

MINDESTWÄRMESCHUTZ ODER/UND MINDESTLUFTWECHSEL?

von Hans Erhorn und Karl Gertis, Stuttgart*)



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 niedrigen 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].

*)

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.

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 m²·h·grad/kcal als Mindestwärmeschutz für Außenwände festgelegt. Diese erreichte man mit verputztem Vollziegelmauerwerk folgender Steindicken [1]:

Wärmedämmgebiet I:	1	- Stein - Wände
Wärmedämmgebiet II:	1 1/2	- 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 fortgeplant. 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 Gründen der Vereinfachung sind die drei Wärmedämmgebiete in einem Wert, nämlich dem Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda = 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ bzw. dem Wärmedurchgangskoeffizienten $k = 1,39 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 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_2 -Maßstab bewertet worden. Der notwendige Luftaustausch ist in DIN 1946 [15] für zwangsbelüftete Räume mit $20 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $40 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person angegeben. In DIN 18 017 [16] sind Werte für innenliegende NaBräume festgeschrieben. Während der personenbezogene Wert von mindestens $20 \text{ m}^3/\text{h}$ nach DIN 1946 nur bei Anwesenheit von Personen in Räumen zugrunde zu legen ist, wird in DIN 4701 [17] allgemein von einem Mindestluftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ 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 dichtenden Fenstern und zu immer geringeren Dauerlüftungsraten. Der erforderliche Luftaustausch müßte dann 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 die 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 [m³]
- n_L = Luftwechsel [h⁻¹]
- c = Feuchtekonzentration der Luft [g/m³]

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_s = Sättigungsdampfdruck des Wasserdampfes in der Luft [Pa]

Setzt man Gleichung (3) in Gleichung (2) und diese wiederum in Gleichung (1) ein, so erhält man nach einigen Umformungen die relative Raumluftheuchte zu:

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

mit der bezogenen Feuchteproduktion

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

Der Index Li bedeutet innen (Raumlufte), der Index La außen (Außenluft). Die relative Feuchte der Raumlufte ist also abhängig von der Außen- und der Raumlufteemperatur, 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 Raumlufte 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 die unterhalb der Taupunkttemperatur der Raumluft 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 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß der niedrigste Tagesmittelwert einer 5-Tagesperiode, die einmal jährlich auftritt, bei $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. Eine Ausnahme bildet lediglich die exponierte Lage der Wetterstation Hohenpeissenberg. Der in DIN 4108 für die Tauwasserbildung zugrunde zu legende Rechenwert von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ beinhaltet somit eine relativ hohe Sicherheit. Da in den Untersuchungen von [5] und in DIN 40 046 [23] vermerkt ist, daß die idealen Verhältnisse zum Wachstum von Wandschimmel erst bei relativ hohen Temperaturen (größer $12\text{ bis }15\text{ }^{\circ}\text{C}$) vorliegen, werden bei den Untersuchungen Außenlufttemperaturen von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ berücksichtigt.

3.2.2 Außenluftfeuchte

Die langjährigen meteorologischen Messungen bezüglich der Außenluftkonditionen sind in DIN 4710 für 13 Wetterstationen in Deutschland zusammengestellt. Dort sind die stündlichen Wertepaare für die Außenlufttemperatur und die absolute Feuchtigkeit über eine 20-jährige Meßperiode angegeben. Über eine Korrelationsanalyse mit den 569 777 Wertepaaren läßt sich der in Bild 4 angegebene Bereich und hieraus die Korrelationsgerade für mittlere deutsche Verhältnisse bestimmen. Danach ergibt sich die relative Feuchte als Funktion von der Außenlufttemperatur zu:

$$\varphi_{La} = \frac{470 - \vartheta_{La}}{6} \quad [\%] \quad (6)$$

mit:

φ_{La} = relative Feuchte der Außenluft [%]

ϑ_{La} = Außenlufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Zu ähnlichen Zusammenhängen kommt auch [24]. In einer Zusammenstellung verschiedener Messungen schwanken die relativen Feuchten im Winter zwischen 80 % und 90 % und in der Übergangsjahreszeit zwischen 70 % und 80 %. Für die durchgeführten Untersuchungen wird die Korrelationsgerade nach Gleichung (6) zugrunde gelegt.

3.2.3 Raumlufthtemperaturen

Die als durchschnittlich anzusetzenden Raumlufthtemperaturen sind in DIN 4701 festgelegt. Der hier festgelegte Rechenwert stellt jedoch nur einen Mittelwert der Nutzergewohnheiten dar. So gibt es jüngere und ältere Menschen, die Raumlufthtemperaturen bevorzugen, die über dieser Mittelwerttemperatur liegen, und andere -sogenannte Energiesparer-, die bei niedrigeren Raumlufthtemperaturen leben. Bei den Untersuchungen wurde deshalb, um das gesamte Spektrum der Nutzergewohnheiten abzudecken, der Raumlufthtemperaturenbereich zwischen 16 °C und 24 °C variiert.

3.2.4 Feuchteproduktionen im Raum

Durch die Lebensgewohnheiten der Wohnungsnutzer wird mehr oder weniger viel Wasserdampf im Raum freigesetzt. Allein der Mensch gibt je nach Aktivitätsgrad zwischen 40 g/h und 300 g/h Wasserdampf an die Raumlufth ab [25] [26]. Die häufigsten Tätigkeiten in Wohnungen sind mit einer personenbezogenen Feuchteproduktion von ca. 90 g/h verbunden. In Bädern ist nach [27] ein Feuchteanfall beim Wannenbad von ca. 700 g/h und beim Duschbad von ca. 2600 g/h zu erwarten. Während des Kochvorgangs und der hauswirtschaftlichen Nutzung ergibt sich nach [28] in Küchen eine Feuchtebelastung von 600 g/h bis 1500 g/h. Im Tagesmittel ergibt sich nach [29] eine Belastung von ca. 100 g/h. Auch Zimmerpflanzen und Aquarien tragen zur Feuchtebelastung der Räume bei. Pflanzen verdunsten praktisch das gesamte Wasser, das ihnen beim Gießen zugeführt wird; lediglich maximal 0,2 % können sie zum Wachstum umsetzen [30]. Kleine Topfpflanzen setzen z.B. zwischen 7 g/h und 15 g/h an Feuchte frei; ein mittelgroßer Gummibaum liefert 10 g/h bis 20 g/h [31]. Trotz dieser zunächst gering erscheinenden Wasserabgabe der einzelnen Zimmerpflanzen ist die summarische Wirkung nicht zu unterschätzen, zumal "naturverbundene" Bewohner mit überufernden Blumenstöcken besonders in städtischen Bereichen immer häufiger anzutreffen sind. Eine besondere Belastung an die Raumlufth stellen Trocknungs-

vorgänge in Wohnungen dar. Selbst hochtourig geschleuderte Wäsche belastet die Raumluft stündlich mit ca. 10 g bis 50 g pro kg Trockenwäsche [32]. Das Wäschetrocknen sollte daher stets in gut durchlüfteten Räumen durchgeführt werden. In Tabelle 2 sind noch einmal alle in Wohnungen üblicherweise vorkommenden Feuchteemittenden zusammengestellt.

3.2.5 Außenluftwechsel im Raum

Diese Randbedingung ist die am schwierigsten festzulegen, da sie wiederum selbst von mehreren Parametern, wie Winddruck, Fugendurchlässigkeit, thermischem Auftrieb, Inneneinbauten etc. abhängt. In [34] wurde aufgrund von Messungen nachgewiesen, daß es keine eindeutige Abhängigkeit zwischen Fugendurchlässigkeit und Luftwechsel gibt. Messungen zum Luftwechsel in bewohnten Gebäuden wurden u.a. von [35] [36], durchgeführt. Dabei wurden Luftwechselzahlen von unter $0,2 \text{ h}^{-1}$ bis hin zu mehr als $2,0 \text{ h}^{-1}$ festgestellt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch ausländische Messungen [37] [38]. Die gemessenen Werte für mittlere Verhältnisse liegen im Bereich $0,3 \text{ h}^{-1}$ bis $0,8 \text{ h}^{-1}$. Da in dieser Arbeit jedoch die Mindestanforderungen an den Luftaustausch untersucht werden sollen, sind diese Werte zunächst nicht von Bedeutung. Mit den gefundenen Ergebnissen lassen sich die praktischen Meßwerte jedoch gut vergleichen und kommentieren.

