

WOHNFEUCHE UND WÄRMEBRÜCKEN



Wegen der dichteren Fenster geht die natürliche Lüftung unserer Wohnbauten in letzter Zeit zurück. Dies führt zu einem Anstieg der Raumluftfeuchte und zu Tauwasserbildung an der Innenoberfläche von Außenbauteilen mit Wärmebrücken. Insbesondere Ecken und Dachkanten sind tauwasser- und schimmelpilzgefährdet. Die Untersuchungen zeigen auf, welcher Mindestluftwechsel nötig ist, um diese Feuchteschäden zu vermeiden.

o. Prof. Dr.-Ing. Karl Gertis¹⁾ und Dipl.-Ing. Hans Erhorn²⁾

Hintergründe und Problemstellung

Die Wohnfeuchte und Feuchteschäden an Wohnungen sind in der letzten Zeit ins Gerede gekommen. Tatsache ist, daß in den letzten Jahren aus Gründen der Wohnungsmodernisierung und der Energieeinsparung im Alt- und Neubaubereich Fenster in besserer Qualität eingesetzt werden, die dichter schließen als früher. Die hierdurch teilweise erreichte Reduzierung der Lüftungswärmeverluste ist prinzipiell zwar erwünscht, sie darf aber — zumindest solange der Luftwechsel nicht durch anderweitige Einrichtungen sichergestellt ist — nicht so gravierend ausfallen, daß der aus hygienischen [1] und bauphysikalischen [2] Gründen erforderliche Mindestluftwechsel unterschritten oder gar unterbunden wird. Dicht schließende Fenster, die dank einer in den letzten Jahrzehnten stark verbesserten Fenstertechnik und Fensterproduktion heute auf dem Markt angeboten werden, sind unter diesen Umständen ungünstig. Sie wären dann angebracht, wenn z.B. eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung den notwendigen Luftwechsel sicherstellte. Dies ist derzeit im üblichen Wohnungsbau (noch!) nicht der Fall. Deshalb müssen dicht schließende Fenster für den Wohnungsbestand zur Zeit noch abgelehnt werden.

Wenn der Luftaustausch zwischen der Raumluft und Außenluft reduziert wird, steigt die Feuchte der Raumluft an, weil der von den Feuchteemittenten produzierte Wasserdampf nur noch in geringem Maße aus der Wohnung abgeführt wird. Eine Feuchteproduktion in den Wohnungen ist normal und immer schon üblich gewesen. Die Feuchte rührt z.B. von der Physiologie der Insassen her, von Pflanzen und Aquarien bzw. von typischen Wohnabläufen (Kochen, Waschen, Trocknen usw.).

Die Feuchteabgabe der Menschen durch Atmung, Schweißsekretion sowie in geringem Maße durch Diffusion steht in direktem Zusammenhang mit seinem Gesamtenergieumsatz. Als Richtwerte der Feuchteabgabe von Personen in Wohnungen können nach [3; 4] für den Ruhezustand etwa 40 g/h und

für anstrengendere häusliche Tätigkeiten, die mit Schweißproduktion verbunden sind, etwa 175 g/h angenommen werden. Die häufigsten Tätigkeiten in Wohnungen sind mit einer personenspezifischen Feuchteproduktion von etwa 90 g/h verbunden. In den Sanitärräumen ist nach [5] ein Feuchteanfall beim Wannbad von etwa 700 g/h und beim Duschbad von etwa 2600 g/h zu erwarten. In Küchen ergibt sich während des Kochvorganges und der hauswirtschaftlichen Nutzung nach [6] eine Feuchtebelastung zwischen 600 und 1500 g/h. Auch Zimmerpflanzen tragen zur Feuchtebelastung der Räume bei, in denen sie stehen. Pflanzen verdunsten praktisch das gesamte Wasser, das ihnen beim Blumengießen zugeführt wird. Z.B. setzten kleinere Topfpflanzen zwischen 7 und 15 g/h an Feuchte frei; ein mittelgroßer Gummibaum liefert 10 bis 20 g/h. Trotz dieser zunächst gering erscheinenden Wasserabgabe der einzelnen Zimmerpflanze ist die summarische Wirkung nicht zu unterschätzen.

Die Feuchteabfuhr aus dem Inneren der Räume hat via Lüftung zu erfolgen! Feuchte in der Raumluft ist zunächst nicht nachteilig oder schädlich. Sie wird es erst dann, wenn aufgrund zu hoher Wasserdampfkonzentration ein Teil der in der Luft gebundenen Feuchte auf Gegenständen im Raum oder an der Innenoberfläche der Raumumschließungsflächen ausfällt. Ein derartiger Feuchteniederschlag setzt zuerst an denjenigen Stellen an, die eine niedrige Oberflächentemperatur besitzen. Das sind primär die sogenannten Wärmebrücken, an denen insbesondere im Winter und in der Übergangszeit Tauwasserbildung auftritt. Aufgrund des Tauwassers setzen Durchfeuchtungen ein, die bei längerer Feuchteeinwirkung zu Flecken und Schimmelpilz führen. Über derartige Schäden wird zur Zeit häufig und heftig geklagt (vgl. [7]), wobei Ecken in Außenwänden oder entlang von Dach- und Kellerdeckenanschlüssen besonders kritisch sind. Mit der Feuchtebildung und der Wärmebrückenwirkung in solchen Fällen befaßt sich die vorliegende Untersuchung.

Zugrundegelegte Baukonstruktion

Untersucht wurden Ecken in Außenwänden (zweidimensionale Ecken) und Ecken entlang der Dachkante (dreidimensionale Ecken), wobei verschiedene Dämm-Niveaus zugrundegelegt worden sind, nämlich:

- Niveau im Altbau, Stand um 1950, etwa identisch mit dem Stand 1973 vor der Energiekrise
- Niveau im Gebäudebestand, der nach 1974 erstellt wurde
- Niveau entsprechend dem derzeitigen durchschnittlichen Wärmeschutz, Stand 1980
- Zukünftiges Wärmeschutz-Niveau, Stand Ende der 80er Jahre.

