,w+r</sub>-Nachweis  
 \*\* ggfs. höhere Anforderungen durch k<sub>m</sub>-Nachweis.

den Fenstern und zu immer geringeren Dauerlüftungsraten. Der erforderliche Luftaustausch muß hier über Stoßlüftung sichergestellt werden. Hierdurch wäre auch der Feuchtehaushalt des Raumes zu beeinflussen.

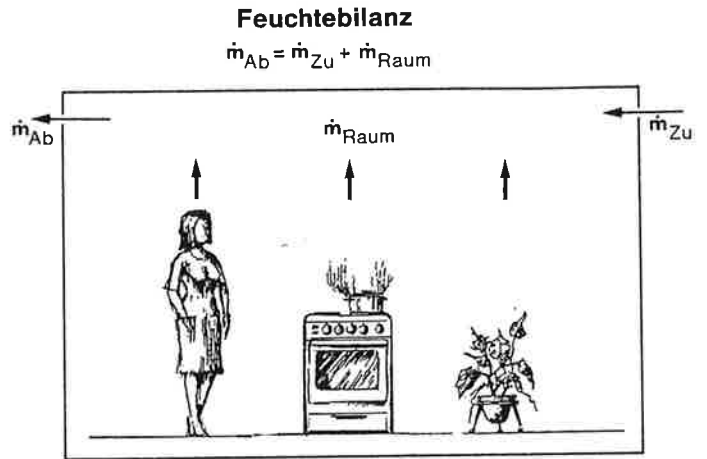
### 3. Durchgeführte Untersuchungen

#### 3.1 Feuchtebilanz

Zur Beurteilung der Tauwassergefährdung von Außenbauteilen müssen sowohl die äußeren als auch die inneren Randbedingungen bekannt sein. Die meteorologischen Größen, wie Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte, liegen aufgrund langjähriger Messungen vor und sind z.B. in DIN 4710 [18] publiziert. Die Innenlufttemperaturen entsprechen den Gewohnheiten der Nutzer. Die Raumluftfeuchte ergibt sich im stationären Zustand aus folgenden Parametern:

- Temperatur der Außenluft
- relative Feuchte der Außenluft
- Temperatur der Raumluft
- Feuchteproduktion im Raum
- Außenluftwechsel.

In *Bild 1* ist die stationäre Feuchtebilanz schematisch dargestellt. Zu der in der Außenluft befindlichen Feuchtigkeit wird der im Raum produzierte Wasserdampf - durch Menschen, Pflanzen und Wasserverdunstung - hinzugefügt. Die gesamte Feuchtigkeit wird, solange nirgends Tauwasser ausgeschieden wird, mit der Fortluft wieder ins Freie transportiert. Der Massenstrom infolge Dampfdiffusion durch



**Bild 1. Schematische Darstellung der stationären Feuchtebilanz in Räumen.**  
 Bezeichnung: Zuluftstrom :  $\dot{m}_{Zu}$   
 Abluftstrom :  $\dot{m}_{Ab}$   
 Feuchteproduktion:  $\dot{m}_{Raum}$

Bauteile ist vernachlässigbar klein und wird hier nicht berücksichtigt [19]. Die Feuchtebilanz ergibt sich dann zu

$$\dot{m}_{Ab} = \dot{m}_{Zu} + \dot{m}_{Raum} \quad [g/h] \quad (1)$$

Es bedeuten:

- $\dot{m}_{Ab}$  = mit der Fortluft abgeführter Wasserdampf [g/h]
- $\dot{m}_{Zu}$  = mit der Außenluft zugeführter Wasserdampf [g/h]
- $\dot{m}_{Raum}$  = im Raum produzierter Wasserdampf [g/h]

Der Wasserdampfstrom in der Luft läßt sich auch wie folgt über das ausgetauschte Luftvolumen und die Feuchtekonzentration ausdrücken:

$$\dot{m} = V \cdot n_L \cdot c \quad [g/h] \quad (2)$$

mit:

- V = Raumvolumen [m<sup>3</sup>]
- n<sub>L</sub> = Luftwechsel [h<sup>-1</sup>]
- c = Feuchtekonzentration der Luft [g/m<sup>3</sup>]