3.3 Variationsergebnisse

Mit den in Abschnitt 3.2 näher beschriebenen Randbedingungen werden Variationsrechnungen mit der in Abschnitt 3.1 abgeleiteten Feuchtebilanz, durchgeführt.

Hierbei werden variiert:

die Außenlufttemperatur:	von $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bis Raumlufttemperatur
die Außenluftfeuchte:	entsprechend der Regressionsgeraden
die Raumlufttemperatur:	von $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
die Feuchtebelastung im Raum: der Außenluftwechsel:	} als bezogene Feuchtebelastung von 2 g/m^3 bis 6 g/m^3

In Bild 5 sind in der oberen Reihe die sich aus der Variation ergebenden relativen Feuchten über der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft

für verschiedene Raumlufftemperaturen bei unterschiedlichen bezogenen Feuchtebelastungen aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß die relative Feuchte mit abnehmender Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft zunimmt. Dies liegt daran, daß zwar die relative Feuchte bei ansteigenden Außenlufttemperaturen gemäß Bild 4 gering abnimmt, die absolute Feuchte dieser Luft jedoch stark zunimmt. Je größer die bezogene Feuchteproduktion -die Feuchtebelastung im Raum- ist, umso größer wird die relative Feuchtigkeit. Dies wirkt sich stärker bei niedrigen Raumlufftemperaturen als bei hohen aus, da dort die Wasseraufnahmefähigkeit entsprechend geringer ist. Bei starker Feuchteproduktion kann dies sogar zur Taupunktunterschreitung führen.

Aussagekräftiger als die relative Feuchte ist die jeweilige Taupunkttemperatur. Die Taupunkttemperatur gibt an, bei welcher Temperatur die betrachtete Luft Wasser ausscheiden würde. Aus Gründen besserer Vergleichbarkeit wird anstelle der Taupunkttemperatur die normierte Taupunkttemperatur verwendet [1]. Sie ergibt sich, indem die Taupunkttemperatur wie folgt auf die jeweilige Außen- und Raumlufftemperatur bezogen wird:

$$\Theta_s = \frac{t_s - t_{La}}{t_{Li} - t_{La}} \quad [-] \quad (7)$$

Es bedeuten:

t_s	= Taupunkttemperatur	[°C]
t_{La}	= Außenlufttemperatur	[°C]
t_{Li}	= Raumlufftemperatur	[°C]

Im Bild 5 unten sind die sich aus den oberen Kurven ergebenden normierten Taupunkttemperaturen aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß bei kleinen Feuchtebelastungen die normierte Taupunkttemperatur mit ansteigenden Außenlufttemperaturen ständig abnimmt. Bei höheren Feuchtebelastungen ergibt sich dann der Effekt, daß die normierte Taupunkttemperatur mit ansteigenden Außenlufttemperaturen erst abnimmt und dann plötzlich stark ansteigt. Dies liegt daran, daß hier schneller die Sättigungsgrenze erreicht wird. Dieser Effekt tritt umso eher auf, je niedriger die Raumlufftemperatur ist, da dann die Wasseraufnahmefähigkeit geringer ist.

Bei Kenntnis der Taupunkttemperatur läßt sich ein Bauteil hinsichtlich der Tauwassergefahr bewerten. Solange die Innenoberflächentemperatur über der Taupunkttemperatur liegt, bleibt das Bauteil trocken. Wird sie unterschritten, fällt Tauwasser an. Im folgenden soll an einem Bauteil beispielhaft aufgezeigt werden, wie sich Innenoberflächen- und Taupunkttemperaturen bei verschiedenen Feuchtebelastungen zueinander verhalten. Hierzu wird ein Bauteil mit Mindestwärmeschutz ausgewählt. Da nach DIN 4108 eine Ecke von Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau nicht als "Wärmebrücke" anzusehen ist, muß davon ausgegangen werden, daß auch hier bei Ausführung mit Mindestwärmeschutz kein Tauwasser anfallen darf. Nach [39] gilt für eine gleichartige, homogene Ecke:

$$\frac{1}{\Lambda_{Ecke}} = 0,453 \cdot \frac{1}{\Lambda} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (8)$$

Es bedeuten:

$$\frac{1}{\Lambda_{Ecke}} = \text{äquivalenter Wärmedurchlaßwiderstand in der Ecke } [m^2 \cdot K/W]$$

$$\frac{1}{\Lambda} = \text{Wärmedurchlaßwiderstand der ungestörten Wand } [m^2 \cdot K/W]$$

Daraus ergibt sich ein äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient für die Ecke von

$$k' = 2,4 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

Dieser Wert ist als Mindestwärmeschutz im Sinne der DIN 4108 anzusehen. Die Berechnung der innenseitigen Oberflächentemperatur läßt sich nach folgender Gleichung durchführen:

$$t_{oi} = t_{Li} - \frac{k}{\alpha_i} \cdot (t_{Li} - t_{La}) \quad [^\circ C] \quad (9)$$

mit:

ϑ_{oi}	= Oberflächentemperatur an der Innenoberfläche	[°C]
ϑ_{Li}	= Raumlufttemperatur	[°C]
ϑ_{La}	= Außenlufttemperatur	[°C]
k	= Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils	[W/m ² ·K]
α_i	= innenseitiger Wärmeübergangskoeffizient	[W/m ² ·K]

Auch diese Temperatur läßt sich in analoger Weise zu Gleichung (7) normieren:

$$\textcircled{H} = \frac{\vartheta_{oi} - \vartheta_{La}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}} = 1 - \frac{R}{\alpha_i} \quad [-] \quad (10)$$

Wie aus der rechten Seite der Gleichung ersichtlich, ist diese normierte Oberflächentemperatur unabhängig von der Außen- und Raumlufttemperatur. Sie ergibt für die homogene Ecke mit Mindestwärmeschutz den konstanten Wert von:

$$\textcircled{H}_{\text{Min}} = 0,69$$

Da nach DIN 4108 bei Tauwasseruntersuchungen ein erhöhter innerer Wärmeübergangswiderstand von

$$\frac{1}{\alpha_i} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

in Ansatz zu bringen ist, verändern sich die Werte bei Tauwasseruntersuchungen zu

$$R' = 2,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\textcircled{H}_{\text{Min}} = 0,63$$

In Bild 6 ist für dieses Beispiel die innere normierte Oberflächentemperatur den normierten Taupunkttemperaturen bei verschiedenen bezogenen Feuchteproduktionen in einem Raum von 20 °C Raumlufttemperatur gegenübergestellt. Aus dem Bild ist zu erkennen, daß bei kleinen Feuchtebelastungen die Taupunkttemperatur stets kleiner ist als die Temperatur an der Innenoberfläche. Bei größeren Feuchtebelastungen jedoch tritt Tauwasserbildung auf. Dies geschieht sowohl bei niedrigen Temperaturen ($\vartheta_a \ll -15$ °C) als auch bei Temperaturen in der Übergangsjahreszeit. Während die Tauwasserbildung bei niedrigen Außenlufttemperaturen durch Anheben des Dämmniveaus (Anstieg der normierten Innen-

oberflächentemperatur) verhindert werden kann, besteht die Tauwassergefahr in der Übergangsjahreszeit selbst bei sehr gut wärmegeämmten Bauteilen. Daher ist der im Bild 6 markierte Punkt I ein Maß für den Mindestwärmeschutz. Der Punkt II jedoch stellt Anforderungen an die Feuchtebelastung, d.h. gemäß Gleichung (5) entweder an die Feuchteproduktion oder an den Luftwechsel. Da das Nutzerverhalten und die damit verbundene Feuchteproduktion kaum beeinflusst oder reglementiert werden kann, müssen die Anforderungen an den Luftwechsel näher untersucht werden. In Bild 7 sind die maximal zulässigen Feuchteproduktionen für eine Außenwanddecke mit Mindestwärmeschutz in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft für verschiedene Raumlufttemperaturen dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die maximale Feuchtebelastung mit zunehmender Außenlufttemperatur kleiner wird. Die Feuchtebelastung kann im Winter bis ca. 50 % höher sein als in der Übergangsjahreszeit. Der Mindestluftwechsel ergibt sich nach Gleichung (5) aus den Anforderungen in der Übergangsjahreszeit.

