

**Institut für Hochbau und Bauphysik**  
mit angeschlossenem Labor für Bauphysik  
Notifizierte und Akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle

Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing.  
Dr.techn. Dr.iur. Peter Kautsch  
Lessingstraße 25, A-8010 Graz  
Inffeldgasse 24  
kautsch@tugraz.at  
www.ihb.tugraz.at

Sekretariat  
Christine Tuna

Tel: ++43 316 873-6241  
Fax: ++43 316 873-6740  
christine.tuna@tugraz.at

DVR: 008 1833

UID: ATU 574 77 929

Graz, am 01.10.2009

# Bauphysik und Lärm

Vorlesungsunterlage  
für das interuniversitäre Studium  
Elektrotechnik-Toningenieur

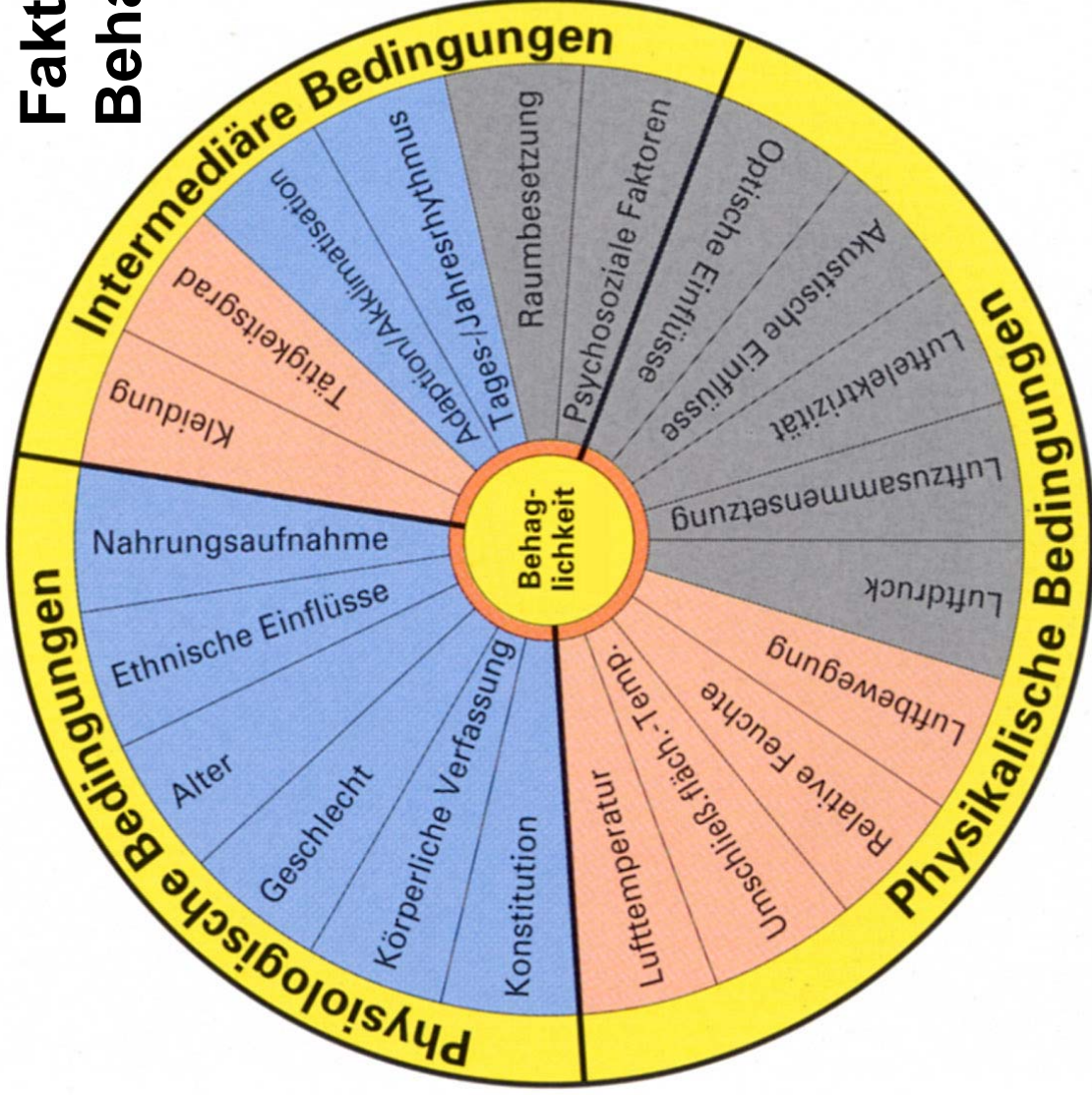
Universität für Musik und  
darstellende Kunst in Graz

