

# Einfluß der Lüftung auf die Raumenergiebilanz

Dr.-Ing. Hans-Peter WENZEL,  
Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Wissenschaftsbereich Meß- und Versuchswesen  
Dipl.-Ing. Peter SOBOTKA,  
Slowakische Technische Hochschule Bratislava, Lehrstuhl für Bauphysik



Die Raumheizung steht mit einem Anteil von 30 bis 38 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs an erster Stelle in der volkswirtschaftlichen Energiebilanz. Diese Tatsache fand ihren Niederschlag in der Forderung, den Energiebedarf für Raumheizung bei neugebauten oder modernisierten Gebäuden um 40 Prozent zu senken /1/.

In der Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes gehören die Fenster zu den Konstruktionselementen, die den größten Wärmeverlust (47 bis 65 Prozent) verursachen /2, 3/. Eine Analyse der inneren Struktur der Wärmeverluste durch das Fenster weist einen hohen Anteil der Lüftungswärmeverluste (70 bis 75 Prozent) auf /4/.

Eine Möglichkeit, Energie einzusparen, bietet das unterbrochene Heizregime. Die Dauer der Heizunterbrechung und damit die mögliche Energieeinsparung ist abhängig von der Innen- und Außenlufttemperatur sowie von der Qualität der raumabschließenden Konstruktion.

Um den Einfluß des Fensters in Abhängigkeit von wärmetechnischen und aerodynamischen Charakteristika auf das Wärmebeharrungsvermögen eines Raumes im Winter zu zeigen, werden Fenster mit unterschiedlichen Wärmedurchgangswerten  $k$  und verschiedenen Fugendurchlaßkoeffizienten  $a$  verglichen. Auf diese Weise sind für verschiedenste Varianten die Wärmeverluste ermittelt worden.

## Berechnungsmethode und Randbedingungen Formelzeichen

- $k = 1; 2; \dots; n$  – Anzahl der Konstruktionselemente
- $F_{aw}, F_F, F_{iw}, F_H, F_R$  – Oberflächen der Konstruktionselemente  $m^2$
- $\alpha_{aw}, \alpha_{iw}, \alpha_R$  – Wärmeübergangswert zwischen den Konstruktionselementen und der angrenzenden Luft  $Wm^{-2}K^{-1}$

- $k_F, k_H$  – Wärmedurchgangswert von Fenstern und Heizkörpern  $Wm^{-2}K^{-1}$
- $t_a$  – Außenlufttemperatur  $^{\circ}C$
- $t_i$  – Raumlufttemperatur  $^{\circ}C$
- $t_i(\tau)$  – Raumlufttemperatur zum Zeitpunkt der Betrachtung  $^{\circ}C$
- $t_{aw}(\tau), t_{iw}(\tau)$  – Oberflächentemperaturen der symmetrisch bzw. einseitig gekühlten Konstruktionselemente  $^{\circ}C$
- $G_L$  – Luft-Volumenstrom  $m^3 s^{-1}$
- $c$  – Spezifische Wärme der Luft  $Jm^3 K^{-1}$
- $t_{io}$  – Ausgangs-Lufttemperatur  $^{\circ}C$
- $t_{HO}, t_{RO}$  – Ausgangs-Oberflächentemperatur von Heizkörpern und Konstruktionselementen  $^{\circ}C$
- $Q_0$  – Einzelwärmequelle (Wärmeproduktion z. B. durch Menschen, Maschinen, Beleuchtung usw.)  $J$
- $A_H = c_{Met} \cdot M_{Met} \cdot c_{Ww} \cdot M_{Ww}$  – Wärmeakkumulation der Heizkörper  $JK^{-1}$
- $c_{Met}, c_{Ww}$  – spezifische Wärme von Metall und Wasser  $Jkg^{-1}K^{-1}$
- $M_{Met}, M_{Ww}$  – Masse von Metall und Wasser  $kg$
- $A_R = \sum_{k=1}^n c_R^k \cdot M_R^k$  – Wärmeakkumulation der Einrichtungsgegenstände  $JK^{-1}$

In Ermangelung einer Berechnungsmethode nach Standard TGL 35424 „Bautechnischer Wärmeschutz“ wurde nach den Vorschriften der Norm ČSN 730549 /5/ verfahren. Die Berechnung des Wärmebeharrungsvermögens eines Raums geht vom eingestellten Wärme fluß zu Beginn der Heizunterbrechung aus. Demnach sind die Wärmegewinne  $Q_0$  gleichgroß den Wärmeverlusten  $Q_v$ .