In Bild 8 ist die Gleichung (5) in Form eines Nomogrammes dargestellt. Als Parameter werden hier die Feuchteproduktionen im Raum gemäß Tabelle 2 und das Raumvolumen und die Grenzkonzentration gemäß Bild 7 aufgeführt. Als Ergebnis erhält man den erforderlichen Mindestluftwechsel. Im Nomogramm wird versucht, die zu erwartende Bandbreite aufzuzeigen. Bei kleinen Feuchtebelastungen in großen, guttemperierten Räumen, ergeben sich erforderliche Luftwechselraten von unter $0,2 \text{ h}^{-1}$. Wird dagegen in kleinen kühlen Räumen viel Feuchtigkeit produziert, steigen die erforderlichen Luftwechselraten schnell in die Größenordnung von $2,0 \text{ h}^{-1}$. Bei mittleren Wohnverhältnissen ergibt sich der dick ausgezogene Linienzug und ein erforderlicher Luftwechsel von ca. $0,8 \text{ h}^{-1}$.

4. Anhaltswerte für den Luftaustausch

Aus den Ansätzen in Abschnitt 3 ergeben sich die in Bild 9 einzuhaltenden Mindestwerte für den erforderlichen Luftaustausch in m^3/h Außenluft pro g/h produzierte Feuchtigkeit. Diese Werte gelten für die Übergangsjahreszeiten. Im Winter, d.h. bei niedrigen Außenlufttemperaturen, dürfen diese Werte bis auf $2/3$ des Mindestwertes gesenkt werden. In Tabelle 3 sind für die verschiedenen Räume einer Wohnung die zu erwartenden Feuchtebelastungen und die da-

raus resultierenden Mindestaußenluftraten zusammengefaßt. Ferner sind die als üblich anzusehenden Raumgrößen und die daraus resultierenden Luftwechsel aufgetragen. Der angegebene Mittelwert gilt für übliche mittlere Wohnverhältnisse. Hierbei wurde die als "Durchschnitt" geltende Wohngröße von ca. 75 m^2 zugrunde gelegt [40]. Von der Regelung wurde jedoch nicht der durchschnittliche 2,7-Personenhaushalt [40], sondern aus Sicherheitsbetrachtungen ein 4-Personenhaushalt nach [41] gewählt. Dieser setzt täglich ca. 14 Liter Wasser in die Raumluft frei. Ähnliche Annahmen werden in der englischen Norm für Tauwasserschutz [42] gemacht und in [43] als unterer Wert von Wohnungsbelastungen ausgewiesen. Die Aufteilung in die einzelnen Wohnbereiche erfolgte nach eigenen Abschätzungen. Demnach sollte in Wohnungen in der Übergangszeit ein mittlerer Luftwechsel von $0,8 \text{ h}^{-1}$, bzw. im Winter von $0,5 \text{ h}^{-1}$, gewährleistet sein. Dieser Wert entspricht, wie [44] bestätigt, etwa dem schwedischen Standard und zeichnet sich auch als Mittelwert im internationalen Vergleich aus [45]. Spitzenbelastungen in den Feuchträumen sollten durch kurzfristig erhöhte Lüftung mit einem Luftwechsel von ca. 8 h^{-1} bzw. 5 h^{-1} im Winter, abgefangen werden. Die personenbezogene Außenluftrate liegt, je nach Raumtemperatur, für leichte Aktivitätsgrade zwischen $15 \text{ m}^3/\text{h}$ und $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person. Damit entspricht der in DIN 1946 festgelegte Mindestwert, der sich auf die Ansätze von [14] stützt, auch der unteren Grenze der bauphysikalischen Anforderungen.

5. Ansätze bei Stoßlüftung

Die bisher gemachten Aussagen gelten für stationäre Verhältnisse. Wechselnden Feuchtebelastungen, verursacht durch unterschiedliche Feuchteanfälle oder schwankende Luftwechsel, muß man mit instationären Maßnahmen begegnen. In [46] wurde dieser Fall eingehend untersucht. Bei derartigen Vorgängen kann das Feuchteabsorptionsvermögen der Bauteiloberflächen mit in Ansatz gebracht werden, was sich "mildernd" auf den erforderlichen Luftwechsel auswirkt [47]. Allerdings müssen in Zeiten geringer Feuchteanfälle die absorbierten Feuchtemassen wieder an die Raumluft abgeführt werden. In [41] wird im Vergleich Stoßlüftung zu Dauerlüftung nachgewiesen, daß mittels zusätzlicher Stoßlüftung (6 x täglich je 10 Minuten mit 6-fachem Luftwechsel) die Dauerlüftung von $0,8 \text{ h}^{-1}$ auf $0,5 \text{ h}^{-1}$ reduziert werden kann. Ein genereller Verzicht auf

die Dauerlüftung oder Minderungen auf Werte um $0,2 \text{ h}^{-1}$ sind in der Regel jedoch auch nicht mit zusätzlicher Stoßlüftung auszugleichen [38].

6. Zusammenfassung und praktische Konsequenzen

Neben den Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz, die richtigerweise durch den Mindestwärmeschutz definiert sind, sollten auch Anforderungen an den Mindestluftaustausch erstellt werden. Bei Begrenzung der Luftwechselraten kann es trotz exzellentem Wärmeschutz zu Tauwasserbildung und damit einhergehend zu Schimmelpilzbildung an Außenbauteilen kommen. Der Mindestluftwechsel bei durchschnittlichen Nutzungsgewohnheiten liegt in dem Bereich zwischen $0,5$ bis $0,8 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert bezieht sich auf Mindestwärmeschutz nach der derzeit gültigen Norm. Bei schlechterem Wärmeschutz (Bauten vor 1969) ergeben sich geringfügig höhere Werte, bei besserem Wärmeschutz (Bauten nach 1977) etwas niedrigere Werte. Besonders hohe Feuchteemissionen in Wohnungen können sogar zu erforderlichen Luftwechseln von über $2,0 \text{ h}^{-1}$ führen. Eine Begrenzung auf reine Stoßlüftung, auch wenn sie energetisch sinnvoller ist [48], reicht nicht aus. Eine permanente Grundlüftung mit einem Luftwechsel von ca. $0,5 \text{ h}^{-1}$, verbunden mit einer Stoßlüftung, erbringt den gleichen Effekt wie eine Grundlüftung mit einem Luftwechsel von ca. $0,8 \text{ h}^{-1}$. Eine weitere Einsparung ist nur noch durch den Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen denkbar [49], die evtl. feuchtigkeitsgesteuert den erforderlichen Luftwechsel garantieren und in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnungsanlage die Lüftungswärmeverluste minimieren [50].

Der Nutzer ist dahingehend zu informieren, daß nicht im Winter, sondern in den Übergangsjahreszeiten besonders mit Tauwasserbildung zu rechnen ist, so daß in diesen Zeiten die Wohnungen besser durchlüftet werden. In den kalten Jahreszeiten können die Lüftungsraten bis auf $2/3$ des Mindestwertes reduziert werden. Der aus Energieeinsparungsgründen herrührende Begrenzung der Fugendurchlässigkeit nach "oben" muß aus sicherheitstechnischen Gründen in künftigen Normenwerken eine Begrenzung des Luftaustausches nach "unten" entgegengestellt werden. Die Festlegung von Anforderungen an den Mindestluftwechsel muß natürlich mit technischen Lösungen in der Praxis einhergehen, die den Mindestluftwechsel zu realisieren gestatten. Derartige technische Einrichtungen sind dringend erforderlich.