In der jeweiligen Zeit waren durch technische Regelwerke verschiedene wärmeschutztechnische Mindestanforderungen an Wände und Dächer festgelegt. Diese Mindestanforderungen sind in *Tabelle 1* zusammengestellt. Bei den Wänden ist in der Ausgabe 1969 von DIN 4108 und in den ergänzenden Bestimmungen von 1974 noch nach drei Wärmedämmgebieten unterschieden worden. Diese Unterscheidung fiel später weg. In der vor 1969 gültigen Norm, die in *Tabelle 1* nicht aufgeführt ist, waren die gleichen Werte festgelegt. *Tabelle 2* enthält An-

¹⁾ Dr.-Ing. habil. K. Gertis war bis Oktober 1984 ordentlicher Professor für Bauphysik und Baustofflehre der Universität Essen. Ab diesem Zeitpunkt ist er Ordinarius für Konstruktive Bauphysik der Universität Stuttgart und Mitglied der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik.

²⁾ Dipl.-Ing. H. Erhorn war Wissenschaftlicher Assistent im Fachgebiet Bauphysik der Universität Essen und ist als Abteilungsleiter in das Fraunhofer-Institut für Bauphysik übergewechselt. Die vorliegende Arbeit entstand im Zeitraum von August 1984 bis Januar 1985.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Wänden und Dächern in der Zeit von 1969 bis 1984

| Mindestanforderung nach | Ausgabe | Wärmedämm- systeme | Wand | | Dach | |
|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | 1/A | k | 1/A | k |
| | | | m ² ·K/W | m ² ·K/W | m ² ·K/W | m ² ·K/W |
| ÖIN 4108 | 8.69 | I | 0,39 | 1,3 | 1,1 | 0,8 |
| | | II | 0,47 | 1,6 | | |
| | | III | 0,55 | 1,4 | | |
| Ergänzende Bestimmungen zu ÖIN 4108 | 10.74 | I | 0,47 | 1,6 | 1,1 | 0,7 |
| | | II | | | | |
| | | III | 0,55 | 1,4 | | |
| Wärmeschutz- verordnung | 9.77 | wie Ergänzende Bestimmungen (10.74)** | | 2,0 | 0,45 | |
| | | wie Ergänzende Bestimmungen (10.74)* | | | | |
| ÖIN 4108 | 8.81 | | 0,55 | 1,4 | 1,1 | 0,8 |
| Wärmeschutz- verordnung | 2.82 | wie ÖIN 4108 (8.81)** | | 3,2 | 0,3 | |
| | | wie ÖIN 4108 (8.81)* | | | | |

* ggfs. höhere Anforderung durch km-W+F-Nachweis
 ** ggfs. höhere Anforderung durch km-Nachweis.

- A) Stand vor der Energiekrise; $k = 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- B) Stand nach der Energiekrise; $k = 1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- C) Heutiger Mindestwärmeschutz; $k = 1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- D, E) Derzeitiger Durchschnitt bei monolithischer und außengedämmter Bauweise; $k = 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- F) Zukünftiges Dämm-Niveau; $k = 0,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Aus den Wandkonstruktionen A) bis F) werden jeweils zweidimensionale Ecken gebildet. Zusätzlich wird die in Bild 1

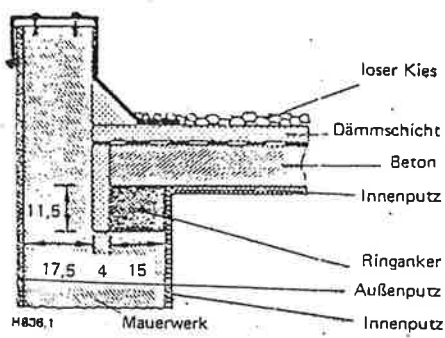


Bild 1: Baukonstruktive Ausführung der dreidimensionalen Ecke (Attikabereich)

| | |
|--|--|
| Deckenaufbau ($k = 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) | Wandaufbau (Fall C gemäß Tabelle 2) |
| 3 cm Kies $\lambda = 0,7 \text{ W/m K}$ | 2 cm Außenputz $\lambda = 0,87 \text{ W/m K}$ |
| 4 cm Dämmung $\lambda = 0,04 \text{ W/m K}$ | 36,5 cm Mauerwerk $\lambda = 0,72 \text{ W/m K}$ |
| 12 cm Beton $\lambda = 2,1 \text{ W/m K}$ | 1,5 cm Innenputz $\lambda = 0,7 \text{ W/m K}$ |
| 1,5 cm Innenputz $\lambda = 0,7 \text{ W/m K}$ | |

Tabelle 2: Zusammenstellung der untersuchten Wandkonstruktionen nach Wandaufbau und Stoffwerte der einzelnen Wandschichten

| Fall | Ausführung nach | Skizze | Wandaufbau | Dicke [cm] | wärmeleitf. [$\text{W/m}\cdot\text{K}$] | 1/A [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$] | k [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$] |
|------|---|--------|------------------------|------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| A | ÖIN 4108 Stand 8.69 (monolithisch) | | Außenputz | 2,0 | 0,37 | 0,02 | 1,8 |
| | | | Mauerwerk | 24,0 | 0,59 | 0,35 | |
| | | | Innenputz | 1,5 | 0,7 | 0,02 | |
| | | | gesamte Wand | 27,5 | - | 0,39 | |
| B | Stand unmit- telbar nach der Energie- krise (1974) (monolithisch) | | Außenputz | 2,0 | 0,47 | 0,02 | 1,8 |
| | | | Mauerwerk | 24,0 | 0,59 | 0,35 | |
| | | | Innenputz | 1,5 | 0,7 | 0,02 | |
| | | | gesamte Wand | 40,0 | - | 0,45 | |
| C | ÖIN 4108 Stand 8.81 (monolithisch) | | Außenputz | 2,0 | 0,87 | 0,02 | 1,4 |
| | | | Mauerwerk | 36,5 | 0,72 | 0,51 | |
| | | | Innenputz | 1,5 | 0,7 | 0,02 | |
| | | | gesamte Wand | 40,0 | - | 0,55 | |
| D | heute üblich monolithisch | | Außenputz | 2,0 | 0,87 | 0,02 | 1,5 |
| | | | Mauerwerk | 35,5 | 0,25 | 1,46 | |
| | | | Innenputz | 1,5 | 0,7 | 0,02 | |
| | | | gesamte Wand | 40,0 | - | 1,5 | |
| E | heute üblich außengedämmt | | Wärmedämmverbundsystem | 5,4 | 0,04 | 1,35 | 0,5 |
| | | | Sichtbeton | 34,6 | 2,1 | 0,15 | |
| | | | gesamte Wand | 40,0 | - | 1,5 | |
| | | | | | | | |
| F | zukünftig (außengedämmt) | | Außenputz | 2,0 | 0,37 | 0,02 | 0,3 |
| | | | Dämmung | 12,0 | 0,04 | 3,0 | |
| | | | Mauerwerk | 24,0 | 1,0 | 0,24 | |
| | | | Innenputz | 1,5 | 0,7 | 0,02 | |