$$Q_0(\tau = 0) = Q_v(\tau = 0) \tag{1}$$

Die Wärmeverluste durch die einseitig abgekühlte Konstruktion ergeben sich aus den Verlusten durch die Außenwand  $Q_{aw}$  und dem Wärmedurchgang  $Q_F$ , die Lüftungswärmeverluste  $Q_L$  durch das Fenster

$$Q_v(\tau) = Q_{aw}(\tau) + Q_F(\tau) + Q_L(\tau) \tag{2}$$

Die Wärmegewinne sind zum Abschluß der Heizunterbrechung geringer als die Wärmeverluste. Wärmegewinne aus symmetrisch abgekühlten Konstruktionen  $Q_{iw}$ , aus den Heizkörpern  $Q_H$ , den Gegenständen im Raum  $Q_R$  und aus anderen Quellen  $Q_0$  müssen in Betracht gezogen werden

$$Q_0(\tau) = Q_{iw}(\tau) + Q_H(\tau) + Q_R(\tau) + Q_0(\tau) \tag{3}$$

Nach Ersatz der einzelnen Größen und entsprechendem Umformen errechnet sich die Gleichung zum Bestimmen der Endlufttemperatur nach der Heizungsunterbrechung

$$t_i(\tau) = \frac{A}{B} \tag{4}$$

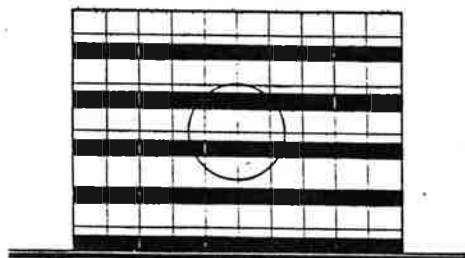
mit

$$A = \sum_{k=1}^n F_{aw}^k \alpha_{aw}^k t_{aw}^k(\tau) + \sum_{k=1}^n F_F^k k_F^k t_F^k + \sum_{k=1}^n F_{iw}^k \alpha_{iw}^k t_{iw}^k(\tau) - G_L c \left( \frac{t_i}{2} - t_a \right) + F_H k_H t_{HO} \cdot \exp\left( \frac{-F_H k_H}{A_H} \tau \right) + F_R \alpha_R t_{RO} \cdot \exp\left( \frac{-F_R \alpha_R}{A_R} \tau \right) + \sum_{k=1}^n Q_0^k \tag{5}$$

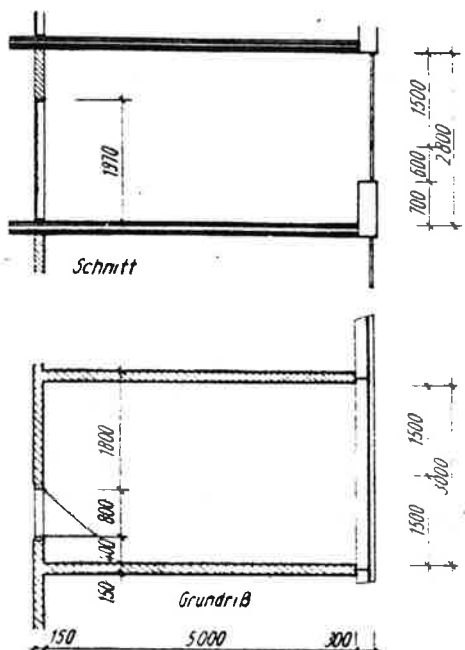
$$B = \sum_{k=1}^n F_{aw}^k \alpha_{aw}^k + \sum_{k=1}^n F_F^k k_F^k + \sum_{k=1}^n F_{iw}^k \alpha_{iw}^k + S_R \alpha_R \cdot \exp\left( \frac{-F_R \alpha_R}{A_R} \tau \right) \tag{6}$$

