

## Numerische Untersuchungen zum Tauwasserrisiko von Mauerwerks- außenwinkeln und Ecken in Gebäuden

F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi  
unter Erstellung der Farbgraphiken durch Frau R. Schulz

(Fortsetzung von Heft 3/88, Seiten 43 bis 52)

5.2 Oberflächentemperaturen, Tauwasserrisiko, Mindestluftwechsel bei Außenwänden (dreidimensionalen Wärmebrückenkonstruktionen)

Wesentlich größer ist die Tauwassergefahr an der Innenoberfläche von Außenwänden. Sie ist aus den berechneten minimalen Innenoberflächentemperaturen der Konstruktionen 6 und 7, d. h. den Tab. 2 und 3, erkennbar. Besonders ist Konstruktion 7 mit Mindestwärmeschutz betroffen, die aus drei Außenbauteilen, nämlich zwei Außenwänden und einem Dach, gebildet wird. Dies ist auch aus den farbigen Isothermenverläufen für die Konstruktionen 6.1 und 7.1 (Mindestwärmeschutz) ersichtlich, Abb. 18 a und b.

Bei der Ecke im Fußbodenbereich (Konstruktion 6.1) sinkt die Innenoberflächentemperatur unter Tauwasserrandbedingungen nach DIN 4108 [10] auf einen Wert von  $t_{oi} = 6,30^\circ\text{C}$  ab und bei der Ecke unterhalb des Dachs (Konstruktion 7.1) sogar auf einen Wert von  $t_{oi} = 3,40^\circ\text{C}$ . Im Vergleich dazu findet man in den beiden Ecken der Konstruktionen 6.5 und 7.5

mit optimalem Wärmeschutz, wie die Abb. 19 a, b zeigen, deutlich höhere minimale Innenoberflächentemperaturen. Im Eckbereich des Fußbodens wird noch eine Innenoberflächentemperatur von  $13,50^\circ\text{C}$  erreicht, im Eckbereich des Flachdachaufagers von  $10,50^\circ\text{C}$ . Damit wird bei optimalem Wärmeschutz von Wand und Dach und Tauwasserrandbedingungen der nach DIN 4108 Teil 5 [11] bei einer relativen Luftfeuchte von 50 % geforderte Mindestwert von  $t_s = 9,3^\circ\text{C}$  überschritten. Bei geringerer Wärmedämmung im Fall einer Ecke aus drei Außenbauteilen liegt die innere Oberflächentemperatur unter diesem Wert, Tab. 3. Der Unterschied zwischen den beiden Eckkonstruktionen wird besonders deutlich, wenn man die minimalen Innenoberflächentemperaturen als Funktion des Wärmedurchlaßwiderstandes  $1/\Lambda$  der Wand mit dem inneren Wärmeübergangskoeffizienten als Parameter aufträgt. Man erkennt aus Abb. 20 a, daß bei der Ecke 1 aus zwei Außenbauteilen und einem Innenbauteil die Taupunkttemperatur  $t_s = 9,3^\circ\text{C}$  nur im Bereich geringer Wärmedurchlaßwiderstände unterschritten wird. Bei Ecke 2 aus drei Außenbauteilen, vgl. Abb. 20 b, ist dies für alle Wärmedurchlaßwiderstände der Außenwand bei auf  $\alpha_i = 4,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  reduziertem inneren Wärmeübergangskoeffizienten der Fall.

Um bei beiden Eckkonstruktionen eine Aussage hinsichtlich des Tauwasserris-

kos in Abhängigkeit vom jahreszeitlichen Klima treffen zu können, ist es zweckmäßig, die normierten Innenoberflächentemperaturen  $\Theta_{WB}$  mit den normierten Taupunkttemperaturen  $\Theta_s$  bei verschiedenen spezifischen Wasserdampfproduktionsraten  $\Delta c$  zu vergleichen. So kann beurteilt werden, ob und bei welcher Außenlufttemperatur eine Erhöhung des Luftwechsels über den Mindestluftwechsel der DIN 4701 [16] hinaus notwendig wird und welche zusätzlichen Lüftungswärmeverluste sich ergeben. Die normierten Innenoberflächentemperaturen mit der spezifischen Wasserdampfproduktion als Parameter sind für die Ecke 1 aus zwei Außenbauteilen und einem Innenbauteil, jeweils für die Konstruktion 6.1 mit Mindestwärmeschutz und 6.5 mit optimalem Wärmeschutz, in Abb. 21 dargestellt. Dabei werden Fall A (Tauwasserrandbedingungen auf der Innenseite) und Fall B (behinderter Wärmeübergang innen) betrachtet. Man erkennt, daß bei der Konstruktion mit Mindestwärmeschutz bereits bei Tauwasserrandbedingungen nach DIN 4108 Teil 3 [10] auf der Innenseite Tauwasser im Winter auftritt. Hier ist also eine Erhöhung des Luftwechsels bei sehr tiefen Außenlufttemperaturen notwendig. Ist in dieser Ecke der Wärmeübergang behindert, so erweitert sich der Temperaturbereich mit erhöhtem Luftwechsel auf  $-15,00$  bis  $-5,00^\circ\text{C}$ . Die Konstruktion mit optimalem Wärmeschutz verhält sich im Winter deutlich besser.

Dr. rer. nat. F.-J. Kasper, Dipl.-Inform.  
R. Müller, Dr.-Ing. R. Rudolphi, R. Schulz  
Bundesanstalt für Materialforschung und  
-prüfung, Berlin  
Laboratorium 2.44 „Numerische Methoden der Bauphysik“