7. Literatur

- [1] Gertis, K. und Erhorn, H.: Neue Überlegungen zum Mindestwärmeschutz. WKS 30 (1985), Sonderausgabe S. 39-42.
- [2] Knodel, H.: Ein Wandschimmeltest zur Beurteilung der Feuchtigkeitseigenschaften von Wänden. GI 75 (1954), H. 17/18, S. 298-299.
- [3] Steinert, J.: Mängel und Schäden durch unzureichende Wohnungslüftung. Erfahrungen und Ursachen. Bericht Koll. Wohnungslüftung /-heizung in Zukunft. BM-Bau-Schriftenreihe, Bonn (1983), S. 86-101.
- [4] Aggen, K.: Moderne Isolierwandkonstruktionen verschleudern Energie. DBZ 118 (1984), H. 3, S. 359-364.
- [5] Steinert, J., Draeger, S. und Paulmann, K.: Eingrenzung der klimatischen Bedingungen für die Entstehung von Wandschimmel in Wohnräumen. GI 102 (1981), H. 2, S. 57-67.
- [6] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau. Ausgabe August 1969.
- [7] Ergänzende Bestimmung zu DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau. Ausgabe Oktober 1974.
- [8] Beiblatt zu DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau. Ausgabe November 1975.
- [9] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau. Ausgabe August 1981.
- [10] Bundesregierung: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG). Bundesgesetzblatt (1976), Teil I, H. 87, S. 1873-1875.
- [11] Bundesregierung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WsVO). Bundesgesetzblatt (1982), Teil I, H. 56, S. 1554-1565.

- [12] Bundesregierung: Erstes Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes. Bundesgesetzblatt (1980), Teil I, H. 30, S. 701-702.
- [13] Bundesregierung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz (Wärmeschutzverordnung - WsVO). Bundesgesetzblatt (1982), Teil I, H. 7, S. 209-219.
- [14] Pettenkofer, M.: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Cotta'sche Buchhandlung, München (1858).
- [15] DIN 1946: Raumluftechnische Anlagen. Ausgabe April 1960.
- [16] DIN 18 017: Lüftung von Bädern und Spülaborten ohne Außenfenster. Ausgabe August 1980.
- [17] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Ausgabe April 1982.
- [18] DIN 4710: Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs von raumluftechnischen Anlagen. Ausgabe Oktober 1981.
- [19] Künzel, H.: Die atmende Außenwand. GI 99 (1978), H. 1/2, S. 20-32.
- [20] Morgenstern, J.: Einfluß von Polyvinylacetat-Zusätzen in Putzmörtel auf die Schimmelbildung. Material und Organismen 17 (1982), H. 4, S. 241-251.
- [21] Wolfseher, U.: Rechnerische Ermittlung mehrdimensionaler Temperaturfelder unter stationären und instationären Bedingungen. Rechensystem und bauphysikalische Anwendung. Diss. Univ. Essen (1978).
- [22] Reidat, R.: Klimadaten für Bauwesen und Technik. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 9, Nr. 64, Offenbach (1960).
- [23] DIN 40 046: Umweltprüfung für die Elektrotechnik. Bl. 10: Prüfung "Schimmelwachstum". Ausgabe November 1972.

- [24] Kießl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Rechnerische Erfassung und bauphysikalische Anwendung. Diss. Univ. Essen (1983).
- [25] Fanger, P.O.: Thermal comfort. Mac Graw-Hill Book Company, New York, (1972).
- [26] Rietschel, H. und Reiß, W.: Heiz- und Klimatechnik. 15. neubearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin (1970).
- [27] Schmittlutz, R.: Sanitärzellen im Wohnungsbau. Untersuchung der Heizungs- und Lüftungsprobleme unter besonderer Berücksichtigung der wärme-physiologischen, bauphysikalischen und nutzungsbedingten Forderungen. Diss. Techn. Univ. Braunschweig (1975).
- [28] Bley, H.: Innenküchen. Untersuchungen über Feuchte- und Temperaturverhalten von fensterlosen Innenküchen. Diss. Univ. Dortmund (1983).
- [29] Schüle, W. und Lutz, H.: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in Wohnungen. GI 83 (1962), H. 8, S. 217-252.
- [30] Müntz, K.: Stoffwechsel der Pflanzen. Anlis Verlag Deubner, Köln (1976).
- [31] Ruhland, W. (Hrsg.): Handbuch der Pflanzenphysiologie. Springer-Verlag (1956).
- [32] Erhorn, H.: Wasseraufnahme üblicher Bekleidungsstücke. (unveröffentlicht).
- [33] Biasin, K. und Krumme, W.: Die Wasserverdunstung in einem Innenschwimmbad. Elektrowärme 11 (1974), H. 32, S. 85-99.
- [34] Künzel, H.: Lüftung in Wohnungen. Fenster und Fassade 9 (1982), H. 4, S. 174-179.

- [35] Hausladen, G.: Wohnungslüftung - Untersuchung der verschiedenen Lüftungsarten bzw. Lüftungspraktiken unter hygienischen, bauphysikalischen und energetischen Gesichtspunkten. Diss. TU-München (1980).
- [36] Wegner, J.: Schadstoffanfall, Luftwechsel in Wohnungen, freie Lüftung. GI 105 (1984), H. 3, S. 117-123.
- [37] Hartmann, P., Pfiffner, I. und Bargetzi, S.: Luftwechsel-Meßwerte von ausgewählten Wohnbauten in der Schweiz. KI 6 (1978), H. 3, S. 95-99.
- [38] Panzhauser, E. et alli: Die Luftwechselzahlen in österreichischen Wohnungen. Forschungsbericht F 827 des österreichischen Bundesministeriums für Bauten und Technik, Wien (1984).
- [39] Künzel, H.: Der Wärmeschutz von Ecken. GI 82 (1961), H. 10, S. 297-300.
- [40] Rouvel, L.: Wärmegewinne in Wohnungen aufgrund innerer Wärmequellen. GI 105 (1984) H. 3, S. 140-142.
- [41] Stehno, V.: Einfluß von Wärmeschutz, Wärmespeicherfähigkeit und Wohnungslüftung auf die Feuchtigkeitsbeanspruchung von Wänden und Decken. Der Aufbau 9 (1981), H. 9, S. 350-361.
- [42] BS 5250: Code of basic data for the design of buildings: The control of condensation in dwellings. Ausgabe 1975 (englische Norm).
- [43] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Merkblatt "Richtig Heizen und Lüften - Schutz vor Gesundheits- und Bauschäden". Sanitär- und Heizungstechnik 22 (1983), H. 1, S. 18.
- [44] Trümper, H.: Wärmeschutz und notwendige Raumlüftung in Wohngebäuden. In Schild, E. (Hrsg.): Aachener Bausachverständigentage 1982, Bauverlag Berlin (1982), S. 81-90.
- [45] International Energy Agency: Technical note AIC 14. A review of building airtightness and ventilation standards. Air infiltration centre, Bracknell, GB, Febr. 1984.

- [46] Stehno, V.: Praktische Berechnung der instationären Luftzustandsänderung in Aufenthaltsräumen zur Beurteilung der Feuchtigkeitsbelastung der raumbegrenzenden Bauteile. Bauphysik 4 (1982), H. 4, S. 128-134.
- [47] Künzel, H.: Die Feuchtigkeitsabsorption von Innenoberflächen. Berichte aus der Bauforschung, H. 42, Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1965).
- [48] Hauser, G.: Einfluß der Lüftungsform auf die Lüftungswärmeverluste von Gebäuden. HLH 30 (1979), Nr. 7, S. 263-266.
- [49] Gertis, K. und Erhorn, H.: Superdämmung oder Wärmerückgewinnung? Wo liegen die Grenzen des energiesparenden Wärmeschutzes? Bauphysik 3 (1981), H. 2, S. 50-56.
- [50] Erhorn, H.: Bauphysikalische Aspekte und Tendenzen beim energiesparenden Bauen. GI 103 (1982), H. 4, S. 178-186.
-

Tabelle 1

Zusammenstellung der Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Wänden

Mindestanforderung nach		Ausgabe	Wärmedämmgebiete	Wand	
				1/Δ	k
				m ² ·K/W	W/ m ² ·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 km, W + F-Nachweis

** ggfs. höhere Anforderungen durch km-Nachweis.

Tabelle 2

Feuchteabgabe in Wohnungen durch Menschen, Pflanzen, Trocknungsvorgänge sowie in Naßzellen, nach [25] bis [33]

Mensch, leichte Aktivität mittelschwere Arbeit schwere Arbeit	30 - 60 g/h 120 - 200 g/h 200 - 300 g/h
Bad	Wannenbad Duschen
	ca.700 g/h ca. 2600 g/h
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge Im Tagesmittel
	600 - 1500 g/h 100 g/h
Zimmerblumen z.B. Veilchen (Viola)	5 - 10 g/h
Topfpflanzen z.B. Farn (Comptonia asplemifolia)	7-15 g/h
Mittelgroßer Gummibaum (Ficus elastica)	10 - 20 g/h
Wasserpflanzen z.B. Seerose (Nymphaea alba)	6 - 8 g/h
Freie Wasseroberfläche	ca.40 g/m ² h
Jungbäume (2 bis 3 m) z.B. Buche (Fagus)	2 - 4 kg/h
Ausgewachsene Bäume (25 m) z.B. Fichte (Picea)	2 - 3 m ³ /h
Trocknende Wäsche (4,5 kg Trommel) geschleudert tropfnaß	50 - 200 g/h 100 - 500 g/h