Die Feuchtekonzentration wiederum kann annähernd genau über die ideale Gasgleichung wie folgt ermittelt werden:

$$c = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{\varphi \cdot p_s}{R \cdot T} \quad [g/m^3] \quad (3)$$

Es bedeuten:

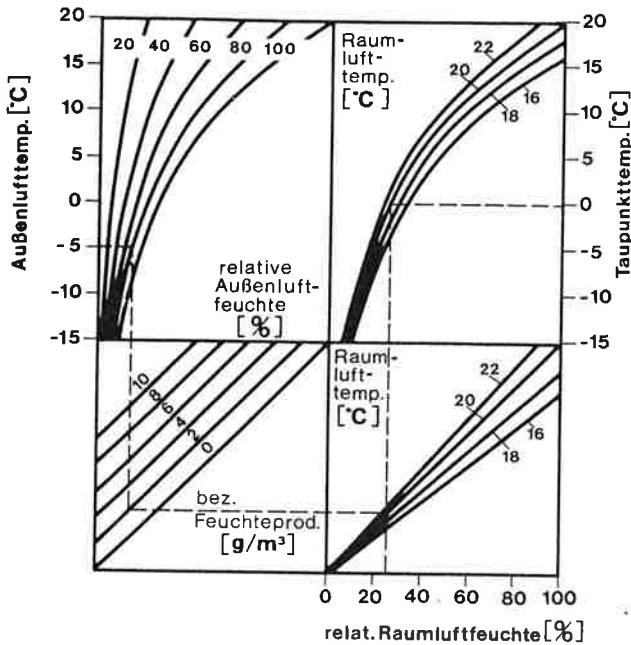
- p = Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft [Pa]
- R = Wasserdampfkonstante [0,4615 kJ/kg · K]
- T = absolute Temperatur der Luft [K]
- φ = relative Feuchtigkeit [-]
- p<sub>s</sub> = Sättigungsdampfdruck des Wasserdampfes in der Luft [Pa]

Berücksichtigt man, daß sich das Luftvolumen bei Erwärmung wie die absoluten Temperaturen ändert und setzt die Gleichung (3) in Gleichung (2) und diese wiederum in Gleichung (1) ein, so erhält man nach einigen Umformungen die relative Raumluftfeuchte zu:

$$\varphi_{Li} = \left( \frac{R \cdot T}{p_s} \right)_{Li} \cdot \left[ \frac{(\varphi \cdot p_s)_{La}}{R \cdot T_{Li}} + \Delta c \right] \quad [-] \quad (4)$$

mit der bezogenen Feuchteproduktion

$$\Delta c = \frac{\dot{m}_{Raum}}{V \cdot n_L} \quad [g/m^3]. \quad (5)$$



**Bild 2.** Nomogramm zur Ermittlung der relativen Raumluffeuchte und der Taupunkttemperatur.

**Beispiel:** Außenlufttemperatur : -5°C  
 Raumlufftemperatur : 20°C  
 relative Außenluftfeuchte : 80%  
 Feuchteproduktion im Raum: 50 g/h } spezifische  
 Raumvolumen : 50 m³ } Feuchteprod.:  
 Luftwechsel : 0,5 h<sup>-1</sup> } 2 g/m<sup>3</sup>

**Ergebnis:** relative Raumluffeuchte : ≈ 26%  
 Taupunkttemperatur : ≈ 0°C

Der Index  $L_i$  bedeutet innen (Raumluff), der Index  $L_a$  außen (Außenluft). Die relative Feuchte der Raumluff ist also abhängig von der Außen- und der Raumlufftemperatur, der relativen Feuchte der Außenluft und der bezogenen Feuchteproduktion. In *Bild 2* ist diese Abhängigkeit in einem Nomogramm dargestellt, aus dem sich leicht die relative Feuchte der Raumluff und deren Taupunkttemperatur ablesen läßt.