Die Endtemperatur nach der Heizunterbrechung, die das Wärmewohlbefinden ausdrückt ( $t_R(\tau)$ ), ist eine Summentemperatur nach Gl. (7)

$$t_R(\tau) = t_i(\tau) + t_w(\tau) \tag{7}$$



1 Einordnung eines charakteristischen Raums in das Gebäude



2 Charakteristischer Raum

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften der Baustoffe

Konstruktion	Material	Dicke in m	$\lambda$ in $Wm^{-1}K^{-1}$	$c$ in $Jkg^{-1}K^{-1}$	$\rho$ in $kgm^{-3}$
Außenwand	Außenputz	0,015	0,990	840	1850
	Gasbeton	0,300	0,260	840	700
	Innenputz	0,010	0,700	840	1600
Innenwand	Putz	0,010	0,700	840	1600
	Ziegel	0,150	0,640	960	1350
	Putz	0,010	0,700	840	1600
Fußboden und Decke	PVC	0,005	0,160	940	1400
	Estrich	0,052	1,160	840	2000
	Pappe	0,003	0,210	1470	1100
	Wärmedämmung	0,020	0,044	1380	600
	Stahlbeton	0,130	1,710	840	2500
	Putz	0,010	0,700	840	1600

Tabelle 2: Mittlerer Wärmedurchgangswert  $k$  - nach Meßergebnissen VÜPS Gottwaldov (3)

Fenstertyp	Wärmedurchgangswert der Verglasung $k$ in $W m^{-2} K^{-1}$	Mittlerer Wärmedurchgangswert mit Einfluß des Rahmens und der Leibung $k_F$ in $W m^{-2} K^{-1}$
Holzfenster		
Doppelfenster	2,1	2,22
Verbundfenster	2,6	2,83
Einfachfenster mit Dreifachverglasung	1,7	1,93
Einfachfenster mit Doppelverglasung	2,8	3,03
Metallfenster		
Doppelfenster	3,2	3,5
Verbundfenster	3,4	4,0
Einfachfenster mit Dreifachverglasung	2,8	3,4
Einfachfenster mit Doppelverglasung	4,1	4,7
Kombiniertes Holz-Metall-Fenster		
Verbundfenster	3,3	3,6

$t_w(\tau)$  ergibt sich aus

$$t_w(\tau) = \frac{\sum_{k=1}^n F_{aw}^k t_{aw}(\tau) + \sum_{k=1}^n F_{iw}^k t_{iw}(\tau) + \sum_{k=1}^n F_F^k t_{ind}(\tau)}{\sum_{k=1}^n F_{aw}^k + \sum_{k=1}^n F_{iw}^k + \sum_{k=1}^n F_F^k} \quad (8)$$

$t_w(\tau)$  - durchschnittliche innere Oberflächen­temperatur zum Abschluß der Heizunterbrechung

Die Forderung, daß der Raum nach der Heizunterbrechung bei winterlichen Außenlufttemperaturen dem Wärmewohlbefinden entsprechen muß, berücksichtigt verschiedene Zwecke der Raumnutzung /6/. So muß nach /6 (ČSN 730540)/ für Räume, die dem ständigen Aufenthalt von Menschen mit vorwiegend leichter Tätigkeit dienen, Gl. (9) erfüllt sein

$$t_R(\tau) \geq 32^\circ C. \quad (9)$$

In der Berechnung wurde der Abfall der Summentemperatur  $t_R(\tau)$  in Stundenintervallen über 12 Stunden Heizunterbrechung ermittelt.

Die Randbedingungen wurden in Übereinstimmung mit TGL 35424 gewählt /7/. Als Raumlufttemperatur kam  $t_i = 20^\circ C$ , als Außenlufttemperatur  $t_a = -15^\circ C$  zum Ansatz.

Unterbrochenes Heizregime ist immer dann realisierbar, wenn durch Sinken der Temperatur über ein bestimmtes Zeitintervall die Nutzung des Raums nicht beeinträchtigt wird, also in Verwaltungsgebäuden und Gesellschaftsbauten, die während der Nachtstunden nicht genutzt werden.