Tabelle 3

Zusammenstellung der Mindestanforderungen an den Luftaustausch, bzw. die Luftwechselzahlen, in Wohnungen für verschiedenartig genutzte Räume

Raumart	üblicher Bereich oder Mittelwert	Lufttemperatur [°C]	Feuchteanfall [g/h]	Außenluft rate [m³/h]	Raumgröße [m³]	Mindestluftwechsel [h⁻¹]
Wohnräume	Bereich	20	100-300	25-70	40-80	0,3-1,8
	Mittelwert		200	45	60	0,8
Schlafräume	Bereich	16	20-100	5-30	20-40	0,1-1,5
	Mittelwert		60	20	30	0,8
Kinderzimmer	Bereich	20	90-200	20-45	20-60	0,3-2,3
	Mittelwert		150	35	40	0,8
Bad	bei Nutzung Tagesmittel	24	700-2600 50-150	135-500 10-30	20-30	4,5-25 0,3-1,5
	bei Nutzung Tagesmittel		Mittelwert	1000 100		190 20
Küche	bei Nutzung Tagesmittel	20	600-1500 20-180	150-350 5-40	20-40	3,8-18 0,1-2,0
	bei Nutzung Tagesmittel		Mittelwert	1000 100		230 25

Feuchtebilanz

$$\dot{m}_{\text{Ab}} = \dot{m}_{\text{Zu}} + \dot{m}_{\text{Raum}}$$

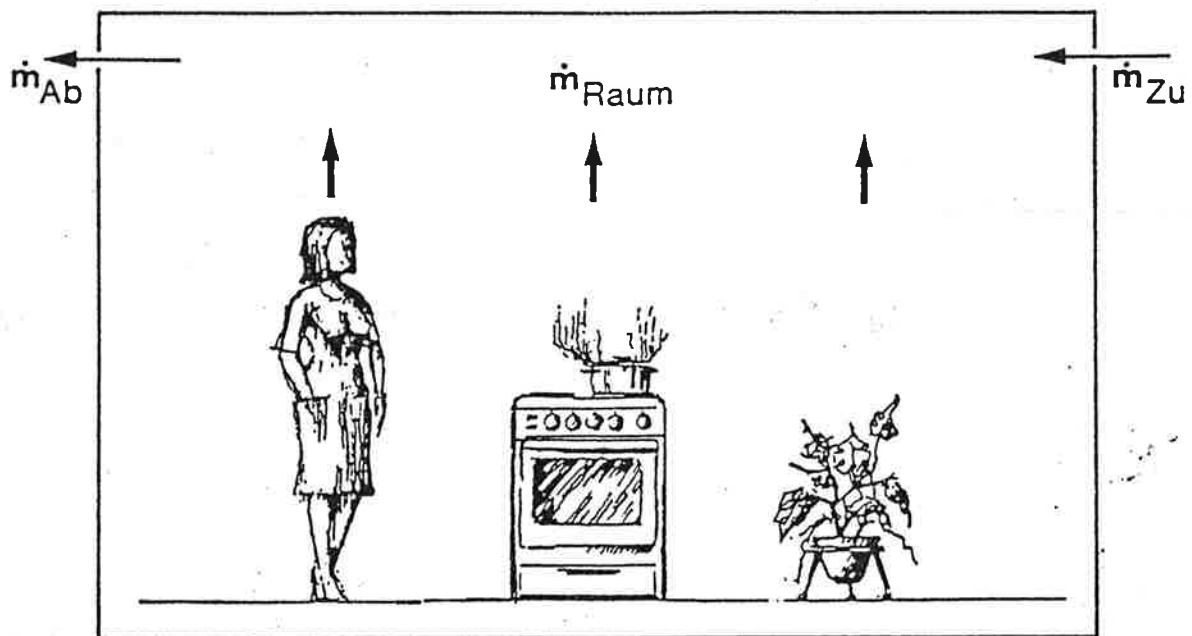


Bild 1: schematische Darstellung der stationären Feuchtebilanz in Räumen

Bezeichnung: Zuluftstrom : \dot{m}_{Zu}
Abluftstrom : \dot{m}_{Ab}
Feuchteproduktion : \dot{m}_{Raum}

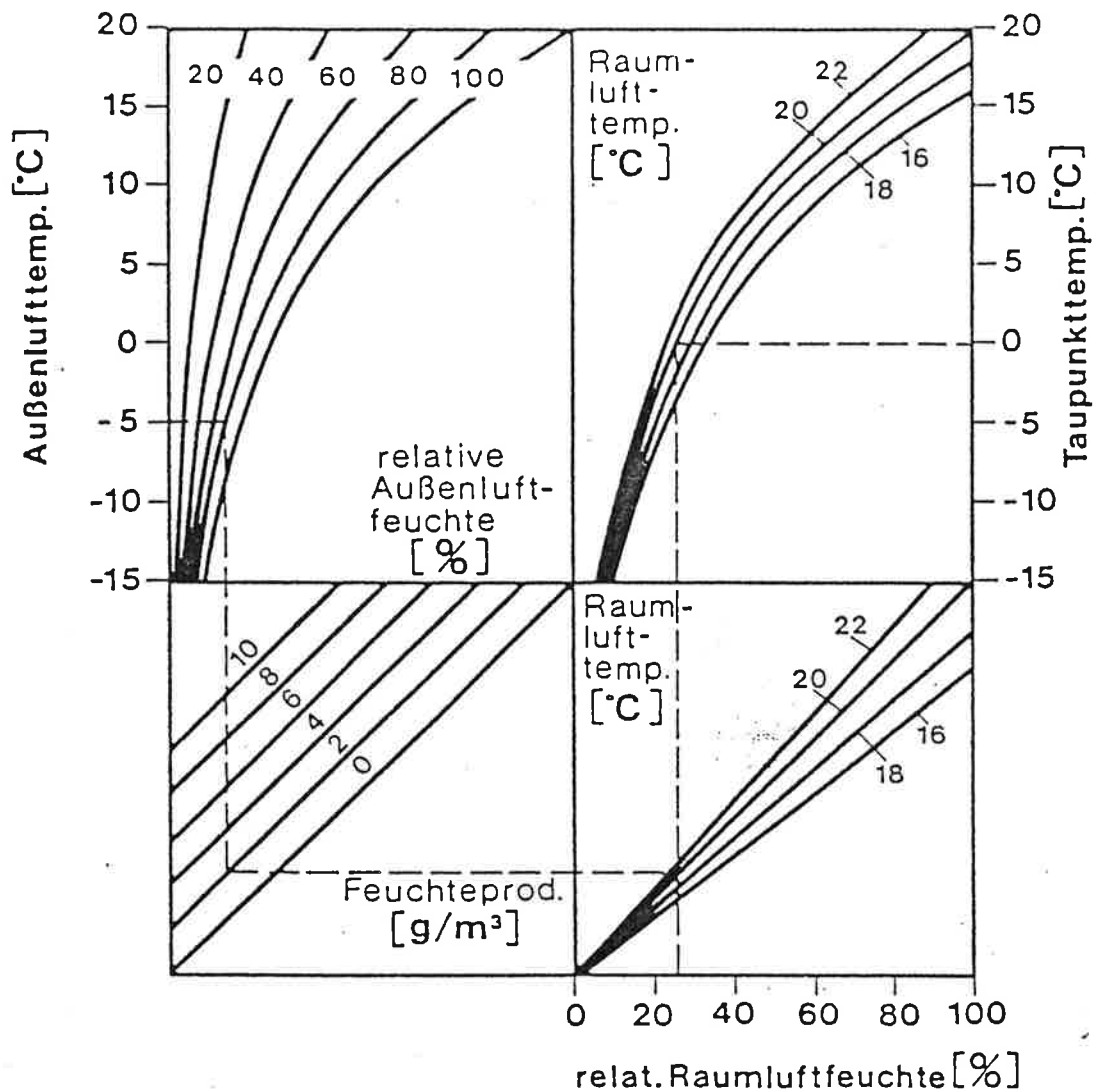


Bild 2: Nomogramm zur Ermittlung der relativen Raumlufffeuchte und der Taupunkttemperatur