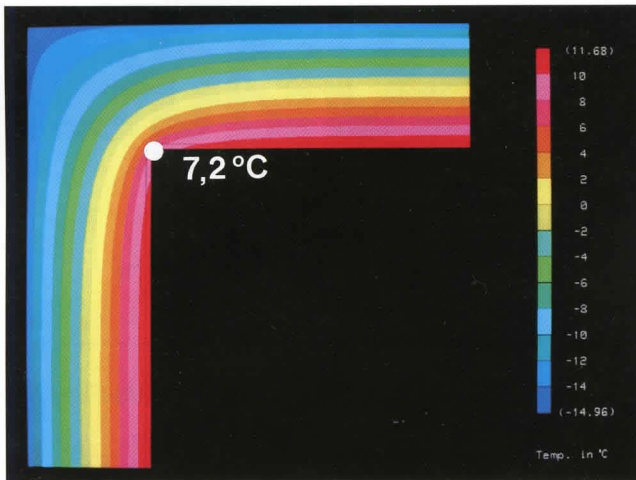
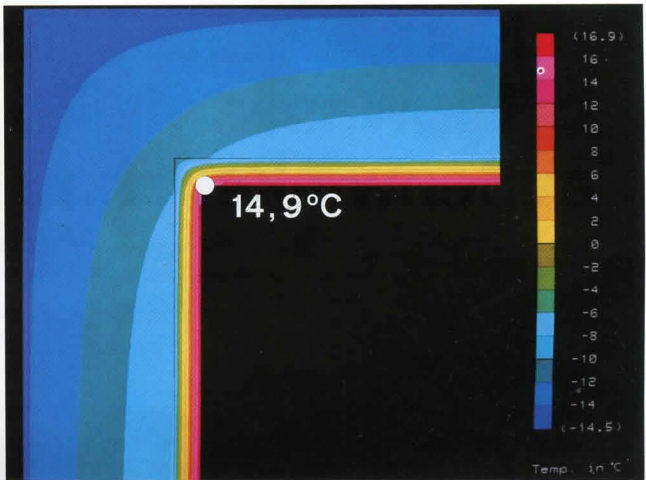
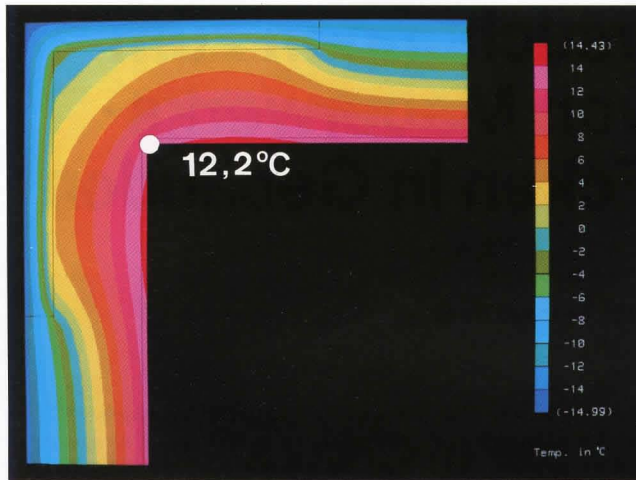


Abb. 12 Isothermenverlauf für Mauerwerksaußenwinkel mit Mindestwärmeschutz (Konstruktion 1)

Abb. 13 Isothermenverlauf für Mauerwerksaußenwinkel mit Mindestwärmeschutz und Vorsatzschale (Konstruktion 2)



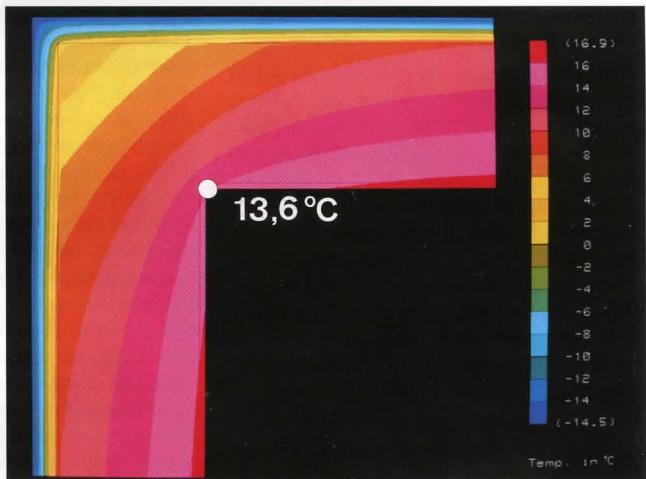
Die normierte Innenoberflächentemperatur liegt hier über der normierten Taupunkttemperatur, so daß unter dem Gesichtspunkt der Tauwasserfreiheit der Luftwechsel sogar kleiner als der Mindestluftwechsel  $n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}$  sein könnte, vgl. Abschnitt 5.3.

In den Übergangszeiten (Frühjahr und Herbst) muß sowohl bei der Konstruktion mit Mindestwärmeschutz als auch bei der mit optimalem Wärmeschutz die Luftwechselzahl von  $n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}$  auf z. B.  $n_L = 0,75 \text{ h}^{-1}$  angehoben werden, um Tauwasser zu vermeiden. Dies wird beim Mindestwärmeschutz je nach Höhe des inneren Wärmeübergangskoeffizienten schon bei  $t_{La} = 10,00^\circ\text{C}$  (Fall B) bzw. bei  $t_{La} = 13,50^\circ\text{C}$  (Fall A) notwendig, bei optimalem Wärmeschutz aber erst bei  $t_{La} = 16,30^\circ\text{C}$  (Fall B) bzw.  $t_{La} = 16,80^\circ\text{C}$  (Fall A).

Nicht so günstig liegen die Temperaturverhältnisse bei der Ecke 2 aus drei Außenbauteilen. Im Gegensatz zu Ecke 1 läßt sich nach Abb. 22 bei optimalem Wärmeschutz und behindertem Wärmeübergang (Fall B) der erforderliche Luftwechsel im Winter nicht mehr reduzieren. Ansonsten gilt wie bei Ecke 1 auch für Ecke 2, daß bei optimalem Wärmeschutz und einer spezifischen Wasserdampfproduktion  $\Delta c = 0,006 \text{ kg/m}^3$  im Winter kein Tauwasser

Abb. 14 (rechts) Isothermenverlauf für Mauerwerksaußenwinkel mit Wärmedämmverbundsystem auf der Außenseite und Innenputz (Konstruktion 3) nach [28]

Abb. 15 (oben rechts) Isothermenverlauf für Mauerwerksaußenwinkel mit Wärmedämmverbundsystem auf der Innenseite und Außenputz (Konstruktion 4) nach [29]



auftritt, wenn der Mindestluftwechsel nach DIN 4701 [16] eingehalten wird. Im Frühjahr und im Herbst ist die Außenlufttemperatur, bei der eine Anhebung der Lüftungsrate erforderlich wird, mit  $t_{La} = 15,00^\circ\text{C}$  (Fall B) bzw.  $15,50^\circ\text{C}$  (Fall A), etwas niedriger als bei Ecke 1.