Zur Bestimmung von Größe, Umschließungsflächen und Fensterflächen wurde von einem Raum in einem typischen Verwaltungsgebäude ausgegangen, wie es in den vergangenen Jahren in der DDR bzw. in der ČSSR gebaut wurde (Bild 1). Grundriß und Schnitt sowie Innenwandaufbau sind aus Bild 2 ersichtlich. Die physikalischen Eigenschaften der Baustoffe sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Wärmetechnische und Lüftungstechnische Eigenschaften der Fenster

Das Fenster wird wärmetechnisch durch den Wärmedurchgangswert  $k$  charakterisiert. Die lüftungstechnischen Eigenschaften werden mit dem Fugendurchlaßwert  $a_{v,l}$  bzw.  $a_{m,l}$  volumen- bzw. massebezogen auf laufenden Meter Fuge angegeben. Der Wärmeenergieverlust für den einfachen Wärmedurchgang wurde nach Gl. (8) ermittelt, wobei die  $k$ -Werte aus Meßergebnissen für einen konkreten Fenstertyp stammen. Es gilt:

$$Q_F = k_F \cdot F_F \cdot \Delta t. \quad (10)$$

Die Wärmeverluste durch die Glas- bzw. die Fensterrahmenflächen wurden durch Messungen ermittelt /3/. Der rechnerische mittlere  $k$ -Wert für verschiedene Fensterkonstruktionen ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Im Berechnungsbeispiel ist die Situation durch Wahl der niedrigsten rechnerischen Außenlufttemperatur für das Wärmedämmgebiet I  $t_a = -15^\circ C$  vereinfacht. Die Heizunterbrechung beträgt nur einige Stunden, die bevorzugt in die Zeit schwacher bzw. ohne Sonneneinstrahlung eingeordnet wurden.

Der geforderte  $k$ -Wert im internationalen Vergleich ist in Tabelle 3 angegeben.

Die zweite wichtige Verlustquelle für Wärmeenergie stellt die durch das Fenster einströmende Kaltluft dar. Um eine Optimierung der Lüftungswärmeverluste zu erreichen, ist es unumgänglich, das einströmende Luftvolumen von einer möglichst vom Menschen unabhängigen Regelung beeinflussen zu lassen.

Nach hygienischen Vorschriften ist ein Luftwechsel von  $0,3 \dots 0,5 h^{-1}/9/$  vorzusehen. Der Anteil der Lüftungswärmeverluste an den Gesamtwärmeverlusten ist in Bild 3 dargestellt.

Die Luftinfiltration wird durch die Druckdifferenz zwischen Außen- und Innenklima hervorgerufen. Diese Druckdifferenz ist eine Funktion der Temperaturunterschiede und der Windgeschwindigkeit. Für energieökonomische Betrachtungen wird eine Druckdifferenz von 100 Pa empfohlen /4/.

Ein Maß für die Luftdurchlässigkeit gibt der Fugendurchlaßkoeffizient  $a_{v,l}$  bzw. der entsprechende Luft-Volumenstrom  $G_{v,l}$  an

$$G_{v,l} = a_{v,l} \cdot \Delta p^n, \quad (11)$$

mit

$G_{v,l}$  - Luft-Volumenstrom durch einen laufenden Meter Fuge  $m^3 m^{-1} h^{-1}$

$a_{v,l}$  - Fugendurchlaßkoeffizient  $m^3 h^{-1} m^{-1} Pa^{-2/3}$

$\Delta p$  - Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenklima Pa

$n$  - Exponent, der die Komprimierung der Fugendichtung ausdrückt (in der Regel 2/3)

Die Fugendurchlaßkoeffizienten sind nach Gl. (12) in Ansatz gebracht. Der Luft-Volumenstrom für einen laufenden Meter Fuge bei  $\Delta p = 100$  Pa und einem mittleren Fugendurchlaßkoeffizienten

$a_{v,l} = 0,504 m^3 h^{-1} m^{-1} Pa^{-2/3}$  (Holzverbundfenster) ergibt sich nach Gl. (10) mit

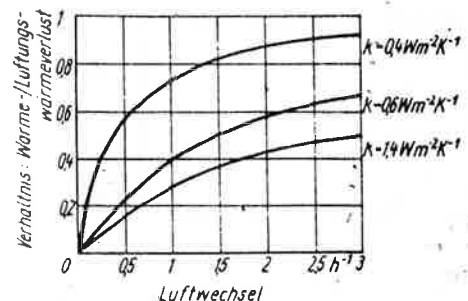
$$G_{v,l} = 0,054 \cdot 100^{2/3} = 10,9 m^3 m^{-1} h^{-1}.$$