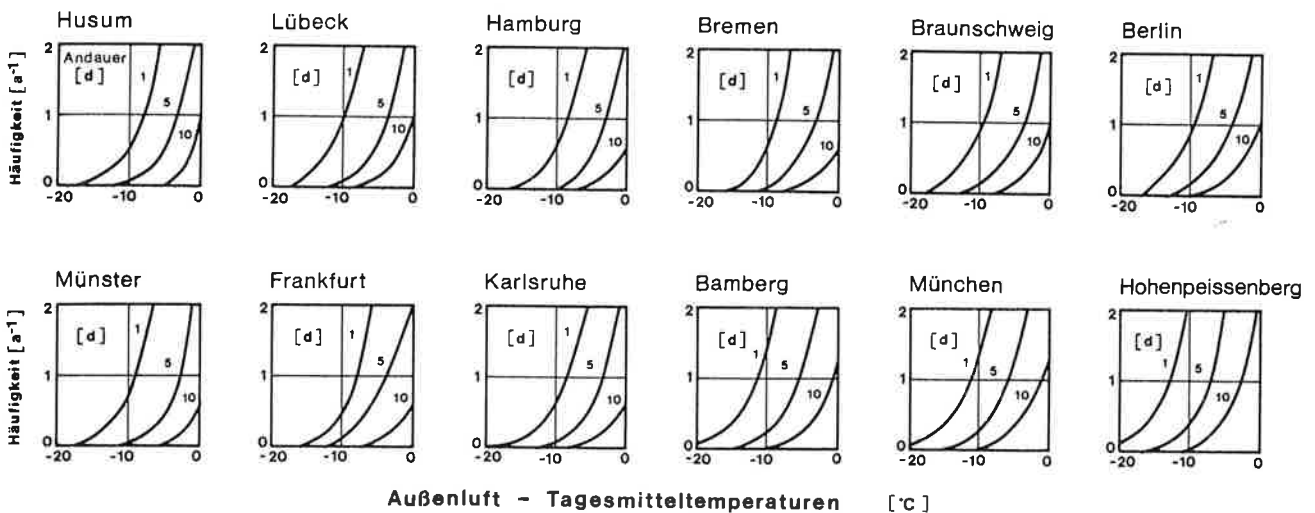
### 3.2 Praktische Randbedingungen

Bevor untersucht wird, wann unter praktischen Bedingungen mit Tauwasserbildung auf Außenbauteilen zu rechnen ist, werden im folgenden die praktisch vorkommenden Bereiche der einzelnen Randbedingungen abgesteckt.

#### 3.2.1 Außenlufttemperaturen

Bei den Untersuchungen von [5] sowie bei Messungen und Beobachtungen von [20] ergab sich, daß Schimmelpilzwachstum nur zu verzeichnen ist, wenn mindestens über eine Periode von 3 Tagen Tauwasserbildung an der Oberfläche auftritt. Ferner ist aus Untersuchungen von [21] bekannt, daß sich aufgrund der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile plötzliche Kälteperioden erst nach ca. 2 Tagen allmählich auf der Bauteilinnenseite bemerkbar machen. Daher sind Außentemperaturperioden, die eine Innenoberflächentemperatur unterhalb der Taupunkttemperatur der Raumluff verursachen, von mindestens 5 Tagen zur Ausbreitung von Schimmelpilz notwendig. Aus den aufbereiteten Messungen von [22] wurden für 12 Städte, die repräsentativ über das Gebiet der Bundesrepublik verteilt sind, Andauerhäufigkeiten für verschiedene Andauerperioden in *Bild 3* dargestellt. Es ist zu erkennen, daß der niedrigste Tagesmittelwert einer 5-Tagesperiode, die einmal jährlich auftritt, bei -5°C liegt. Eine Ausnahme bildet lediglich die exponierte Lage der Wetterstation Hohenpeissenberg. Der in DIN 4108 für die Tauwasserbildung zugrunde zu legende Rechenwert von -15°C beinhaltet somit eine relativ hohe Sicherheit. Da in den Untersuchungen von [5] und in DIN 40046 [23] vermerkt ist, daß die idealen Verhältnisse zum Wachstum von Wandschimmel erst bei relativ hohen Temperaturen (größer 12 bis 15°C) vorliegen, werden bei den Untersuchungen Außenlufttemperaturen von -15°C bis +20°C berücksichtigt.

### Andauerhäufigkeit



**Bild 3.** Jährliche Häufigkeiten unterschiedlicher Temperaturandauerperioden (1, 5, 10 Tage) in Abhängigkeit der auftretenden Tagesmitteltemperatur für verschiedene Städte in Deutschland. Es sind hierbei die Temperaturen aus einer 40jährigen Meßperiode nach [22] zugrunde gelegt.

(Fortsetzung auf Seite 71)