dargestellte dreidimensionale Ecke (Attikaanschluß) untersucht. Das Flachdach besitzt hierbei einen k -Wert von $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Die Wand stellt eine Mauerwerkskonstruktion gemäß Fall C) in Tabelle 2 dar mit $k = 1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Zugrundegelegte Randbedingungen

Bei der Beurteilung von Wärmebrücken spielen Temperaturverhältnisse in der Außen- und Innenluft, die an die betrachteten Bauteile angrenzen, eine Rolle sowie jene Raumluftfeuchte, die sich abhängig vom Luftaustausch und von der Feuchteproduktion im Wohnungsinneren einstellt.

Temperaturverhältnisse

Die Raumlufttemperatur bewegt sich in üblicherweise beheizten Wohnungen zwischen 20 und $22 \text{ }^\circ\text{C}$. In niedriger beheizten Räumen, z.B. Schlafzimmern oder Wohnräumen, in denen die Beheizung aus Gründen der Energieeinsparung gedrosselt wird, liegen meist Raumlufttemperaturen zwischen 14 und $20 \text{ }^\circ\text{C}$ vor.

Die Außenlufttemperaturen schwanken entsprechend den klimatologischen Randbedingungen am Standort in relativ weiten Bereichen. Kurzzeitige Schwankungen mit Stunden-Frequenzen interessieren im vorliegenden Falle nicht, weil sich derartig kurzfristige Schwankungen wegen der Wärmeträgheit der Baukonstruktionen praktisch nicht bis an die Innenoberfläche der Bauteile ausbreiten. Damit eine Außenlufttemperatur an der Bauteilinnenoberfläche möglichst spürbar wird, muß sie etwa 3 Tage lang annähernd stationär vorhanden sein. In Bild 2 ist deshalb für verschiedene deutsche Städte die Anzahl jener Tage pro Jahr wiedergegeben, an denen eine bestimmte Außenlufttemperatur $\vartheta_{a,3}$ 3 Tage lang unterschritten wird. Geht man z.B. von $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ aus, so wird ersichtlich, daß dieser Wert in München für eine 3-Tages-Persistenz nur 3mal pro Jahr unterschritten wird; in Frankfurt würde dies nur 1mal im Jahr passieren. Man kann davon ausgehen, daß sämtliche höheren Außenlufttemperaturen, die unterhalb der Heizgrenztemperatur liegen, die Persistenzbedingungen erfüllen. Wegen der exzellenten Aufbereitung von schweizerischen Wetterdaten exi-

gaben über den Wandaufbau und die Stoffwerte jener Wandkonstruktionen, welche für die vorliegende, repräsentative Untersuchung ausgewählt worden sind. Danach besitzen die Wände der jeweiligen Epoche exemplarisch folgende Wärmedurchgangskoeffizienten:

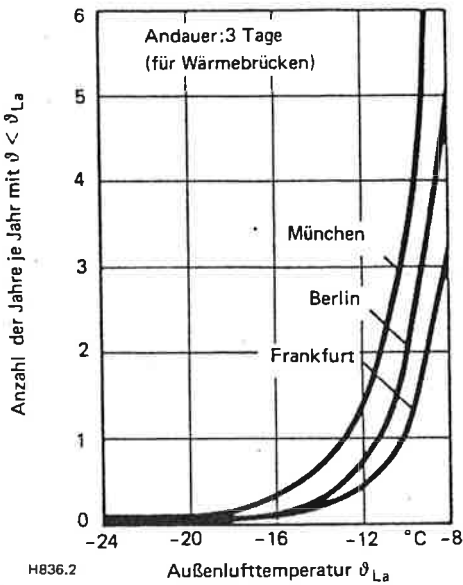


Bild 2: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen eine bestimmte Außenlufttemperatur ϑ_{La} drei Tage lang unterschritten wird, für verschiedene Städte, nach [8]

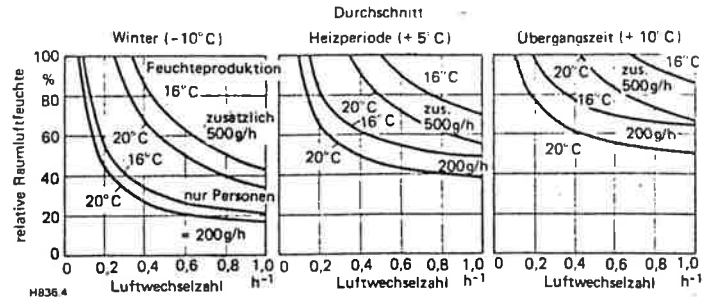


Bild 4: Relative Raumluftfeuchte, die sich bei verschiedener starker Lüftung in Wohnungen mit unterschiedlicher Feuchteproduktion und Behelzung einstellt

Zugrundegelegte Daten:
 Wohnangaben (entsprechend durchschnittlichen Verhältnissen)
 Wohnfläche: 68 m²
 Personenzahl: 2,5
 Aktivität: Durchschnittliche körperliche Aktivität
 Außenluftfeuchte: 80%
 Außenlufttemperaturen: -10°C im Winter, 5°C als Heizsaisonschnitt; 10°C in der Übergangszeit