Bei der Ecke aus drei Außenbauteilen verschärft sich das Tauwasserisiko im Falle des Mindestwärmeschutzes erheblich. Schon bei Tauwasserrandbedingungen unter-

schreitet bzw. tangiert die normierte Innenoberflächentemperatur  $\Theta_{WB}$  die normierte Taupunkttemperatur  $\Theta_s$  (s. Abb. 22) im gesamten Temperaturbereich von  $-15$  bis  $20^\circ\text{C}$ . Also muß die Luftwechselzahl nicht nur im Winter, sondern auch in den Übergangszeiten durchgehend  $n_L = 0,75 \text{ h}^{-1}$  betragen. Im Winter muß diese Luftwechselzahl für den Fall des Mindestwärmeschutzes bei durch Möblierung behindertem Wärmeübergang, d. h.  $\alpha_i = 4,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , noch weiter erhöht werden, da sonst Tauwasserrisiko besteht.

Tab. 4 faßt die für Außenecken erforderlichen Luftwechselzahlen zusammen.

Zusammenfassend läßt sich beim Übergang von zwei- zu dreidimensionalen geometrischen Wärmebrücken feststellen:

- Die Tauwassergefahr auf der Innenoberfläche im Eckbereich steigt in erheblichem Maße, und zwar besonders bei weniger gut wärmedämmten Außenbauteilen. Beim Mindestwärmeschutz ist im Winter bei Ecken aus drei Außenbauteilen ständig ein erhöhter Luftwechsel notwendig. Bei

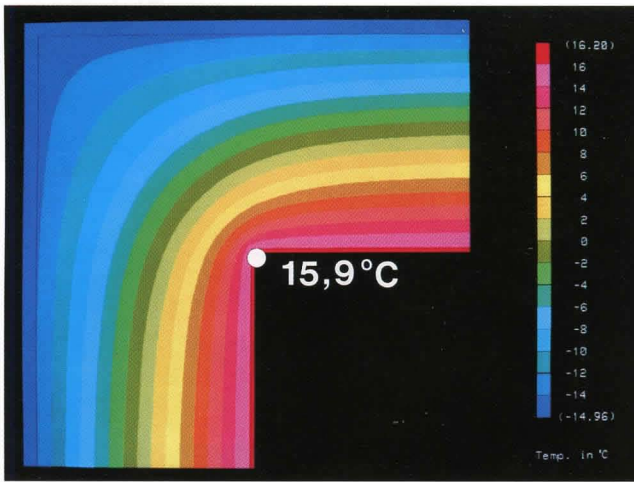
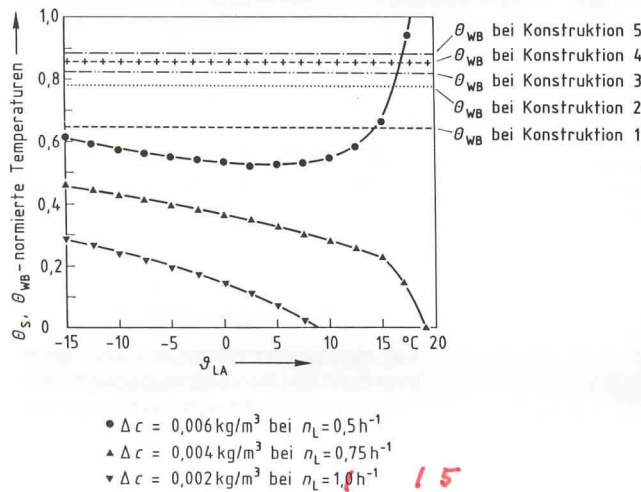


Abb. 16 (links) Isothermenverlauf für Paneelaußenwinkel (Konstruktion 5) nach [27]

Abb. 17 (unten links) Vergleich der normierten Innenoberflächentemperatur ( $\theta_{WB}$ ) mit der normierten Taupunkttemperatur (s) in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur ( $\theta_{LA}$ ) bei unterschiedlicher spezifischer Wasserdampfproduktion  $\Delta c$  für die zweidimensionalen Wärmebrückenkonstruktionen 1 bis 5



optimaler Wärmedämmung ist bei beiden Außeneckenkonstruktionen im Winter der Mindestluftwechsel ausreichend.

- In den Übergangszeiten ist dagegen eine Erhöhung der Luftwechselzahl bei allen Konstruktionen unvermeidbar, wenn die jeweilige kritische Außenlufttemperatur erreicht wird. Dabei gilt für die optimale Wärmedämmung, daß das Tauwasserrisiko stets bei höheren Außenlufttemperaturen beginnt. Dadurch fallen die Lüftungswärmeverluste geringer aus. Für Konstruktionen, die nur den Mindestwärmeschutz oder einen geringfügig besseren Wärmeschutz besitzen, läßt sich zwar durch starkes Lüften Tauwasserausfall auf der Innenoberfläche im Eckbereich vermeiden. Das ist aber mit erheblichem Energieaufwand, also hohen Kosten und zusätzlicher Umweltbelastung, verbunden.

### 5.3 Transmissions- und Lüftungswärmeverluste bei Außenecken (dreidimensionalen Wärmebrückenkonstruktionen)

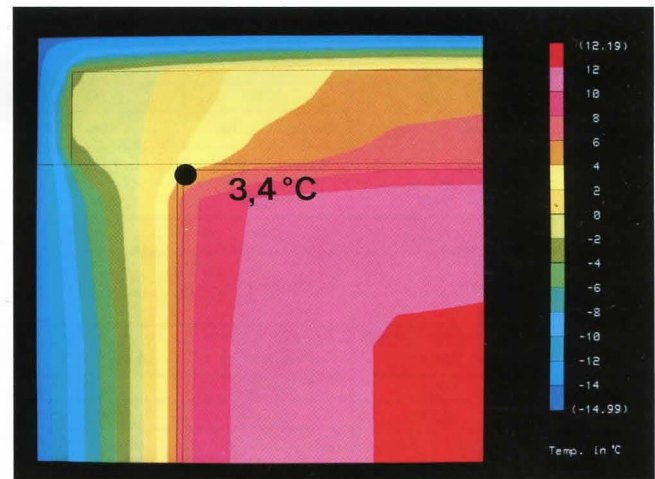
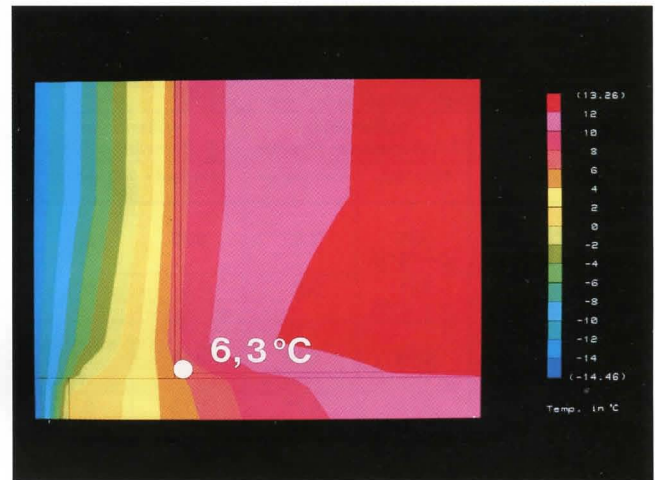
Zur Berechnung des gesamten Energiebedarfs im Winter wird das Dachgeschoß