Für die gesamte einströmende Luftmenge gilt

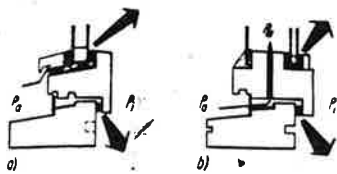
$$G_L = G_{v,l} \cdot L \quad (12)$$

Tabelle 3: Geforderte Wärmedurchgangswerte  $k$  in ausgewählten europäischen Staaten

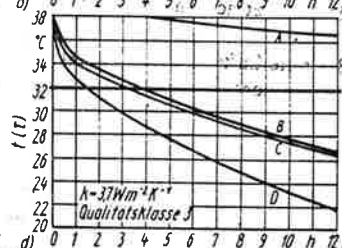
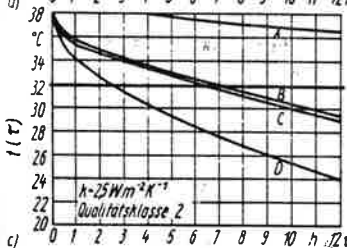
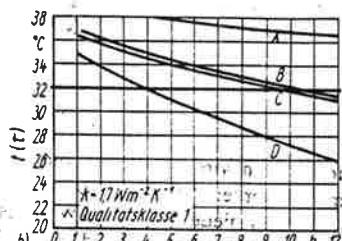
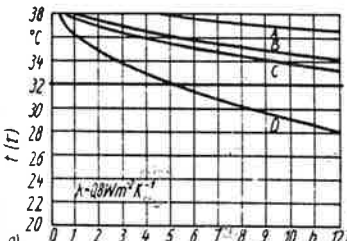
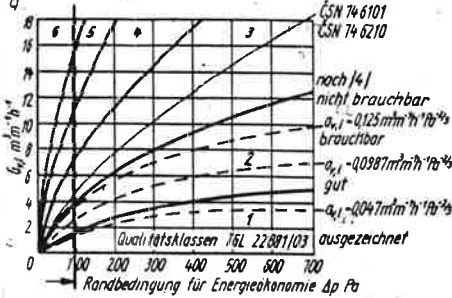
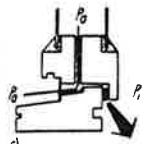
Staat	$k$ in $W m^{-2} K^{-1}$
ČSSR	3,7
BRD	3,0
DDR	2,57
Dänemark	2,5
Frankreich	2,3
Norwegen	2,3
Schweden	2,5



3 Abhängigkeit der Wärmeverluste von der Raumheizung



#### 4 Kriterien für die Luftdurchlässigkeit von Fenstern; Fenstertypen



- 5 Zeitlicher Verlauf der Auskühlung des Raums
- a)  $G_L = 0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
  - b)  $G_L = 0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
  - c)  $G_L = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
  - d)  $G_L = 2,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$   $\Delta p = 100 \text{ Pa}$

mit  
 $G_L$  – einströmende Kaltluft  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $L$  – Fugenlänge  $\text{m}$

Für das Beispiel ergibt sich  
 $G_L = 10,9 \cdot 20,4 = 222,36 \text{ m}^3/\text{h}$   
 Der stündliche Luftwechsel beträgt

$$n = \frac{G_L}{V_R} \quad (13)$$

mit  
 $n$  – Anzahl der Luftwechsel im Raum  $\text{h}^{-1}$   
 $V$  – Raumvolumen  $\text{m}^3$

$$n = \frac{222,36 \text{ m}^3/\text{h}}{42 \text{ m}^3} = 5,3 \text{ h}^{-1}$$

Der Luftwechsel ist etwa 17fach größer als die Minimalforderung  $n = 0,3 \text{ h}^{-1} / 10/$  und noch um das Mehrfache größer als die zurückhaltendste hygienische Forderung.

An der Baufakultät der Slowakischen Technischen Hochschule (SVŠT) wurden aufgrund experimenteller Ergebnisse einheitlich strenge Bewertungskriterien für Fensterkonstruktionen erarbeitet [4]. Die neuen Bewertungsmethoden – niedrige Fugendurchlaßkoeffizienten in Verbindung mit Gl. (11) und einer Druckdifferenz  $\Delta p = 0 + 700 \text{ Pa}$  – ergeben Normgraphen zum Einstufen der Fenster nach ihrer Luftdurchlässigkeit. Die Normgraphen wurden für drei Qualitätsklassen entwickelt (Bild 4). Die wärmetechnischen und lüftungstechnischen Parameter der der Berechnung zugrundeliegenden Fenster leiten sich aus Forderungen der

Standards und aus Meßergebnissen an typischen und hervorragenden Fensterkonstruktionen ab. Die untersuchten Varianten sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Die Berechnungen erfolgten nach [11].