Beispiel:

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

Ergebnis:

relative Raumlufffeuchte	:	≈ 26 %
Taupunkttemperatur	:	≈ 0° C

Andauerhäufigkeit

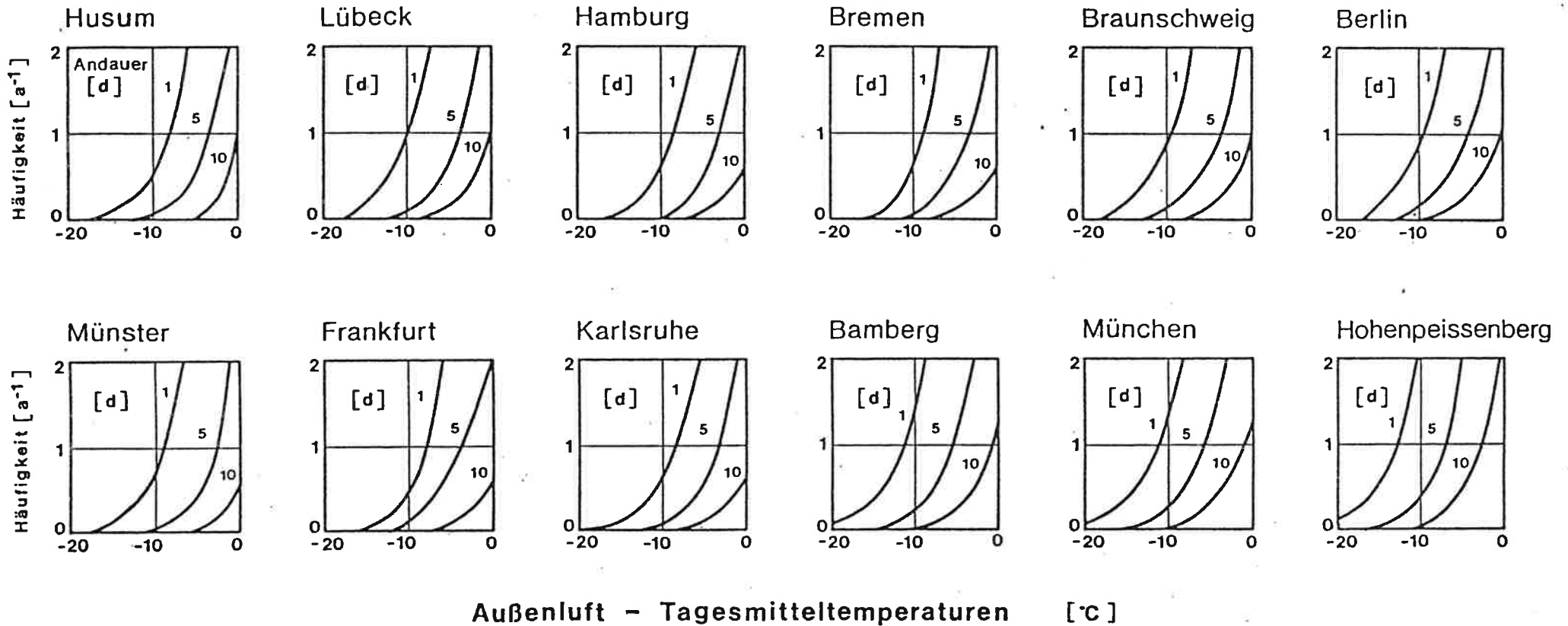


Bild 3: jährliche Häufigkeiten unterschiedlicher Temperaturandauerperioden (1,5, 10 Tage) in Abhängigkeit der auftretenden Tagesmitteltemperatur für verschiedene Städte in Deutschland. Es sind hierbei die Temperaturen aus einer 40-jährigen Meßperiode nach [22] zugrunde gelegt.

DIN 4710

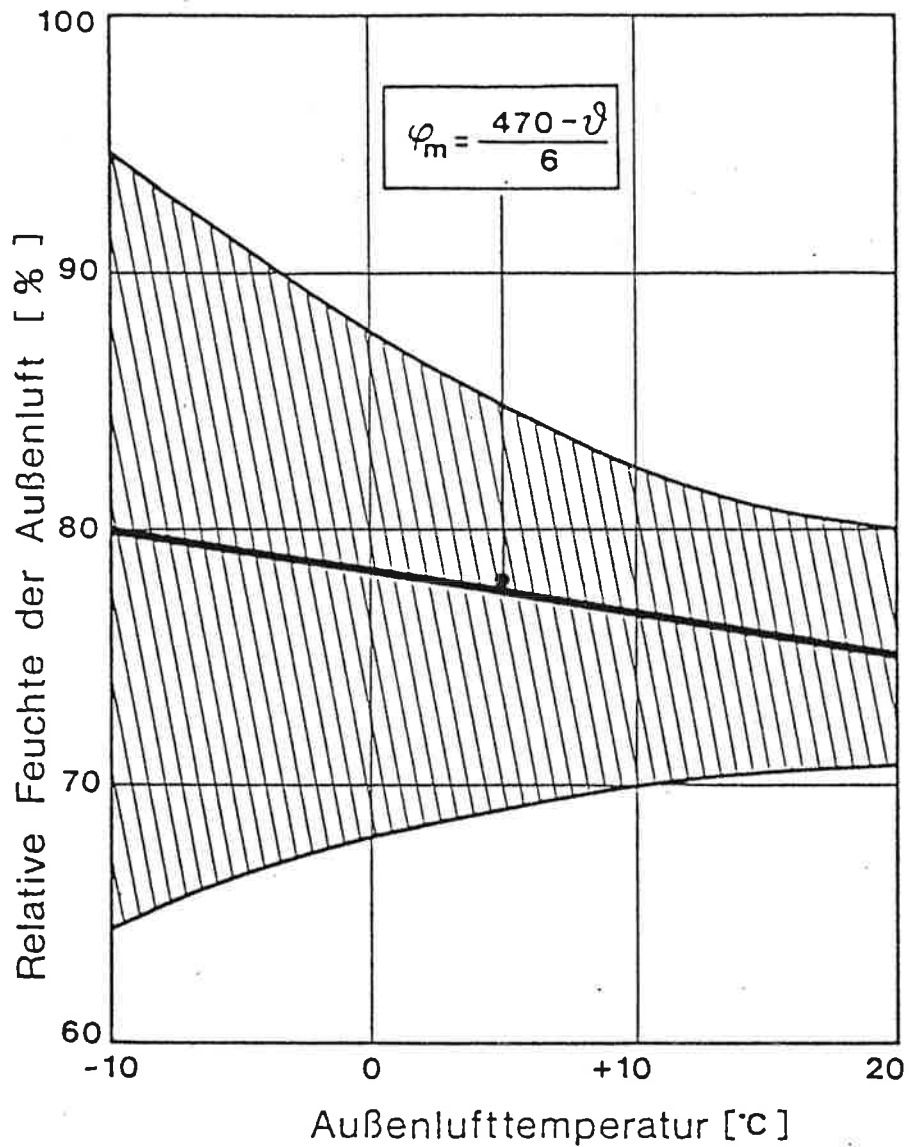


Bild 4: Korrelation der in DIN 4710 angegebenen Meßwerte von Luftfeuchtigkeit und Außenlufttemperatur für 13 Meßstationen in Deutschland.

Die Gerade ergibt sich aus der Mittelwertbildung aller Meßpunkte.

Der schraffierte Bereich verdeutlicht die Schwankungsbreite.