Abb. 18a Isothermenverlauf für Ecke im Fußbodenbereich (Fall A, Konstruktionen 6.1, Schnitt A-A entsprechend Abb. 8a) des Dachgeschosses mit Mindestwärmeschutz

Abb. 18b. Isothermenverlauf für die Ecke im Bereich des Flachdachauflagers (Fall A, Konstruktion 7.1, Schnitt A-A entspr. Abb. 8a) des Dachgeschosses mit Mindestwärmeschutz

aus drei Außenbauteilen (1 Wand mit Fenster, 1 Wand ohne Fenster, Dach) mit Mindestwärmeschutz bzw. mit optimalem Wärmeschutz unter Berücksichtigung des in der Norm DIN 4701 Teil 2 [24] vorgegebenen Außenklimas für Berlin betrachtet. Zur Bestimmung der Transmissionswärmeverluste werden zunächst unter Zugrundelegung des in Abb. 8a dargestellten Geschoßabschnitts, bestehend aus Dach, zwei Außenwänden ohne Fenster und Zwischendecke, die Wärmeströme durch die

einzelnen Außenbauteile berechnet. Die Ermittlung der mittleren k-Werte der drei Außenbauteile Dach, Wand mit Fenster und Wand ohne Fenster erfolgt mit Hilfe der Gleichungen (7a) bis (7c) unter Berücksichtigung von Abb. 10 für die Wand mit Fenster und der in Abschnitt 3.2 aufgeführten Flächenanteile für die Wand ohne Fenster, für die Wand mit Fenster und das Dach. Die von der Zwischendecke den Wänden zugeführten Wärmeströme werden beim gestörten Wandbereich mitberücksichtigt. Die so ermittelten mittleren k-Werte der Konstruktion mit Mindestwärmeschutz bzw. optimalem Wärmeschutz sind zusammen mit den k-Werten für den gestörten und ungestörten Bereich des jeweiligen Außenbauteils in Tab. 5 a bzw.



Tab. 5 b aufgeführt. Man erkennt, daß der mittlere k-Wert den Wert für das ungestörte Bauteil beim Dach und bei der Wand ohne Fenster deutlich übersteigt. Die Wand mit Fenster weist naturgemäß zusätzliche Wärmeverluste durch das Fenster auf.

Mit Hilfe der mittleren k-Werte für die Außenbauteile lassen sich dann die Transmissionswärmeverluste für die Konstruktionen mit Mindestwärmeschutz bzw. mit optimalem Wärmeschutz bestimmen und miteinander vergleichen.

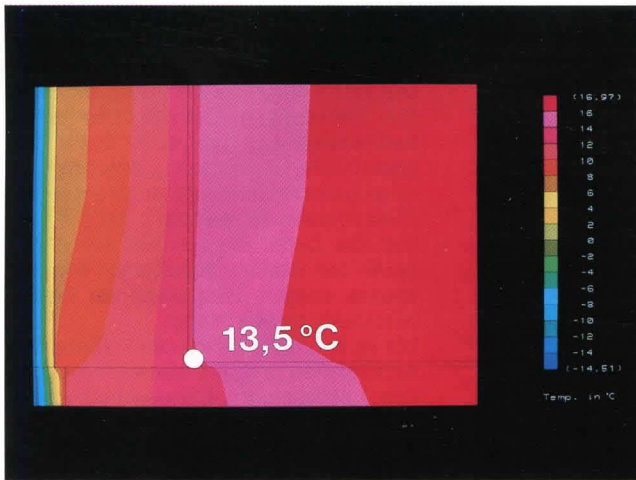


Abb. 19a. Isothermenverlauf für die Ecke im Fußbodenbereich (Fall A, Konstruktion 6.5, Schnitt A-A von Abb. 8a) des Dachgeschosses mit optimalem Wärmeschutz

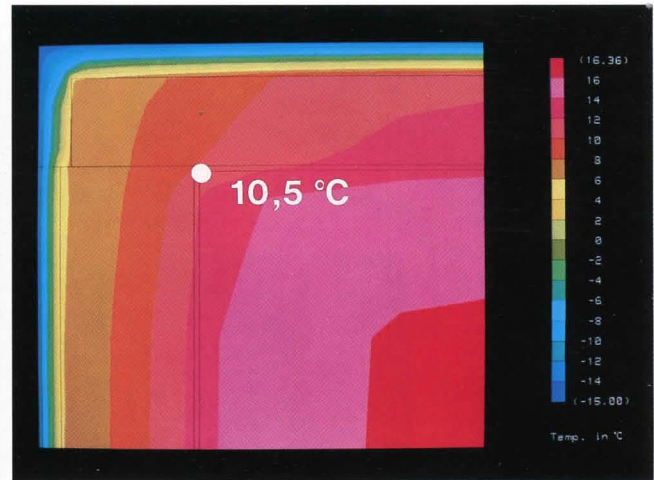


Abb. 19b. Isothermenverlauf für die Ecke im Bereich des Flachdachauflagers (Fall A, Konstruktion 7.5, Schnitt A-A von Abb. 8a) des Dachgeschosses mit optimalem Wärmeschutz

Luftwechselzahl in $h^{-1}$ (bei $t_{La}$ in $^{\circ}C$ )				
Konstruktion	Außenecke (2 Außenwände, 1 Decke)		Außenecke (2 Außenwände, 1 Dach)	
	Mindest-	optimaler	Mindest-	optimaler
Winter Fall A Tauwasserrandbed.	$\leq -15^{\circ}C$	0,5	0,75	0,5
Fall B Beh. Wärmeüberg.	$\leq -5^{\circ}C$	0,5	1,0 $\leq -15^{\circ}C$	0,5
Übergangszeit Fall A Tauwasserrandbed.	$\geq 13,5^{\circ}C$	$\geq 0,75$ $\geq 16,8^{\circ}C$	0,75	$\geq 0,75$ $\geq 15,5^{\circ}C$
Fall B beh. Wärmeüberg.	$\geq 10,0^{\circ}C$	$\geq 0,75$ $\geq 16,3^{\circ}C$	0,75	$\geq 0,75$ $\geq 15,0^{\circ}C$