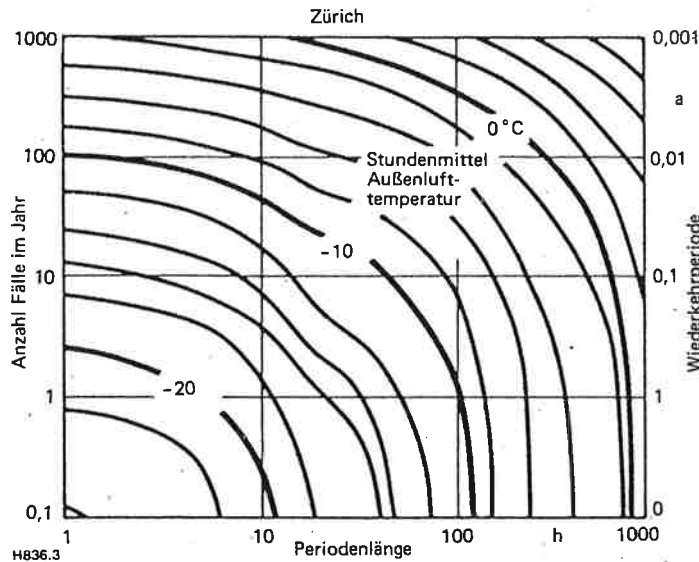


Bild 3: Anzahl der Fälle im Jahr, in denen ein bestimmtes Stundenmittel der Außenlufttemperatur über eine bestimmte Periodenlänge auftritt (Wiederkehrwahrscheinlichkeit) Züricher Verhältnisse nach [9]

stieren für Städte der Schweiz exakte Persistenzkurven (vgl. Bild 3). Man kann aus diesen Kurven für jede Periodenlänge und Außenlufttemperatur die Anzahl des Auftretens bestimmter Fälle unmittelbar ablesen.

Bei derart starken Unterschieden in den äußeren und inneren Lufttemperaturen würde man zunächst Wärmebrückenrechnungen für eine Vielzahl von Temperatur-Randbedingungen erwarten. Glücklicherweise ist dies nicht nötig, weil sich die Temperaturen an der Innenoberfläche von Wärmebrücken für alle Temperaturen in einer allgemeingültigen Oberflächentemperatur Θ darstellen lassen, die einheitenlos und, wie folgt, definiert ist:

$$\Theta = \frac{\vartheta_{O_i} - \vartheta_{L_a}}{\vartheta_{L_i} - \vartheta_{L_a}}$$

mit

- ϑ_{O_i} Temperatur der inneren Oberfläche an der Wärmebrückenstelle
- ϑ_{L_a} Temperatur der Außenluft
- ϑ_{L_i} Temperatur der Innenluft.

Die einheitenlose Temperatur Θ wurde in Verbindung mit Wärmebrückenrechnungen erstmals in [10] eingesetzt. Der

allgemeine Beweis, daß sie für beliebige zwei- und dreidimensionale Wärmebrücken zulässig ist, wurde kurze Zeit später in [11] erbracht. Die Θ -Darstellung erleichtert die Beschreibung von Wärmebrückenwirkungen sehr. Aus der Θ -Kurve für eine Wärmebrücke kann man für beliebige Raumlufttemperaturen ϑ_{L_i} und ϑ_{L_a} die innerseitige Oberflächentemperatur sofort entnehmen (vgl. das spätere Bild 5).

Feuchteverhältnisse

Die Luftfeuchte in Wohnungen hängt vom Luftaustausch und von der Intensität der Feuchteemittenten ab. Bild 4 veranschaulicht für eine durchschnittliche Mietwohnung [12], welche Raumluftfeuchte sich bei vollständiger Durchmischung abhängig von der rauminternen Feuchteproduktion einstellt. Die Luftwechselzahl wurde hierbei zwischen 0 und 1 h⁻¹ variiert, die Feuchteproduktion zwischen 200 und 700 g/h. Während des Tagesverlaufes sind nach den Ausführungen im Abschnitt „Hintergründe und Problemstellung“ für die personenabhängige durchschnittliche Feuchteproduktion mindestens 200 g/h anzusetzen, bei höherer Aktivität der Bewohner erfolgt ein verstärkter Wasserdampfanfall. Der obere Wert von zusätzlich 500 g/h schließt die Wasserverdunstung von Topfpflanzen bzw. Wäschetrocknung und eine über den Tag gemittelte Dampfungwicklung beim Kochen, Duschen und Baden ein.

Die Kurven in Bild 4 basieren auf folgenden Zusammenhängen:

$$\varphi_{L_i} = \frac{p_g}{p_{s,L_i}} \left(1 + \frac{0,622 \varrho_{L_i}}{F/V n + \varrho_{L_a} \chi_{L_a}} \right)^{-1}$$

$$\chi_{L_a} = 0,622 \frac{\varphi_{L_a} p_{s,L_a}}{p_g - \varphi_{L_a} p_{s,L_a}}$$

$$\varrho = \frac{1}{273 + \vartheta} \left[\frac{p_g}{287} - 3,26 \cdot 10^{-3} \varphi p_s \right],$$

mit

- φ_{L_i} Relative Feuchte der Innenluft
- φ_{L_a} Relative Feuchte der Außenluft
- χ_{L_a} Absolute Feuchte der Außenluft in g/kg Luft
- ϱ_{L_i} Dichte der Innenluft (trocken)
- ϱ_{L_a} Dichte der Außenluft (trocken) } in kg/m³
- p_{s,L_i} Sättigungsdampfdruck der Innenluft
- p_{s,L_a} Sättigungsdampfdruck der Außenluft } in Pa, nach [10]

p_g Barometer Pa, in der Regel 10^5 Pa
 F Feuchteproduktion in g/h
 V Raumvolumen in m^3
 n Luftwechselzahl in h^{-1}
 ϑ Lufttemperatur in $^{\circ}C$.