#### Diskussion der Ergebnisse

Der Abkühlungsverlauf im Raum innerhalb von 12 Stunden ist in Bild 5 dargestellt. Die Wärmeverluste sind nach ihrer Ursache in Tabelle 5 aufgeschlüsselt.

Ein Fenster nach Bild 4 weist bei einer Fugenlänge  $L = 6 \text{ m}$  einen Luft-Volumenstrom  $G_L = 127,5 \text{ m}^3/\text{h}$  auf. Typische Fensterkonstruktionen, wie sie vielfach bei Neubauten und Modernisierungsmaßnahmen vorgesehen werden (Qualitätsklasse 4 ... 6), sichern einen Luft-Volumenstrom von  $G_L = 222$  bis  $380 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Bei einem Wärmedurchgangswert  $k = 3,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  und darunter ist die Forderung nach minimaler Summentemperatur  $t_R$  nicht erfüllbar (Bild 5d). Ein Vergleich des Verlaufs von  $t_R$  bei der Variante A ohne Fenster mit den anderen Fenstervarianten (Bild 5d) führt zu der Überzeugung, daß zwischen Außenwand und Fensterkonstruktion große Disproportionen herrschen. Eine weitere Erhöhung der wärmetechnischen Eigenschaften der Außenwand würde die Unterschiede zur öffnungschließenden Konstruktion vergrößern und deshalb zu keinem optimalen Ergebnis führen.

Die mögliche Heizunterbrechung ( $t_R \geq 32^\circ \text{C}$ ) für Fenster nach B, C mit einem  $k$ -Wert von  $2,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  beträgt weniger als acht Stunden (Bild 5c). Die wirklichen Verhältnisse liegen aber weit günstiger. Wird in die Betrachtungen die Tatsache einbezogen, daß die Summentemperatur  $t_R$  ( $\tau$ ) aufgrund der nicht eingestellten Temperatur  $t_i$  und der eingestellten Temperatur  $t_e$  berechnet wird (die Randbedingung  $t_e = -15^\circ \text{C}$  in Ansatz gebracht), ergibt sich eine wesentlich längere Heizunterbrechung in den 220 Heizztagen/Jahr.

Bei Graph 5b mit Fenstern der Qualität  $k = 1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  ist eine Heizunterbrechung von acht Stunden auch bei extremen Witterungsbedingungen real. Die Qualitätsverbesserung der Fenster von  $k = 3,7$  auf  $k = 1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  muß allerdings mit einem mindestens doppelt so hohem Preis erkauft werden.

Der Graph 5a verdeutlicht den Einfluß der einströmenden Kaltluft auf das Temperaturregime im Raum ohne zusätzliche Wärmeverluste durch das Fenster. Die Variante  $k = 0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ;  $G_L = 0 \text{ m}^3/\text{h}$  verdeutlicht den fehlenden Einfluß der Akkumulationsfähigkeit eines Fensters mit den Eigenschaften der Umfassungskonstruktion.

Wenn in einem Raum zwei Menschen arbeiten, die während der Arbeitszeit rauchen, wird ein Luft-Volumenstrom  $G_L = 60 \text{ m}^3/\text{h}$  benötigt [9]. Ein Fenster mit einem Fugendurchlaßkoeffizienten  $a_{v,1} = 0,125 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}^{-1}$  (entspricht der Qualitätsklasse 3 nach TGL 22881) erfüllt bei  $\Delta p = 100 \text{ Pa}$  gerade diese Forderung ( $G_L = 55,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

#### Zusammenfassung

Der Anteil der Raumheizung am Gesamtenergieverbrauch der Volkswirtschaft beträgt 30 bis 38 Prozent [1].