Außenbauteil	gestörter k-Wert in $W/(m^2K)$		ungest. k-Wert in $W/(m^2K)$		mittl. k-Wert in $W/(m^2K)$
Flachdach	$k_{DG}$		$k_{DUG}$		$k_D$
	1,31		0,79		0,90
Wand mit Fenster	$k_{WG}$	$k_{WFG}$	$k_{WUG}$	$k_F$	$k_{WI}$
	1,49	1,42	1,37	2,73	1,61
Wand ohne Fenster	$k_{WG}$		$k_{WUG}$		$k_W$
	1,49		1,37		1,42

Außenbauteil	gestörter k-Wert in $W/(m^2K)$		ungest. k-Wert in $W/(m^2K)$		mittl. k-Wert in $W/(m^2K)$
Flachdach	$k_{DG}$		$k_{DUG}$		$k_D$
	0,71		0,44		0,50
Wand mit Fenster	$k_{WG}$	$k_{WFG}$	$k_{WUG}$	$k_F$	$k_{WI}$
	0,63	0,54	0,53	2,73	0,86
Wand ohne Fenster	$k_{WG}$		$k_{WUG}$		$k_W$
	0,63		0,53		0,57

Zum Vergleich der Lüftungswärmeverluste der beiden Konstruktionen wird nur der Fall A (Tauwasserrandbedingungen nach DIN 4108) betrachtet. Es werden unter Anwendung der Ergebnisse aus Abschnitt 5.2 beim Mindestwärmeschutz  $n_L = 0,75 h^{-1}$  und beim optimalen Wärmeschutz  $n_L = 0,50 h^{-1}$  in die Bestimmungsgleichung (6) in Abschnitt 3.1 ein-

gesetzt. Als Temperaturen werden bei den Transmissions- und bei den Lüftungswärmeverlusten die in Abschnitt 3.2 nach DIN 4701 [16,24] für ein Gebäude in Berlin angegebenen Werte benutzt.

Für die Konstruktion mit Mindestwärmeschutz ergeben sich die folgenden Wärmeverluste:

Tabelle 4. Zusammenstellung der für Außenecken erforderlichen Luftwechselzahlen zur Vermeidung von Tauwasserausfall auf der Innenoberfläche

- Transmissionswärmeverluste nach Gl. (8) in Abschnitt 3.2  
 $\dot{Q}_T = (0,90 \cdot 20,00 + 1,42 \cdot 10,00 + 1,61 \cdot 12,50) \cdot (20,00 + 12,00) = 1674,0 W$
- Lüftungswärmeverluste nach Gl. (6) in Abschnitt 3.1  
 $\dot{Q}_L = (0,75/3600) \cdot 50,00 \cdot 1000 \cdot 1,25 \cdot (20,00 + 12,00) = 416,7 W$

Aus den beiden Wärmeverlusten erhält man dann den Normwärmebedarf für den betrachteten Wohnraum mit Mindestwärmeschutz:

- Normwärmebedarf nach DIN 4701 [16]  
 $\dot{Q}_N = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L = 1674,0 + 416,7 = 2090,7 W$

Vergleicht man die Transmissionswärmeverluste unter Berücksichtigung der geometrischen Wärmebrücken  $\dot{Q}_T$  mit den Transmissionswärmeverlusten bei einer gleichartigen, ungestörten Konstruktion,

$$\dot{Q}_{TUG} = (0,79 \cdot 20,00 + 1,37 \cdot 10,00 + 1,37 \cdot 10,80 + 2,73 \cdot 1,70) \cdot (20,00 + 12,00) = 1566,0 W$$

so findet man, daß  $\dot{Q}_T$  um ca. 7 % größer ist als  $\dot{Q}_{TUG}$ .

Der Lüftungswärmebedarf bei Mindestwärmeschutz erhöht sich unter Berücksichtigung der geometrischen Wärmebrücken gegenüber dem Lüftungswärmebedarf bei Mindestluftwechsel um 50 % (Luftwechselzahl 0,75  $h^{-1}$  statt 0,5  $h^{-1}$ ).

Der Normwärmebedarf  $\dot{Q}_N$  erhöht sich bei Berücksichtigung der geometrischen Wärmebrücken um 13,8 % gegenüber dem Normwärmebedarf für einen gleichartigen Raum ohne Wärmebrücken. Wesentlich besser schneidet dagegen der Wohnraum mit optimalem Wärmeschutz ab, bei dem sich folgende Verluste ergeben:

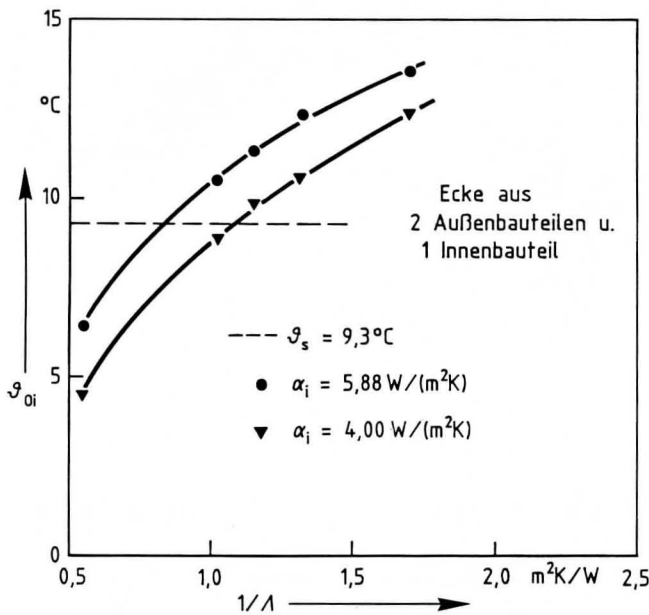


Abb. 20a. Verlauf der minimalen Innenoberflächentemperatur der Konstruktionen 6.1 bis 6.5 als Funktion des Wärmedurchlaßwiderstandes  $1/\Lambda$  der Außenwand