Feuchteproduktion

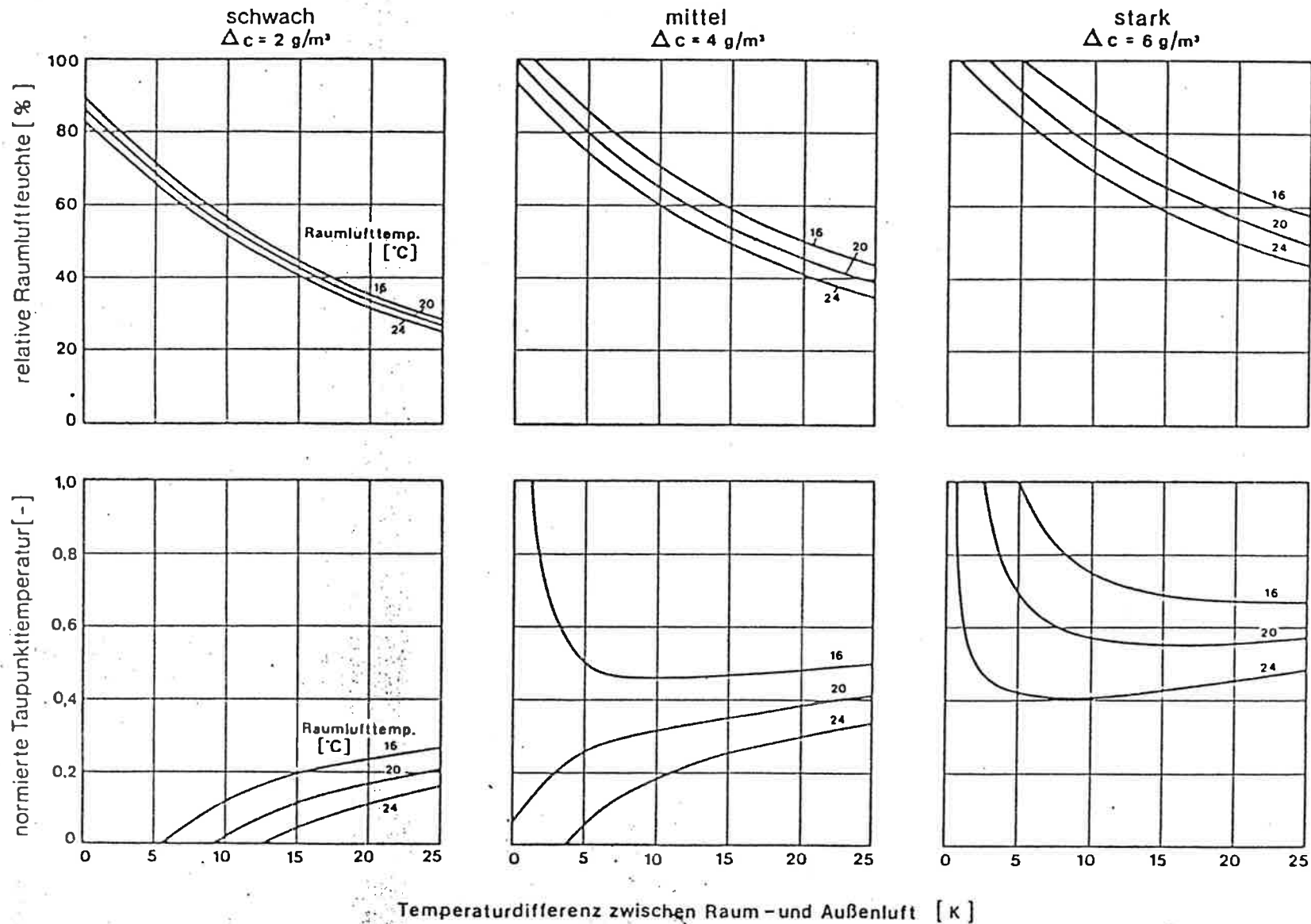


Bild 5: Darstellung des Verlaufs der relativen Raumluftheuchte und der normierten Taupunkttemperatur in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft für verschiedene spezifische Feuchteproduktionen bei unterschiedlichen Raumlufttemperaturen.

Tauwasser in Ecke

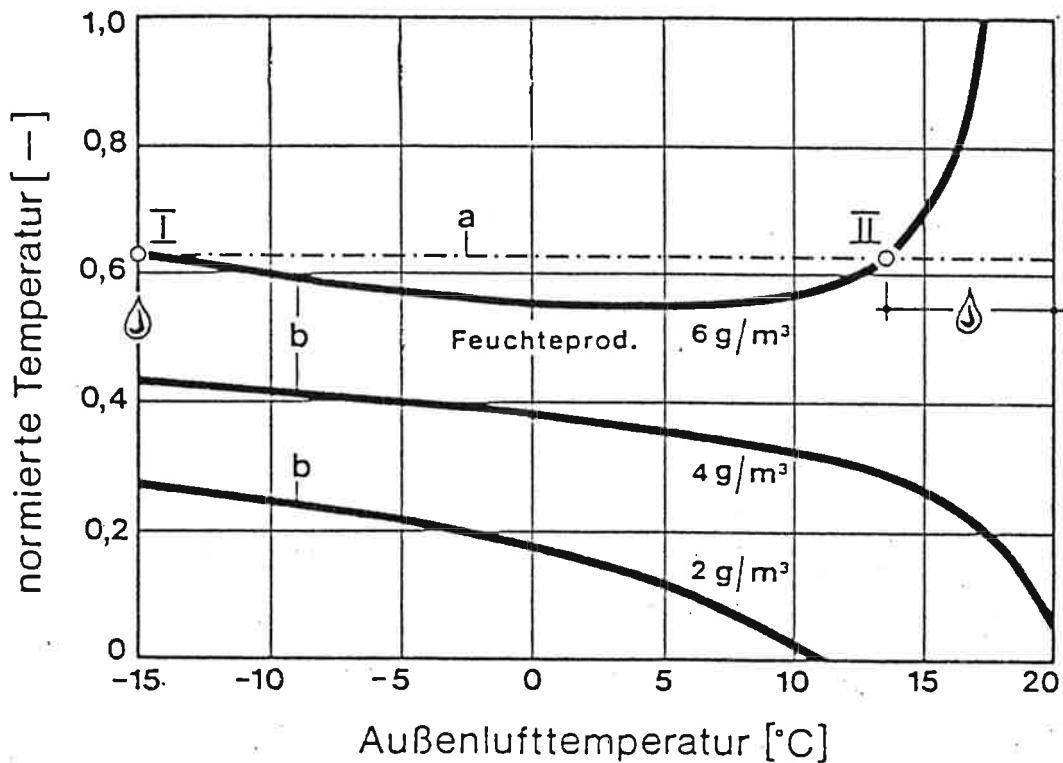


Bild 6: Gegenüberstellung der normierten Innenoberflächentemperatur einer Ecke mit Mindestwärmeschutz (a) und der normierten Taupunkttemperaturen bei verschiedenen spezifischen Feuchteproduktionen (b) für eine Raumtemperatur von 20° C bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen.

Es ist zu erkennen, daß bei einer spezifischen Feuchteproduktion von 6g/m³ Tauwasserbildung bei Temperaturen unter -15° C (Punkt I) und bei Temperaturen über +13° C (Punkt II) zu erwarten ist.

Grenzkonzentration ($\theta = 0,63$)