Institut für  
Elektronische Musik und Akustik

8010 Graz, Inffeldgasse 10  
Institutsvorstand  
VR O.Univ.-Prof. DI. Mag. Dr. Robert Höldrich

Diese Unterlage dient auch dem allgemeinen und ergänzenden Verständnis für  
alle im Bauwesen Tätigen und wird daher in der Vorlesung nur zum Teil behandelt.

# Faktoren, die zur Behaglichkeit beitragen

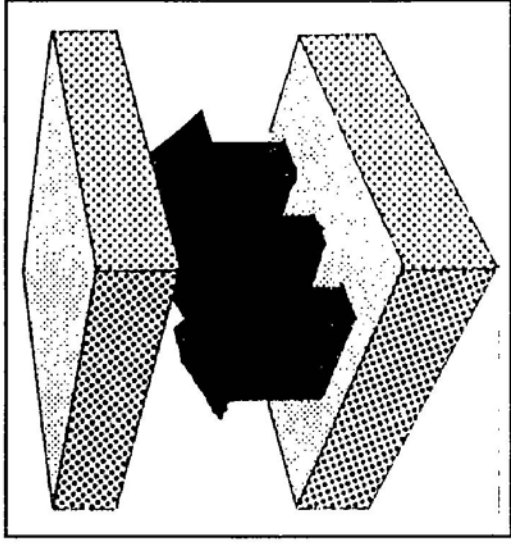


- Primäre und dominierende Faktoren
- Sekundäre und vermutete Faktoren
- Zusätzliche Faktoren

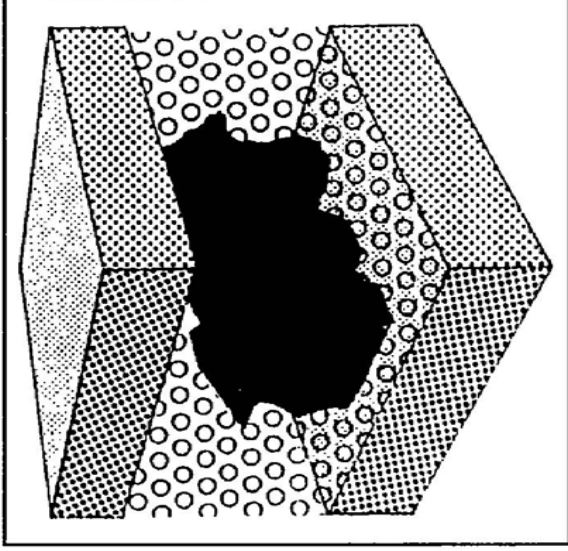
Vorlesungsunterlage zum internen Gebrauch !!