Man erkennt aus *Bild 4*, daß die Raumlufftfeuchte in der Übergangszeit höher ist als im Winter. Man ersieht ferner, wie „lawinenartig“ die Feuchte ansteigt, wenn die Luftwechselzahl unter etwa $0,5 h^{-1}$ zurückgeht. Die Betrachtung des stationären Zustandes setzt aber eine Grundregel der Wohnhygiene nicht außer Kraft, die leider in letzter Zeit in Vergessenheit zu geraten schien bzw. die häufig bei innenliegenden Sanitärräumen und Küchen planungsbedingt nur durch mechanische Lüftungsanlagen zu erfüllen ist, nämlich daß einem stoßartigen Feuchteanfall auch durch kurzzeitige Stoßlüftung begegnet werden muß. Der Feuchtehaushalt in Wohnungen ist dann nur über einen erhöhten kontinuierlichen Luftaustausch regulierbar.

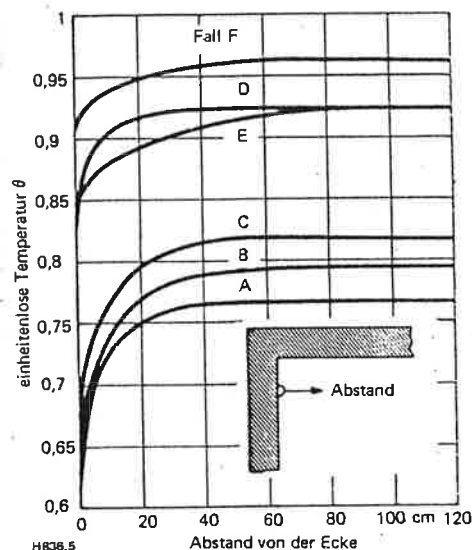


Bild 5. Temperaturverteilungen entlang der Innenoberfläche einer Ecke bei den Wandkonstruktionen A bis F Wandaufbau gemäß Tabelle 2

Tabelle 3: Zusammenstellung der zusätzlichen Transmissionswärmeverluste in den Außenecken der untersuchten Wandkonstruktionen je lfd. m Eckenlänge

Der Eckeneinfluß ist in allen Fällen auf einer Breite von etwa 1 m abgeklungen (vgl. *Bild 5*)

| Fall | Zusätzlicher Wärmeverlust [W/mK] |
|---|----------------------------------|
| A DIN 4108, alt $k = 1,8 W/m^2K$ | 0,10 |
| B Stand unmittelbar nach der Energiekrise (1974) $k = 1,6 W/m^2K$ | 0,11 |
| C DIN 4108, neu $k = 1,4 W/m^2K$ | 0,11 |
| D heutiger Durchschnitt $k = 0,6 W/m^2K$ (monolithisch) | 0,05 |
| E heutiger Durchschnitt $k = 0,6 W/m^2K$ (außengedämmt) | 0,11 |
| F zukünftig üblich $k = 0,3 W/m^2K$ (außengedämmt) | 0,07 |

Thermisches Verhalten der Ecken

Die im Abschnitt „Zugrundegelegte Baukonstruktion“ erläuterten zwei- und dreidimensionalen Ecken sind rechnerisch nach dem in [13] dargestellten Verfahren untersucht worden.

Die in den zweidimensionalen Ecken der Konstruktion A bis F vorhandenen Temperaturen auf der Innenoberfläche werden in einheitenloser, d.h. in für beliebige Temperatur-Randbedingungen gültiger Form in *Bild 5* veranschaulicht. Man erkennt, daß sich bei diesen Konstruktionen der Eckeneinfluß bis in etwa 1 m Distanz von der Innenkante der Ecke auswirkt. Die niedrigsten Temperaturen weisen die schlecht gedämmten Altbaukonstruktionen A und B auf. Der Einflußbereich der Ecke klingt bei der monolithischen Konstruktion D schneller ab als bei der außengedämmten Variante E mit gleichem k -Wert. Gemäß *Tabelle 3* ist auch der zusätzliche Wärmeverlust durch den Eckeneffekt bei D kleiner als bei E. Wichtig hierbei ist, daß diese Ergebnisse im geometrischen Sinn nur für Außenecken gelten und nicht auf andere Arten von Wärmebrücken.

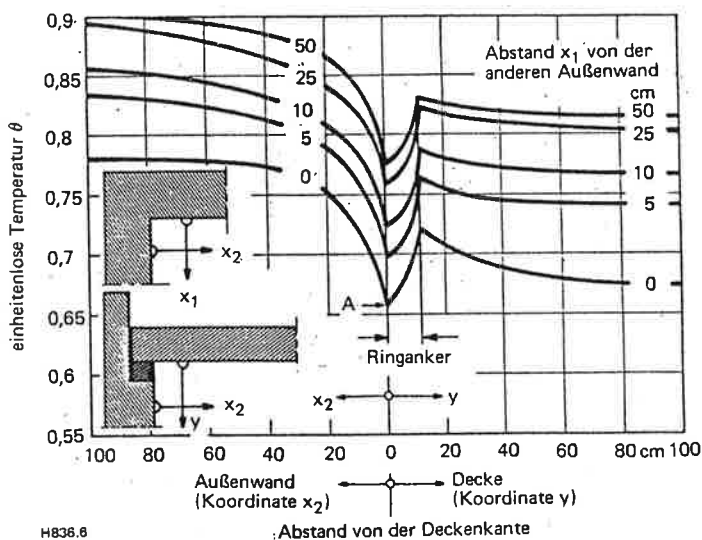


Bild 6: Temperaturverteilung (einheitenlos) an der Innenoberfläche einer dreidimensionalen Dachecke in den drei Koordinatenrichtungen y Höhenkoordinate (vertikal) x_1, x_2 Längen-/Breitenkoordinate (horizontal) Baukonstruktive Ausführung wie *Bild 1*

kengeometrien übertragbar sind (vgl. [14]). Die Temperaturverteilung entlang der dreidimensionalen Ecke ist in den verschiedenen Koordinatenrichtungen aus *Bild 6* ersichtlich. Infolge des umlaufenden Ringankers prägt sich in den Temperaturverteilungen — neben dem Knick in der Ecke — ein zweiter Knick aus. Da in *Bild 6* wiederum die einheitenlose Temperatur aufgetragen ist, gilt diese Darstellung für beliebige Temperatur-Randbedingungen.