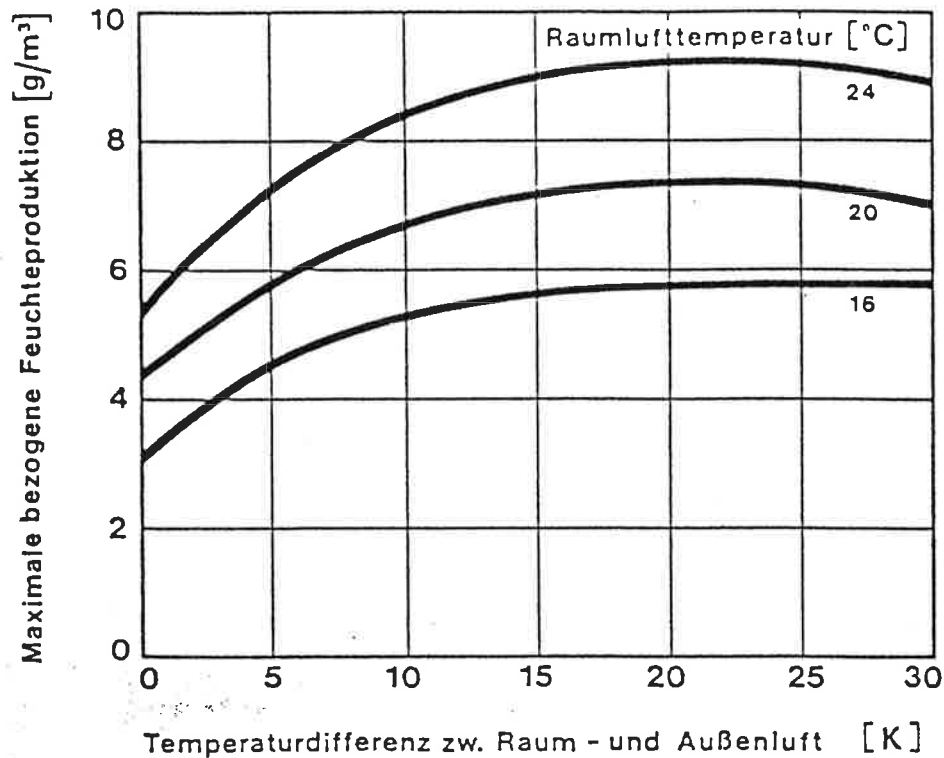


Bild 7: Darstellung der maximalen spezifischen Feuchteproduktionen (Grenzkonzentration), bei denen noch keine Tauwasserbildung auftritt, in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft bei verschiedenen Innenlufttemperaturen für eine Ecke mit Mindestwärmeschutz.

Die Grenzkonzentration nimmt mit ansteigenden Außenlufttemperaturen ab, woraus sich ein verstärkter Luftwechsel ergibt.

Mindestluftwechsel

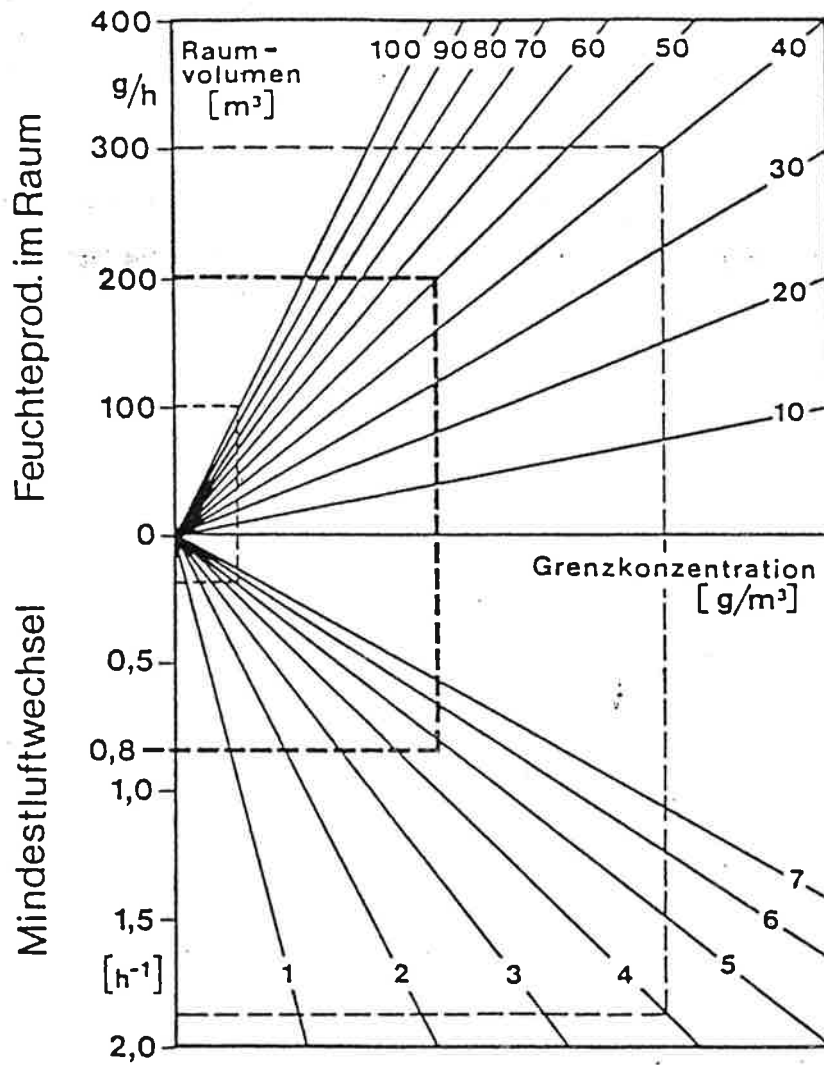


Bild 8: Nomogramm zur Ermittlung des Mindestluftwechsels bei vorgegebener Grenzkonzentration. Für mittlere Wohnverhältnisse ergibt sich der eingezeichnete Verlauf und damit ein Mindestluftwechsel von ca. $0,8 \text{ h}^{-1}$.

Mindestluftaustausch

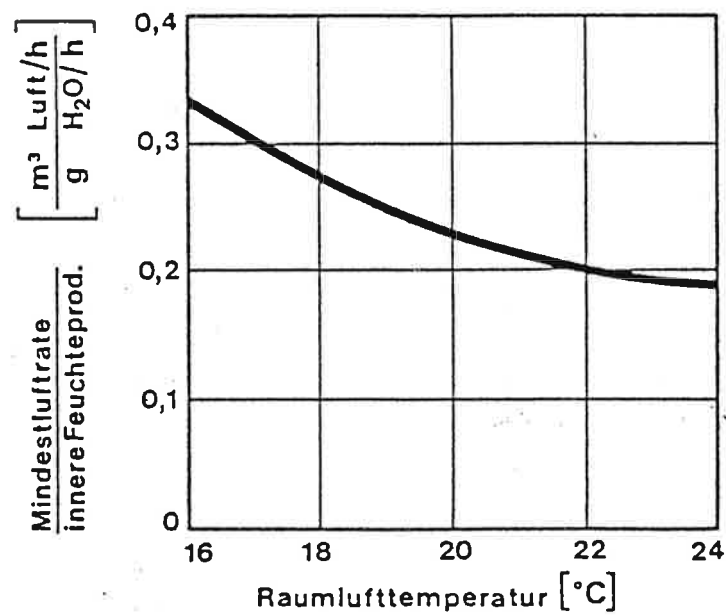


Bild 9: Mindestaußenlufttrate je produziertes Gramm Wasserdampf pro Stunde aufgrund innerer Feuchteproduktion in Abhängigkeit von der Raumlufthtemperatur.

Die angegebene Kurve gilt für die Übergangsjahreszeit. Bei niedrigen Außenlufttemperaturen können die Werte um bis auf ca. 2/3 reduziert werden.

MINIMAL VENTILATION RATE UNDER BUILDING PHYSIC ASPECTS

6. Summary and practical consequences

Besides the demands on the constructional heat transfer barrier, which are defined correctly by the minimum heat transfer barrier, there should as well be provided demands on the minimum air exchange. Restricting the air change rates it can come to a condensing water formation and with that to a mould growth at the external walls, despite an excellent heat transfer barrier. The minimum air change on average using habits is within the range of 0,5 to 0,8 h⁻¹. This value relates to the minimum heat transfer barrier according to the present effective standard. With a worse heat transfer barrier (buildings before 1969) it amounts to slightly higher values, with a better heat transfer barrier (buildings after 1977) something lower values. Very high humidity emissions in dwellings even can lead to required air changes of more than 2.0 h⁻¹. A limitation to a pure intermittent shock ventilation, even if energetically more efficient [48], is not sufficient. A permanent basic ventilation with an air change of approximately 0,5 h⁻¹, combined with an intermittent shock ventilation, produces the same effect as a basic ventilation with an air change of about 0,8 h⁻¹. An additional saving is only thinkable through the use of mechanical ventilation systems [49], which possibly humidity controlled guarantees the necessary air change and minimize the ventilation heat losses in connection with a heat recovery system [50].

The user has to be informed to the effect that not in winter but in the transitional seasons above all it has to be reckoned with condensation at the inner surface, so that the dwellings must be ventilated through better during these seasons. During the cold times of the year the ventilation rates can be reduced to 2/3 of the minimum value. The limits of the joint permeability "upwards", arising from reasons of saving energy, must - on safety technical grounds - set against a limitation of the air exchange "downwards" in future standard specifications.

The regulation of demands on the minimum air change must, of course, correspond with technical solutions in practise, which allow to realize the minimum air change. Such technical systems are essential.