# Wärmeschutz

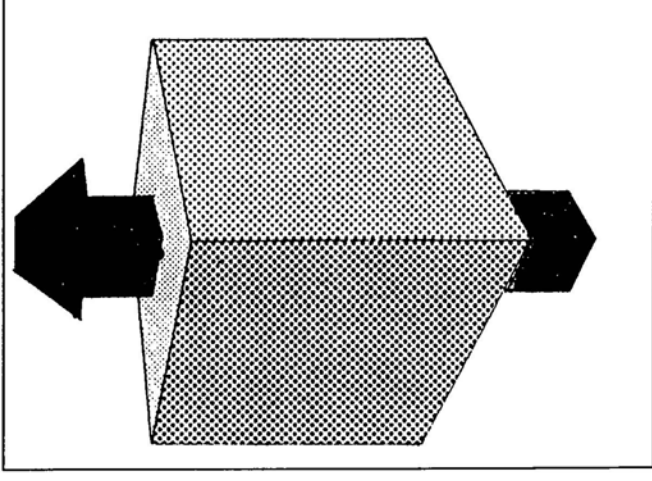
## Wärmetransportmechanismen



Strahlung

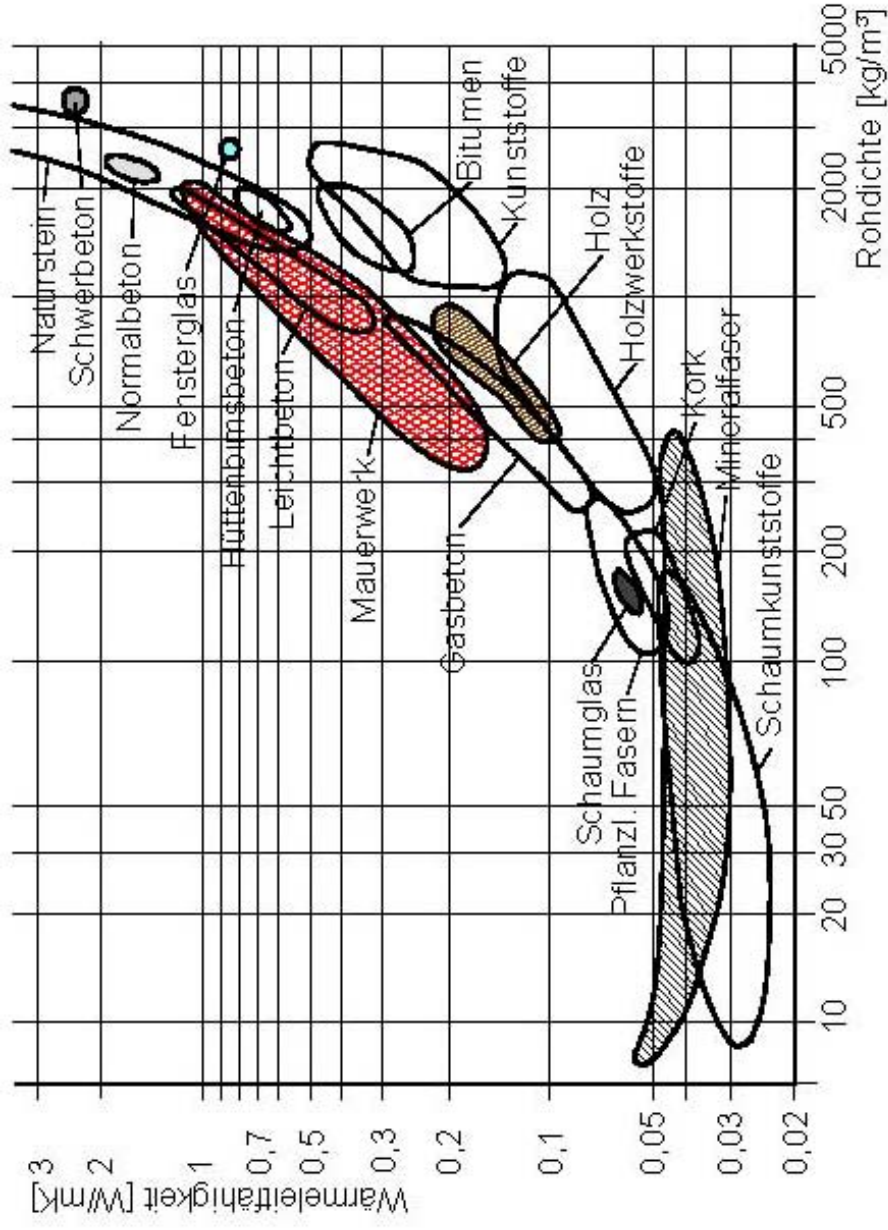


Konvektion



Leitung

## Beziehung zwischen der Wärmeleitung $\lambda$ und der Rohdichte $\rho_R$

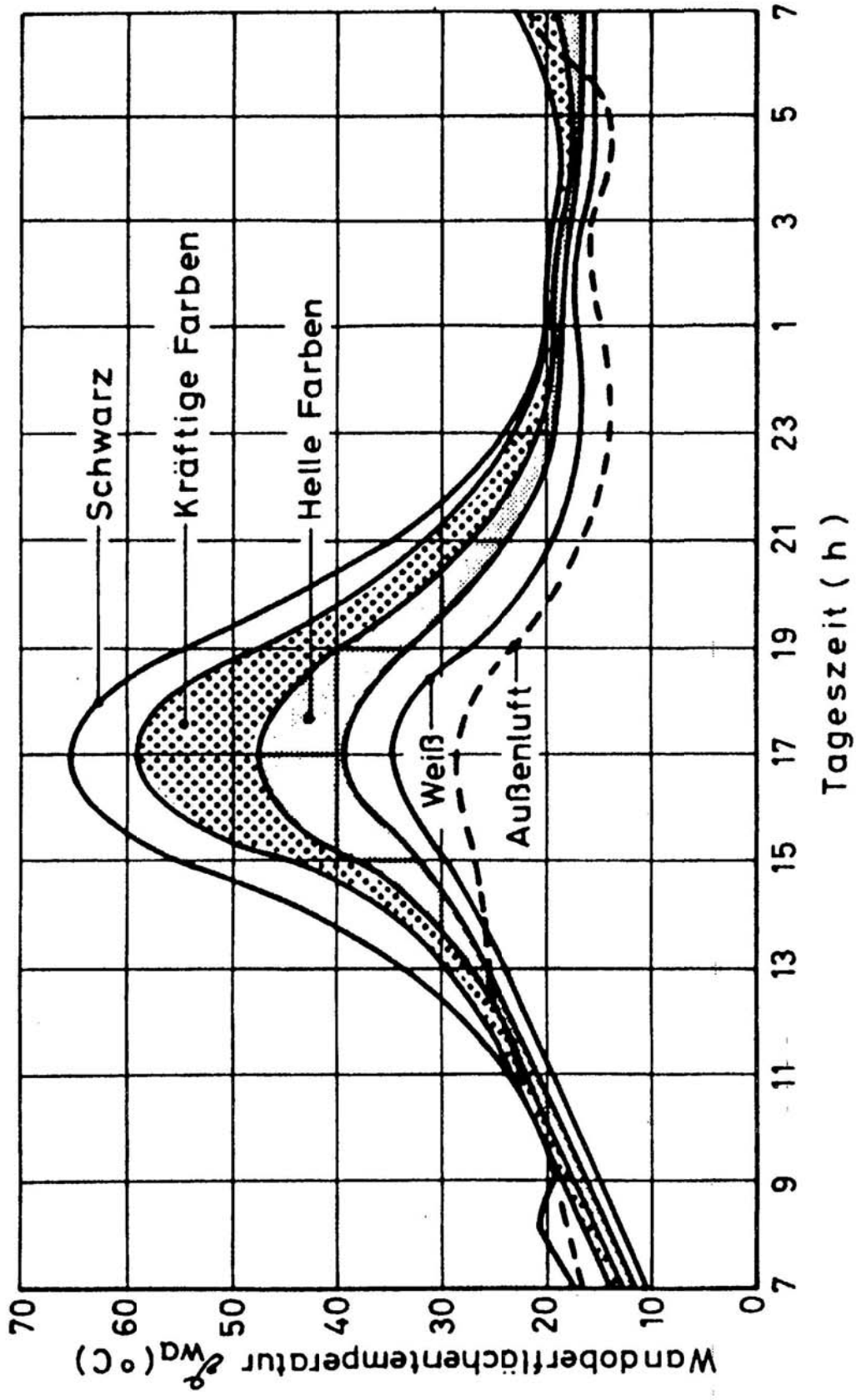


### Merke:

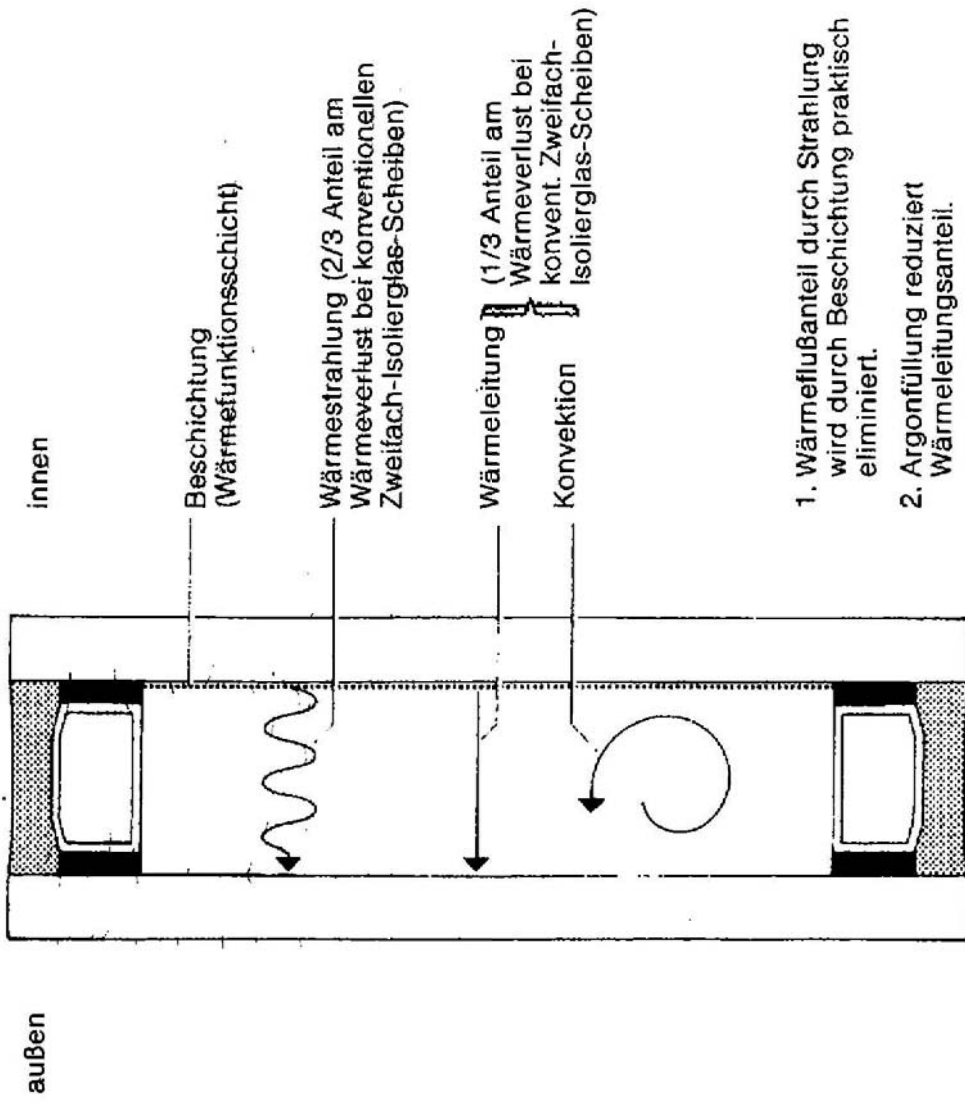
Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes, desto