Luftfeuchte und Tauwasserbildung

Höhere Raumlufftfeuchten können bei niedrigen Außenlufttemperaturen an den Innenoberflächen von Außenbauteilen zu Tauwasser führen, nämlich dann, wenn sich diese unter die Taupunkttemperatur abkühlen. Um dies zu vermeiden, ist bei ebenen Außenbauteilen ein bestimmter k -Wert erforderlich. Werden nunmehr die Wärmeflüsse durch Wärmebrücken (wie Ecken und dergleichen) gestört, so erniedrigt sich die Temperatur an der Innenoberfläche.

Die allgemeingültige einheitenlose Darstellung der Temperaturverteilung an der Innenoberfläche von Wänden im Eckenbereich nach *Bild 5* und *6* soll in Verbindung mit den Außen- und Raumluffttemperaturen gemäß *Bild 4* ausgewertet werden. In *Bild 7* sind für die Wandkonstruktionen A, B und C unter Berücksichtigung der Raumluffttemperaturen $\lambda_{Li} = 20^{\circ}C$ und

Tabelle 4: Zusammenstellung der Oberflächentemperaturen in Ecken und der zur Tauwasservermeidung höchstzulässigen Raumluftfeuchten für die in Bild 7 untersuchten Fälle

| Außenlufttemperatur [°C] | Wärmeschutz | Raumlufttemperatur (Beheizung) [°C] | Oberflächentemperatur in der Ecke [°C] | Höchstzulässige Raumluftfeuchte [%] |
|--------------------------|-------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| -10 °C | A | 16 | 5,9 | 51 |
| | | 20 | 6,5 | 47 |
| | B | 16 | 6,8 | 54 |
| | | 20 | 9,3 | 50 |
| | C | 16 | 7,7 | 57 |
| | | 20 | 10,3 | 53 |
| +5 °C | A | 16 | 11,7 | 71 |
| | | 20 | 14,1 | 78 |
| | B | 16 | 12,1 | 71 |
| | | 20 | 14,6 | 71 |
| | C | 16 | 12,4 | 78 |
| | | 20 | 15,1 | 75 |
| +10 °C | A | 16 | 13,1 | 83 |
| | | 20 | 16,1 | 74 |
| | B | 16 | 13,0 | 81 |
| | | 20 | 16,5 | 81 |
| | C | 16 | 14,1 | 85 |
| | | 20 | 16,6 | 82 |

H836T4

Tabelle 5: Zusammenstellung der Oberflächentemperaturen in einer dreidimensionalen Dachecke und der zur Tauwasservermeidung höchstzulässigen Raumluftfeuchten für die in Bild 8 untersuchten Fälle

| Außenlufttemperatur [°C] | Raumlufttemperatur [°C] | Oberflächentemperatur in der Ecke [°C] | Höchstzulässige Raumluftfeuchte [%] |
|--------------------------|-------------------------|--|-------------------------------------|
| -10 °C | 16 | 7,2 | 56 |
| | 20 | 9,8 | 52 |
| +5 °C | 16 | 12,3 | 79 |
| | 20 | 14,9 | 71 |
| +10 °C | 16 | 14,0 | 88 |
| | 20 | 16,6 | 81 |

H836T5

Tabelle 6: Mindestluftwechsel für Wohnungen im Gebäudebestand (Altbauten) zur Vermeidung von Tauwasserbildung in Außenecken. Es liegt die erhöhte Feuchteproduktion gemäß Bild 4 zugrunde

| Wärmeschutz-Niveau | Beheizung (Raumlufttemperatur) | Mindestluftwechsel [h ⁻¹] | |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Winter | Übergangszeit |
| Vor der Energiekrise (k = 1,6 W/m ² K) | 16 °C | 0,8 | 1,2 |
| | 20 °C | 0,7 | 0,7 |
| Unmittelbar nach der Energiekrise (k = 1,5 W/m ² K) | 16 °C | 0,8 | 1,0 |
| | 20 °C | 0,6 | 0,7 |

H836T6

$\vartheta_{Li} = 16\text{ °C}$ die Temperaturen der Innenwandoberfläche aufgetragen. Die rechten Ordinatenmaßstäbe zeigen jene Raumluftfeuchten, bei denen die links wiedergegebenen Oberflächentemperaturen zur Tauwasserbildung führen. Die Variation der Außentemperatur führt zu einer Verschiebung der Kurvenschar. Der Vergleich der Kurven A und C zeigt den Einfluß des verbesserten Wärmedämmniveaus zur Vermeidung von Tauwasser in Ecken. In Bild 8 sind die Temperaturverläufe und die Grenzwerte der Luftfeuchtigkeit einer dreidimensionalen Ecke (Attika) in analoger Weise dargestellt.

Die Tabellen 4 und 5 enthalten jeweils für die (zweidimensionale) Außenwanddecke und für die (dreidimensionale) Dach-

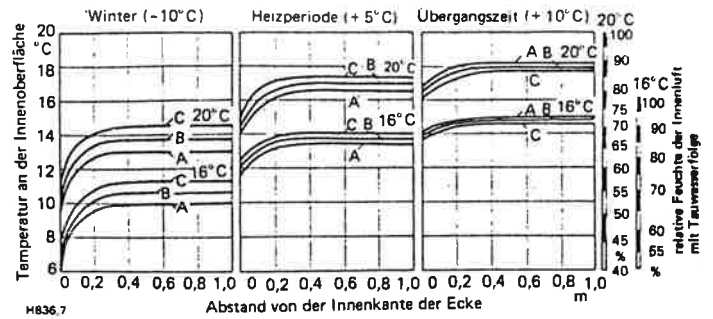


Bild 7: Temperaturverteilung auf der Ecken-Innenoberfläche einer Außenwand mit verschiedenem Wärmeschutz bei Annäherung an die Ecke (zweidimensional)