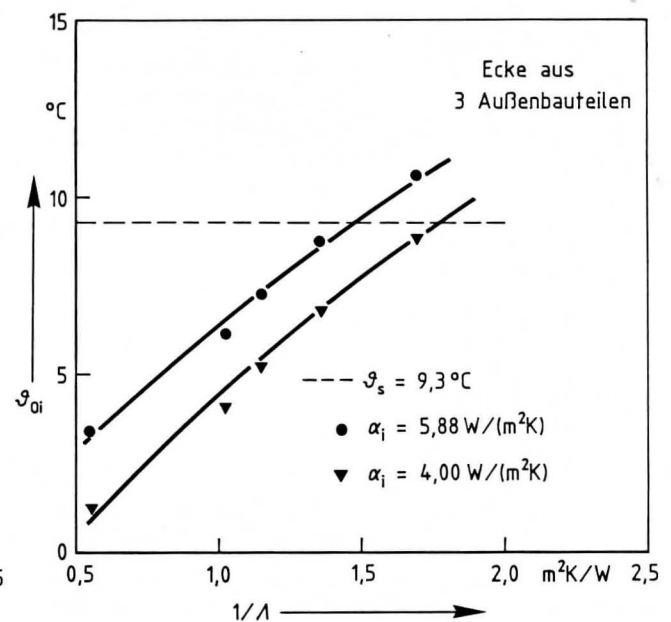


Abb. 20b. Verlauf der minimalen Innenoberflächentemperatur der Konstruktionen 7.1 bis 7.5 als Funktion des Wärmedurchlaßwiderstandes  $1/\Lambda$  der Außenwand

- Transmissionswärmeverluste nach Gl. (8) in Abschnitt 3.2

$$\dot{Q}_T = (0,50 \cdot 20,00 + 0,57 \cdot 10,00 + 0,86 \cdot 12,50) \cdot (20,00 + 12,00) = 846,4 \text{ W}$$

- Lüftungswärmeverluste nach Gl. (6) in Abschnitt 3.1

$$\dot{Q}_L = (0,50/3600) \cdot 50,00 \cdot 1000 \cdot 1,25 \cdot (20,00 + 12,00) = 277,8 \text{ W}$$

Aus diesen Wärmeverlusten ergibt sich dann der Normwärmebedarf des Wohnraums mit optimaler Wärmedämmung:

- Normwärmebedarf nach DIN 4701 [16]

$$\dot{Q}_N = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L = 846,4 + 277,8 = 1124,2 \text{ W}$$

Vergleicht man zunächst die Transmissionswärmeverluste unter Berücksichtigung der geometrischen Wärmebrücken  $\dot{Q}_T$  mit den Transmissionswärmeverlusten bei gleichartiger, ungestörter Konstruktion,

$$\dot{Q}_{TUG} = (0,44 \cdot 20,00 + 0,53 \cdot 10,00 + 0,53 \cdot 10,80 + 2,73 \cdot 1,70) \cdot (20,00 + 12,00) = 782,9 \text{ W}$$

so zeigt sich, daß  $\dot{Q}_T$  um 8,1% größer ist als  $\dot{Q}_{TUG}$ .

Dagegen bleibt der Lüftungswärmebedarf ungeändert. Der Normwärmebedarf mit Wärmebrücke liegt um 6% höher als der ohne Einfluß der Wärmebrücke. Beim Vergleich der Wärmeverluste eines Wohnraums mit optimalem Wärmeschutz mit einem gleichgroßen mit Mindestwärmeschutz läßt sich feststellen, daß sich gegenüber Konstruktion 8 mit optimalem Wärmeschutz (= 100%) bei Konstruktion 8 mit Mindestwärmeschutz um 98% höhere Transmissionswärmeverluste ergeben. Die notwendigen

Lüftungswärmeverluste steigen um 50%, der gesamte Normwärmebedarf nach DIN 4701 [16] um 86%. Die Forderung nach energiesparendem und umweltschonendem Bauen (Abschnitt 1) wird durch eine Konstruktion mit Mindestwärmeschutz nicht mehr erfüllt. Dagegen entspricht das Dachgeschoß mit optimalem Wärmeschutz den genannten Erfordernissen und läßt sich sehr gut den in [25] als optimal bezeichneten Konstruktionen zuordnen. Die in [25] genannten Konstruktionen sind dabei nach dem heutigen Stand der Technik sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht als auch unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes als empfehlenswert anzusehen. Ein Gebäude mit Mindestwärmeschutz gehört nicht dazu. Vielmehr besteht bei Gebäuden mit Mindestwärmeschutz infolge der hohen Wärmeverluste und vor allem wegen der Tauwassergefahr noch das Risiko hygrischer und thermischer Schäden der Außenhülle, wenn nur ein Mindestluftwechsel nach DIN 4701 [16] im Winter stattfindet.

## 6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war, mit Hilfe eines sehr leistungsfähigen, in der BAM entwickelten Rechenverfahrens zur Berechnung dreidimensionaler Temperatur- und Wärmestromverteilungen unter stationären Randbedingungen das Problem der Vermeidung von Tauwasserbildung in Ecken, das wegen des großen numerischen Aufwandes bisher kaum untersucht werden konnte, eingehender zu beleuchten. Die Untersuchung zeigt, daß das Tauwasserrisiko in einem Wohnraum in weit stärkerem Maße von der wärmeschutztechnischen Ausbildung der

unvermeidbaren dreidimensionalen geometrischen Wärmebrücken beeinflusst wird, als es die Ergebnisse bei zweidimensionalen Wärmebrücken erwarten lassen. Dies führt dazu, daß bei einer Konstruktion mit Mindestwärmeschutz bei behindertem Wärmeübergang auf der Innenseite zur Vermeidung von Tauwasserschäden ein überproportional großer Luftwechsel während der gesamten Heizperiode notwendig wird. Dieser ist so hoch, daß die Forderung in [26], energieaufwendiges Lüften zu vermeiden, nicht mehr erfüllbar ist.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

1. Je geringer die Wärmedurchlaßwiderstände der Außenbauteile sind, um so stärker sinken die Innenoberflächentemperaturen und steigt der Energieaufwand für die Lüftung im Winter und in den Übergangszeiten (Frühling, Herbst). Zu den erhöhten Transmissionswärmeverlusten bei niedrig wärmedämmter Außenhülle treten also noch zusätzlich erhebliche Lüftungswärmeverluste auf. Hiervon am stärksten sind Konstruktionen mit Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 betroffen.
2. Will man Tauwasserschäden wie Schimmelpilzbildung, Stockflecken und Geruchsbelästigung mit Sicherheit vermeiden, so ist bei Wohnungen mit Ecken aus drei Außenbauteilen eine Ausführung der Außenwände mit optimalem Wärmeschutz nach [25] dringend geboten. Nur so ist außerdem eine Aufrechterhaltung hygienischer Wohnverhältnisse bei gleichzeitig sparsamem, umweltschonendem Energieeinsatz möglich.