besser sind seine wärmedämmenden Eigenschaften.

Quelle: Skriptum „Thermische Bauphysik“

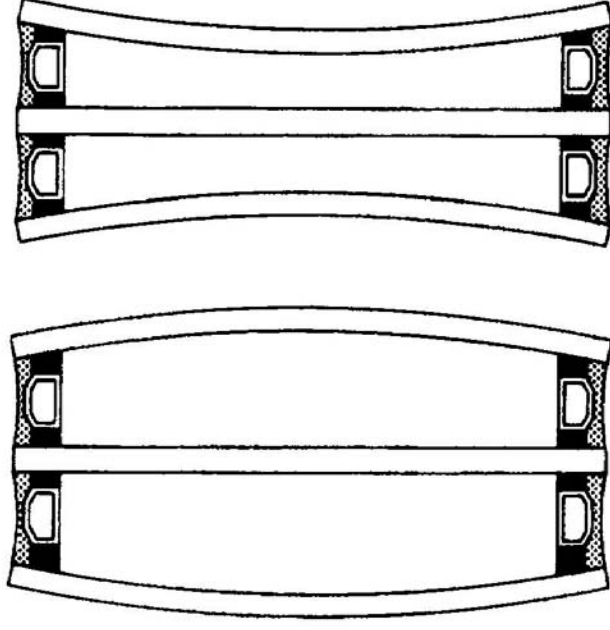
## Wandoberflächentemperaturen in Abhängigkeit von deren Farbe