Wege zur Einsparung von Heizenergie sind

- Verringerung der Wärmeverluste bei Wärmeenergie-transport und -abgabe in Heizungssystemen
- Reduzierung der Wärmeverluste bei Umschließungskonstruktionen (Außenwand, öffnungschließende Konstruktionen, Dach, Fundament)
- Senkung der Lüftungswärmeverluste
- Sinnvolle Energieanwendung und -nutzung (Heizregime, Wärmerückgewinnung).

Tabelle 4: Ausgangswerte der einzelnen Varianten zur Bestimmung der Summentemperatur  $t_R$

Graph	Variante	$a_{v,1}$ in $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}^{-1}$	$G_L$ in $\text{m}^3/\text{h}$	$k$ in $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
A	A	0,0	0,0	0,8
	B	0,0312	0,7	1,7
	C	0,0625	1,4	2,5
	D	0,125	2,7	3,7
B	B	0,0312	0,7	1,7
	C	0,0625	1,4	2,5
	D	0,125	2,7	3,7
	C	B	0,0312	0,7
C		0,0625	1,4	2,5
D		0,125	2,7	2,5
D		B	0,0312	0,7
	C	0,0625	1,4	3,7
	D	0,125	2,7	3,7

Tabelle 5: Wärmeverluste des Raums

Graph	Variante	k Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	G <sub>v,1</sub> m <sup>3</sup> m <sup>-1</sup> h	Q <sub>F</sub> (W)		Q <sub>ev</sub> (W)	Q <sub>ges</sub> (W)	Q <sub>F</sub> /Q <sub>ev</sub> (%)	Q <sub>F</sub> /Q <sub>ges</sub> (%)
				Durchgang	Lüftung				
	A	0,8	0,0	176,4	0	55	231,4	3,2	0
A	B	0,8	0,7	176,4	182,0	55	413,4	6,5	44
	C	0,8	1,4	176,4	359,4	55	590,8	9,74	60,83
	D	0,8	2,7	176,4	682,5	55	913,9	15,61	74,7
B	B	1,7	0,7	374,8	182,0	55	524,7	10,1	29,1
	C	1,7	1,4	374,8	359,4	55	802,1	13,3	44,8
	D	1,7	2,7	374,8	682,5	55	1125,2	19,2	60,7
C	B	2,5	0,7	551,2	182,0	55	806,4	13,3	22,6
	C	2,5	1,4	551,2	359,4	55	983,8	16,6	36,5
	D	2,5	2,7	551,2	682,5	55	1306,9	22,4	52,2
D	B	3,7	0,7	815,8	182,0	55	1575,3	18,1	11,5
	C	3,7	1,4	815,8	359,4	55	1752,7	21,4	20,5
	D	3,7	2,7	815,8	682,5	55	2075,8	27,2	32,9

Wie aus den Untersuchungsergebnissen hervorgeht, muß den Wärmeverlusten und den Maßnahmen zu ihrer Reduzierung vor allem an den Fenstern besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Der überlegt ausgewählte Fensterflächenanteil in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung der Fassade, den geographischen Besonderheiten, vom Zweck des Gebäudes sowie von der Fensterqualität bildet die Grundlage für eine langfristige Energieökonomie in einem Gebäude.

Literatur

1/1 Arndt, H.: Verbesserter bautechnischer Wärmeschutz – ein Beitrag zum energieökonomischen Bauen. In: 2. Energiesymposium, „Wissenschaftliche Zeitschrift“ HAB Weimar 4/5 1985  
 1/2 Geris, K.: Energieverbrauch und Wärmeschutz im Hochbau. „Heizung – Lüftung – Haustechnik“ 3/1975  
 1/3 Mrlik, F.: Einfluß der Eigenschaften und der Anordnung des Fensters auf den Heizenergieverbrauch. Informationsauswahl von örtlichen Baubetrieben. „VÜPS“ Prag 5/1985 (tschech.)