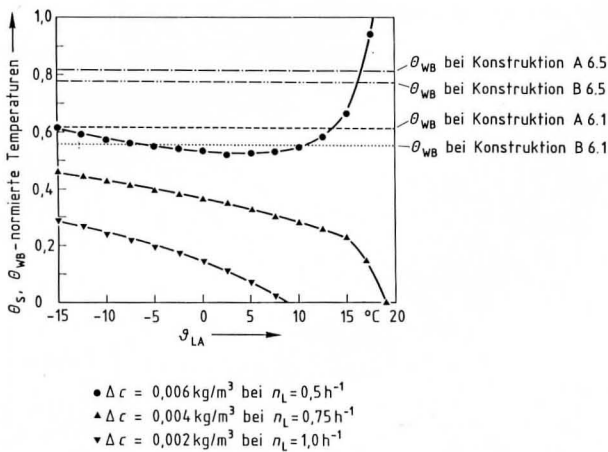


Abb. 21. Vergleich der normierten Innenoberflächentemperatur (WB) mit der normierten Taupunkttemperatur (s) in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur (LA) bei unterschiedlicher spezifischer Wasserdampfproduktion  $\Delta c$  für die Konstruktionen 6.1 und 6.5 der Ecke aus zwei Außenbauteilen und einem Innenbauteil

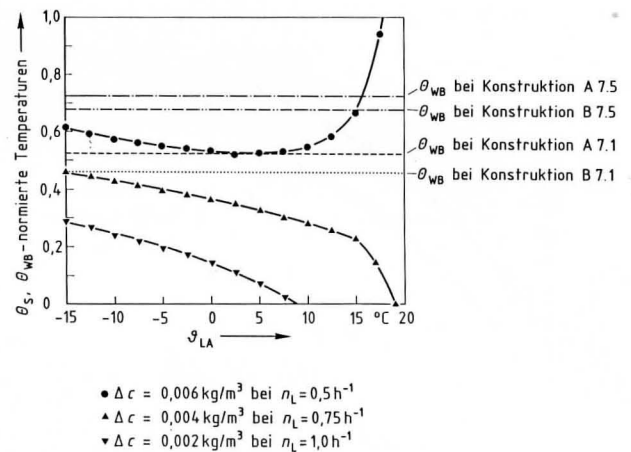


Abb. 22. Vergleich der normierten Innenoberflächentemperatur (WB) mit der normierten Taupunkttemperatur (s) in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur (La) bei unterschiedlicher spezifischer Wasserdampfproduktion  $\Delta c$  für die Konstruktionen 7.1 und 7.5 der Ecke aus drei Außenbauteilen

3. Wegen der erhöhten Tauwassergefahr in den Übergangszeiten ist bei allen Konstruktionen eine Anhebung des Mindestluftwechsels über den Wert der DIN 4701 hinaus nötig.

Als Konsequenzen aus diesen Feststellungen ergeben sich für eine eventuelle Neufassung der Teile 2 und 3 der DIN 4108 [9,10] folgende sinnvolle Ergänzungen:

Der bei Auftreten geometriebedingter Wärmebrücken (Außenecken) vorhandenen Tauwassergefährdung von Außenbauteilen sollte Rechnung getragen werden.

Beim Vorhandensein von Außenecken sollte darauf hingewiesen werden, daß an Stelle des bisherigen Mindestwärmeschutzes das entsprechende Außenbauteil zumindest nach den Vorgaben der Wärmeschutzverordnung [7], nach Möglichkeit sogar mit wirtschaftlich optimalem Wärmeschutz nach [25], auszuführen ist.

Zur Verminderung des Tauwasserrisikos und der damit verbundenen Schäden ist es, wie in [15] bereits gefordert, notwendig, eine Mindestluftwechselzahl für die Übergangszeiten festzulegen.

Auf diese Weise lassen sich Tauwasserausfall und -schäden wirksamer bekämpfen. So ist das Ziel eines energiesparenden, umweltschonenden Bauens besser zu erreichen. Die in [15] gestellte Frage „Mindestwärmeschutz und/oder Mindestluftwechsel?“ muß bei den heutigen baulichen Erfordernissen mit

„Optimaler Wärmeschutz, Mindestluftwechsel im Winter und erhöhter Luftwechsel in den Übergangszeiten“

beantwortet werden.

## 7 Literatur

- [1] Kupke, C.: Temperatur- und Wärmestromverhältnisse bei Eckausbildungen und auskragenden Bauteilen. Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik – Gesundheits-Ingenieur 101 (1980), H. 4, S. 88–95
- [2] Anderson, A. C.: Folgen zusätzlicher Wärmedämmung – Wärmebrücken, Feuchteprobleme, Wärmespannungen, Haltbarkeit. Bauphysik 2 (1980), H. 4, S. 119–124
- [3] Gertis, K.; Erhorn, H.: Jetzt: Wärmebrücken im Kreuzfeuer? Bauphysik 4 (1982), H. 4, S. 135–139
- [4] Kasper, F.-J.; Müller, R.; Rudolphi, R.; Wagner, A.: Zum wärmeschutztechnischen Verhalten des Anschlußbereichs Fenster – Wand. Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik – Gesundheits-Ingenieur 105 (1984), H. 4, S. 169–170 u. S. 223–227
- [5] Mainka, G.-W.; Paschen, H.: Wärmebrückenkatalog. Stuttgart: Teubner, 1986
- [6] Brunner, C. U.; Nänni, J.: Wärmebrückenkatalog 1; Neubaudetails. Dokumentation SIA 99 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 1985
- [7] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung-WärmeschutzV) vom 24. Februar 1982, Bundesgesetzblatt Teil I vom 27. Februar 1982, S. 209
- [8] DIN 4108 Teil 4, Ausgabe Dezember 1985, Wärmeschutz im Hochbau; Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte.
- [9] DIN 4108 Teil 2, Ausgabe August 1981, Wärmeschutz im Hochbau; Wärmedämmung und Wärmespeicherung; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [10] DIN 4108 Teil 3, Ausgabe August 1981, Wärmeschutz im Hochbau; Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [11] DIN 4108 Teil 5, Ausgabe August 1981, Wärmeschutz im Hochbau; Berechnungsverfahren.
- [12] Erhorn, H.; Tammes, E.: Eine einfache Methode zum Abschätzen balkenförmiger Wärmebrücken in Bauteilen mit planparallelen Oberflächen. Bauphysik 7 (1985), H. 1, S. 7–11
- [13] Erhorn, H.: Feuchtflecken in Wohnungen – Tauwasser nur im Winter? IBP – Mitteilungen 105, Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik 12 (1985)
- [14] Hebgen, H.: Neuer baulicher Wärmeschutz. – 1. Aufl. – Braunschweig: Vieweg, 1978.
- [15] Erhorn, H.; Gertis, K.: Mindestwärmeschutz und/oder Mindestluftwechsel? Gesundheitsingenieur gi 107 (1986), H. 1, S. 12–14 u. S. 71–76
- [16] DIN 4701 Teil 1, Ausgabe März 1983, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden; Grundlagen der Berechnung.
- [17] DIN 4710, Ausgabe Oktober 1981, Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs von raumlufttechnischen Anlagen.
- [18] Sagelsdorf, R.: Anforderungen an Fenster und Fassaden aus der Sicht des Bauphysikers. Architektur und Technik 10 (1987), H. 6, S. 14–17
- [19] Becker, R.: Verhütung von Schimmelbildung in Gebäuden. Teil 1: Bauphysikalische Zusammenhänge bei der Tauwasserbildung. Bauphysik 9 (1987), H. 3, S. 79–85
- [20] Becker, R.; Puterman, M.: Verhütung von Schimmelbildung in Gebäuden. Teil 2: Einfluß der Oberflächenmaterialien. Bauphysik 9 (1987), H. 4, S. 107–110
- [21] Erhorn, H.; Gertis, K.: Was trägt die Energieeinsparung im Hochbau zum Umweltschutz bei? Bauphysik 9 (1987), H. 3, S. 65–74
- [22] Gertis, K.: Wärmedämmung innen oder außen? Deutsche Bauzeitschrift 35 (1987), H. 5, S. 631–639