# Beschichtetes Wärmefunktionsglas

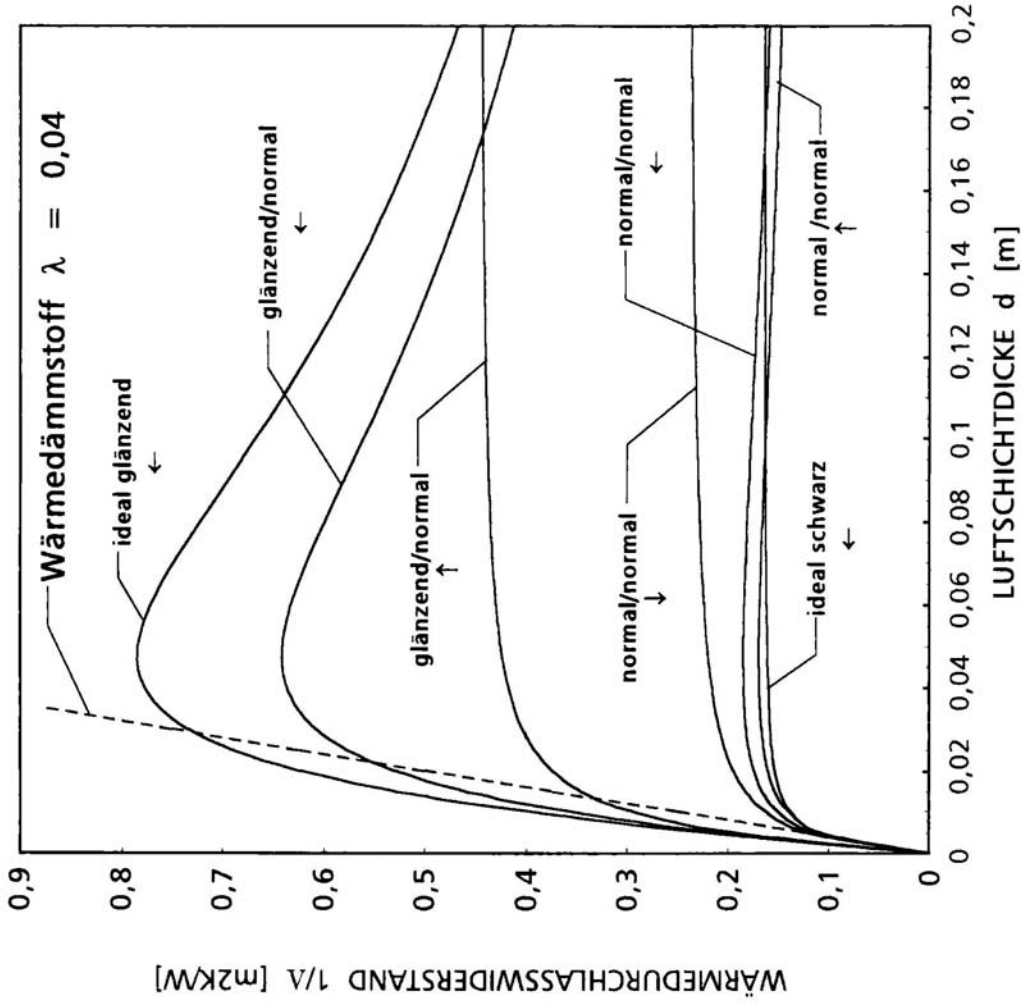


## Isolierglaseffekt



Quelle: Gestalten mit Glas (Fa. Interpane)