1/4 Bielek, M./Wenzel, H.-P.: Anteil des Fensters an der Energieökonomie von Gebäuden. In: 2. Energiesymposium, „Wissenschaftliche Zeitschrift“ HAB Weimar 4/5 1985  
 1/5 ČSN 730549 Wärmetechnische Eigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen; Berechnungsmethoden  
 1/6 ČSN 730540 Wärmetechnische Eigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen; Begriffe und Forderungen  
 1/7 TGL 35424 Bautechnischer Wärmeschutz  
 1/8 Petraš, O.: Beitrag zur Bestimmung der Energiebilanz von Wohngebäuden im Jahresverlauf. Dissertation, SVŠT Bratislava 1983 (slow.)  
 1/9 Fanger, P. O./Berg, B./Munch/Ilansen, G.: Ventilation Requirements for the Control of Body Oder in Spaces Occupied by Women. In: Proceedings of Indoor AIR 8, 1984, Stockholm  
 1/10 Geris, K.: Bauphysikalische Grundlagen der Wohnungslüftung. „Deutsche Bauzeitung“ 2/1984.  
 1/11 Halahyja, M. u. Kol.: Bauliche Wärmetechnik und Akustik. Verwendung der Rechentechnik, Bratislava 1984 (slow.)

## Wärmebrücken und technische Gebäudeausrüstung

Dr.-Ing. Peter BAUM

VEB Maschinenfabrik Halle, Außenstelle Dresden

Durch die Anwendung von Montagebauweisen, die Verwendung feuchteempfindlicher Baustoffe sowie durch die Notwendigkeit Energie einzusparen, verschärfte sich in den vergangenen Jahren das Problem „Wärmebrücke“. Es erfordert nicht nur in bautechnischer Hinsicht, sondern auch bezüglich der technischen Gebäudeausrüstung Beachtung, denn erst durch den Einfluß der gebäudetechnischen Anlagen werden Wärmebrücken wirksam.

Wärmebrücken sind kleine Konstruktionsdetails des Baukörpers, die eine größere Wärmestromdichte hindurchlassen können als angrenzende Bauteilbereiche. Mit der größeren Wärmestromdichte ändert sich die Temperaturverteilung im Bauteil an der betreffenden Stelle („thermische Störung“), dabei ist besonders die veränderte Temperatur an der wärmeren Oberfläche bedeutsam.

Die genannten Erscheinungen werden durch zwei Effekte hervorgerufen, was zu einer Unterscheidung in materialbedingte und geometrisch bedingte Wärmebrücken führte [1, 2].

Material- oder stoffbedingte Wärmebrücken bestehen aus gut wärmeleitenden Materialien, die in geringer leitende Baustoffe eingeschlossen sind und eine wirksame thermische Verbindung zwischen verschiedenen Räumen herstellen (Bild 1).

Bei geometrisch bedingten Wärmebrücken beruht die größere Wärmestromdichte auf Formveränderungen am Bauteil ohne Veränderung der Materialkombination (Bild 2).

Während sich bei der erstgenannten Art eine Wärmebrücke ziemlich klar vom übrigen Bauteil an den Rändern des Materialeinschlusses abgrenzen läßt, gibt es bei der zweiten Variante keine örtlich abgrenzbaren Wärmebrücken.

Interessanter als die Größe einer Wärmebrücke ist allerdings die Reichweite der thermischen Störung, d. h. die Größe ihres Wirkungsbereichs, der auch die benachbarten Bauteilbereiche erfaßt. Da sich die thermische Störung, ausgehend vom Zentrum der Wärmebrücke, unter

ständiger Abschwächung unendlich weit ausdehnt, muß mit der Festlegung einer plausiblen Größe (z. B. Taupunkttemperatur der Raumluft an der inneren Bauteiloberfläche) der Wirkungsbereich begrenzt werden. Die alternative Einteilung der Wärmebrücken läßt sich jedoch nur in wenigen Fällen eindeutig anwenden. Bei den meisten Wärmebrücken spielen sowohl die Materialkombination als auch die äußere Form der Wärmebrücke und die innere Form ihrer Einzelteile eine Rolle. Durch Verwendung der verschiedensten Baustoffe in einem Bauteil bei den modernen Bauweisen dominiert der materialbedingte Wärmebrückeneffekt.

### Lage von Wärmebrücken

Wärmebrücken treten an den Stellen eines Gebäudes auf, an denen Bauteile aneinanderstoßen, sich durchdringen oder ihre Form ändern. Bei traditionellen Bauten sind das die Gebäudekante und -ecke, die Fensterleibung, das auskragende Flachdach, die Balkonplatte (Kühlrippe) sowie abgewandelte Formen davon (Bild 3).

1 Materialbedingte Wärmebrücke: Betonsteg in schwerer Dreischichtenplatte, Wärmestromlinien und Verlauf der Oberflächentemperaturen (schematisch)