- [23] Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft der Schweiz, Studie Nr. 33, Oberflächentemperaturen im Bereich von Wärmebrücken. Balzari & Schudel AG, Bern, unter Mitwirkung der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Dübendorf
- [24] DIN 4701 Teil 2, Ausgabe März 1983, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden; Tabellen, Bilder, Algorithmen.
- [25] Wärmeschutz & Umweltschutz, Möglichkeiten der Energieeinsparung und der Luftreinhaltung durch baulichen Wärmeschutz. Herausgeber: GDI Gesamtverband Dämmstoffindustrie Frankfurt/Main: 1. Auflage 1987, Heft 4.
- [26] Künzel, H.: Richtiges Heizen und Lüften in Wohnungen. wksb 22 (1987), S. 12-18
- [27] Rudolphi, R.; Kasper, F.-J.: Berechnung der Innenoberflächentemperaturen an einem Paneelaußenwinkel in Sandwichbauweise mit drei Schichten (Innenabdeckung - Wärmedämmung (WD) - Außenabdeckung) bei Randbedingungen wie bei der Tauwasserberechnung nach DIN 4108 unter Einsatz der EDV und stationären Randbedingungen. Berlin: BAM 2.44-Bericht, Vh 02434<sup>13</sup> vom 7. 5. 1985
- [28] Rudolphi, R.; Kasper, F.-J.: Berechnung der Temperaturverteilung an einem Mauerwerksaußenwinkel mit außenliegender Wärmedämmung und Außenputz bei äußeren und inneren Wärmeübergangsbedingungen nach DIN 4108 unter Einsatz der EDV und stationären Randbedingungen. Berlin: BAM 2.44-Bericht, Vh 02434<sup>15</sup> vom 6. 6. 1985
- [29] Rudolphi, R.; Kasper, F.-J.: Berechnung der Temperaturverteilung an einem Mauerwerksaußenwinkel mit innenliegender Wärmedämmung und Außenputz bei äußeren und inneren Wärmeübergangsbedingungen nach DIN 4108 unter Einsatz der EDV und stationären Randbedingungen. Berlin: BAM 2.44-Bericht, Vh 02434<sup>16</sup> vom 7. 6. 1985
- [30] Rudolphi, R.; Müller, R.: Bauphysikalische Temperaturberechnungen in FORTRAN. Bd. 1: Zwei- und dreidimensionale stationäre Probleme des Wärmeschutzes. Stuttgart: Teubner, 1985
- [31] Brunner, C. U.; Nänni, J.: Wärmebrücken; Optimierte Neubau-Details. Bericht NEFF 262.2 des Nationalen Energie-Forschungs-Fonds, Zürich, 30. 4. 1988
- [32] Heindl, W.: Wärmebrücken. Wien: Springer-Verlag, 1987
- [33] Liersch, K.W.: Konstruktive und geometrische Wärmebrücken.  
Teil I: Baumarkt (1986), H. 13, S. 696-698  
Teil II: Baumarkt (1986), H. 14, S. 742-748  
Teil III: Baumarkt (1986), H. 16, S. 883-888

# Brandschäden in Gaststätten und Hotels

H. Wissemann, Kiel

Für die Feuerversicherer ist in der letzten Zeit das Brandrisiko von Gaststätten, Diskotheken, Bars sowie auch bei Hotel- und Beherbergungsbetrieben erheblich gestiegen. Totalschäden werden in steigender Tendenz vermerkt.

Die Brandursachenermittlung ist durch viele technische Einbauten immer schwieriger geworden. Häufig ermittelte Ursachen sind Lichtbogenkurzschlüsse an alten elektrischen Leitungen, fehlerhafte Wärmeeinrichtungen, Brände durch Abfälle in unvorschriftsmäßigen Ascheimern, Entzündung von Fetten durch Überhitzung. Auch die Zahl der Brandstiftungen und der ungeklärten Brandursachen hat zugenommen.

Der negative Schadenverlauf bei diesen Betrieben hat die Versicherer zu gezielten Schadenverhütungstätigkeiten veranlaßt.

## Warum brennt es in diesen Risiken?

Brände im Gaststättengewerbe entstehen trotz vieler Vorsichtsmaßnahmen durch die Verkettung von unglücklichen Umständen. An erster Stelle steht der Mensch mit seinem Verhalten, seiner „Gleichgültigkeit“ und Unachtsamkeit.

Dipl.-Ing. H. Wissemann  
Provinzial Brandkasse  
Versicherungsanstalt Schleswig-Holstein  
- Sachschadenabteilung - Kiel

Brandstiftung in einem Tanzcafé



Totalschaden am Weichdachgebäude; Schadenursache ungeklärt