Auf der Ordinate am rechten Bildrand sind jene relativen Raumluftfeuchten aufgetragen, bei denen die links wiedergegebenen Oberflächentemperaturen zu Tauwasserbildung führen
 Außenlufttemperaturen: -10 °C; 5 °C; 10 °C
 Innenlufttemperaturen: 16 °C; 20 °C
 Wärmeschutz-Niveau (gemäß Tabelle 2 und 3):
 A: $k = 1,8\text{ W/m}^2\text{K}$
 B: $k = 1,6\text{ W/m}^2\text{K}$
 C: $k = 1,4\text{ W/m}^2\text{K}$

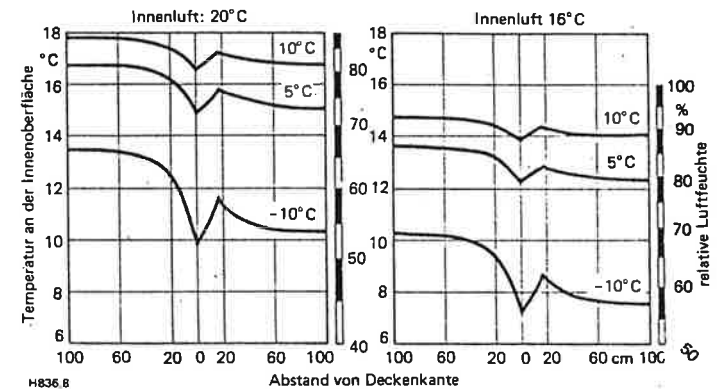


Bild 8: Temperaturverteilung auf der Ecken-Innenoberfläche (dreidimensionale Dachecke gemäß Bild 6), und zwar unmittelbar entlang der Außenwand (Abstand x_1 gemäß Bild 6 gleich Null)

Außenlufttemperaturen: -10 °C; 5 °C; 10 °C
 Innenlufttemperaturen: 16 °C; 20 °C
 Auf der Ordinate am rechten Bildrand sind jeweils jene relativen Raumluftfeuchten aufgetragen, bei denen die links wiedergegebenen Oberflächentemperaturen zu Tauwasserbildung führen

ecke eine Zusammenstellung der Temperaturen, die in der Ecke auftreten, und der relativen Raumluftfeuchten, die zur Tauwasservermeidung höchstens zulässig sind. Den Zusammenstellungen liegen die Außen- und Raumlufttemperaturen zugrunde, auf denen die Darstellungen in Bild 7 und 8 basieren.

Gemäß [12] weisen ca. 18,6 Mio. Wohnungen im Altbaubereich etwa das Wärmeschutzniveau A von Tabelle 2 und etwa 2,7 Mio. Wohnungen das Niveau B auf. Tabelle 7 veranschaulicht für diesen Altbauwohnungsbestand die Luftwechselraten, die zur Vermeidung von Tauwasserbildung in Außenecken erforderlich sind.

Bauphysikalische Konsequenzen

Aus den Darlegungen der bauphysikalischen Wirkung von Wärmebrücken ergeben sich folgende Konsequenzen:

1. Feuchteschäden an den Innenoberflächen von Wärmebrücken sind, am jeweiligen Wärmedämmniveau gemessen, eindeutig auf einen zu geringen Luftwechsel und/oder auf eine zu geringe Beheizung der Räume zurückzuführen. Die aus Energieeinspargründen oftmals gedrosselte Beheizung wirkt sich negativ aus, weil sich dabei an den Innenoberflächen der

Außenbauteile, besonders an Wärmebrückenstellen, niedrige Temperaturen einstellen. Der Mindestluftwechsel, der hier bei Luftwechselzahlen zwischen etwa 0,6 und 0,8 h⁻¹ im Winter und bis zu 1,2 h⁻¹ in der Übergangszeit liegt, muß sichergestellt werden.

2. Nahezu hermetisch schließende Fenster, die heutzutage serienmäßig auf dem Markt angeboten werden, sind für den Gebäudebestand abzulehnen; zumindest so lange,

- bis entweder durch Lüftungsöffnungen bzw. spezielle Lüftungsklappen die natürliche Lüftung infolge Windanströmung des Gebäudes und thermischen Auftriebes im Raum
- oder bis durch mechanische Lüftungsanlagen, die eine Wärmerückgewinnung aus der Fortluft gestatten,

die oben erwähnten Größenordnungen des Mindestluftwechsels sichergestellt sind.

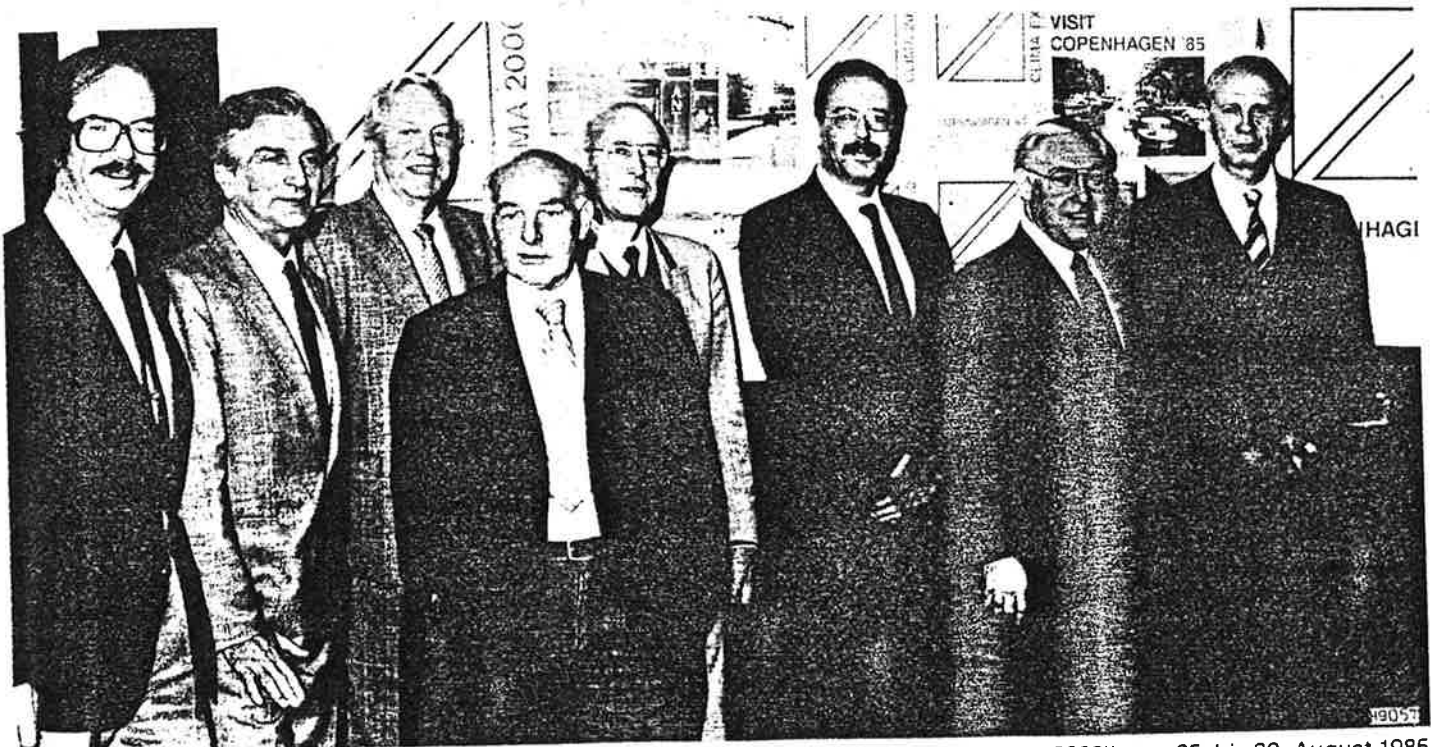
3. Wenn in der Praxis Tauwasser und Pilzschäden zu beobachten sind, ist dies ein eindeutiges Indiz dafür, daß der für das Wärmeschutzniveau erforderliche Mindestluftwechsel längerfristig nicht eingehalten worden ist. Der Wohnungsnutzer muß eindringlich darüber aufgeklärt werden, daß er sich falsche Lüftungs- und Heizgepflogenheiten zu eigen gemacht hat bzw. daß er sich den geänderten Randbedingungen bei einem nachträglichen Einbau sogenannter „fugendichter“ Fenster nicht angepaßt hat.

4. Es müssen planerische und bauliche Voraussetzungen geschaffen werden, die den Mindestluftwechsel zur Feuchteabfuhr gewährleisten. Ob hierzu eine Festschreibung von min-

destens einzuhaltenden Fugendurchlaßkoeffizienten (untere Grenze des α -Wertes) ein praktikabler Weg ist, müßte in Normungsgremien künftig noch diskutiert werden. [H 836]

Schrifttum

- [1] *Wagner, J.*: Schadstoffanfall, Luftwechsel in Wohnungen, freie Lüftung. GI 105 (1984) Nr. 3, S. 117/23.
- [2] *Gertis, K.*: Bauphysikalische Grundlagen der Wohnungslüftung. DBZ 32 (1984) Nr. 2, S. 231/34.
- [3] *Fanger, P. O.*: Thermal Comfort. Mac Graw-Hill Book Company, N.Y. (1972).
- [4] *Recknagel/Sprenger*: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 62. Aufl. München: Oldenbourg-Verlag 1983.
- [5] *Schmittlutz, R.*: Sanitärzellen im Wohnungsbau. Untersuchung der Heizungs- und Lüftungsprobleme unter besonderer Berücksichtigung der wärmephysiologischen, bauphysikalischen und nutzungsbedingten Forderungen. Diss. Techn. Univ. Braunschweig (1975).
- [6] *Bley, H.*: Innenküche. Untersuchung über Feuchte- und Temperaturverhalten von fensterlosen Innenküchen. Diss. Univ. Dortmund (1983).
- [7] *Gertis, K., u. C. Soerge*: Tauwasserbildung in Außenecken. Kritische bauphysikalische und rechtliche Anmerkungen zu einem Urteil des Oberlandesgerichtes Hamm. DAB 15 (1983) Nr. 10, S. 1045/50.
- [8] *Rietschel/Ralß*: Heiz- und Klimatechnik. 15. neubearbeitete Auflage. Berlin: Springer Verlag 1970.
- [9] *Valko, P.*: Schriftliche Mitteilung. Unveröffentlicht.
- [10] *Hauser, G., H. Schulze u. U. Wolfseher*: Wärmebrücken im Holzbau. Bauphysik 5 (1983) Nr. 1, S. 17/21, u. Nr. 2, S. 42/51.
- [11] *Kieper, G., A. Wagner u. O. Kersten*: Methode zur Verminderung des rechen- und versuchstechnischen Aufwandes bei bauphysikalischen Problemstellungen. Bauphysik 5 (1983) Nr. 6, S. 199/202.
- [12] *Herberger, L., et al.*: Bestand und Struktur der Gebäude und Wohnungen. Wirtschaft u. Statistik (1980) Nr. 5, S. 283/91.
- [13] *Wolfseher, U.*: Rechnerische Ermittlung mehrdimensionaler Temperaturfelder unter stationären und instationären Bedingungen. Rechensystem und bauphysikalische Anwendung. Diss. Univ. Essen (1978).
- [14] *Gertis, K., u. H. Erhorn*: Jetzt: Wärmebrücken im Kreuzfeuer? Bauphysik 4 (1982) Nr. 4, S. 135/39.



Mehr als 500 Kurzfassungen von Vorträgen zum Weltkongreß Heizung, Lüftung, Klima „Clima 2000“ vom 25. bis 30. August 1985 in Kopenhagen wurden bisher eingereicht. Mitglieder des Internationalen Komitees der Veranstaltung diskutierten am 4./5. Oktober 1984 das Programm auf der REHVA-Generalversammlung in Aachen (von links: Prof. P. O. Fanger, Prof. Todoroviz, B. Jacobsen, K. W. Dale, F. Clain, M. Costantino, R. McDonald, W. Knoll). Weitere Auskünfte über den Kongreß und die Ausstellung erteilt: Clima 2000 — Clima EX, Ordrup Jagtvej 42 B, DK-2920 Charlottenlund. [H 9057]