# Wärmedurchlasswiderstand stehender Luftschichten



↔ ... WÄRMESTROMRICHTUNG (waagrecht, senkrecht)  
 OBERFLÄCHEN: IDEAL SCHWARZ  $C = 5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$   
 NORMAL  $C = 5,35 \text{ W/m}^2\text{K}^4$   
 GLÄNZEND  $C = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}^4$   
 IDEAL GLÄNZEND  $C \approx 0 \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$$\text{aus: } \Lambda = \frac{\lambda_L}{d} + \left( a + \frac{b \cdot d}{d+c} \right) + \frac{C_{12}}{25} \cdot \left( \frac{\bar{T}}{100} \right)^3 \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

nach: Tschegg/Heindl/Sigmund:  
 Grundzüge der Bauphysik - 1985

# BAUPHYSIKALISCHER NACHWEIS

TYP:	BAUTEIL:	VERFASSER DER UNTERLAGEN:	GZ.:
			BAUVORHABEN:

Formblatt  
Blatt:

AUFBAU	BAUSTOFF:		Dicke d m	Raumgewicht des Baustoffes R kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_R \cdot h$ W/mK	$d/\lambda_R$ l/h
	Nr.	Positionsnummer				
Graphische Darstellung		Bezeichnung				
		Äußerer Wärmeübergangskoeffizient $h_a$				
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
9						
10						
		Innerer Wärmeübergangskoeffizient $h_i$				
Flächenbezogene Masse m (kg/m <sup>2</sup> )						
Summe (Dicke d; Wärmedurchlaufwiderstand $R = D = \sum d/\lambda$ )						
Wärmedurchgangswiderstand $1/U = 1/h_a + 1/h_i + D$						

**Art des Schallschutznachweises**

a) ÖNorm B 8115, Teil 4 Abschnitt

b) Gutachten

Zahl

vom

Wärmeschutznachweis gemäß Wärmedämmverordnung		vorhanden	erforderlich
Wärmedurchlaufwiderstand	R (D) m <sup>2</sup> K/W		
Wärmedurchgangskoeffizient	U (k) W/m <sup>2</sup> K		

Schallschutznachweis		vorhanden	erforderlich
Bewert. Bauschalldämmmaß	$R'_{w}$ dB		
Bewert. Normschalldifferenz	$D_{nT,w}$ dB		
Bewert. Normtrittschalldifferenz	$L'_{nT,w}$ dB		

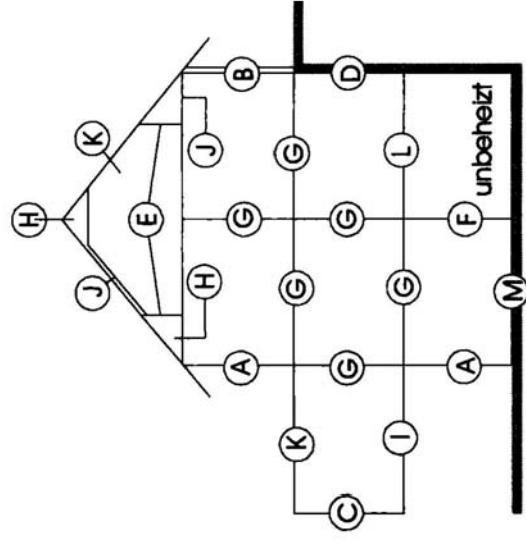


# Wärmeschutzkennwerte von Bauteilen

B A U T E I L		$h_i$	$h_e^{*)}$	$U^{1)}$	$U^{2)}$
		[W/m <sup>2</sup> K]			
A	Außenwände (kleinfl. = 2% von Gesamt)	7,69	2,5	0,5	0,35
B	allgemein hinterlüftete Fassade	7,69	7,69	(0,4)	(kfl.: 0,7)
C	Brandmauern an angrenzende Gebäude und Gebäudeteile	7,69	7,69	0,7	0,5
D	Erdberührende Wände	7,69	∞	0,5	0,4
E	Wände gegen Dachräume	7,69	10	0,5 (0,4)	0,35
F	Trennwände gegen unbeheizte bzw. unbeheizbare Räume (Gänge, Stiegenhaus)	7,69	7,69	0,7	0,6
G	Trenndecken zwischen Wohnungen oder vergleichbaren Betriebsverbänden	10	10	0,9	0,9
	Trennwände	7,69	7,69	1,6	0,9
H	Geschoßdecken unter Dachräumen oder über ausgebautem Dachgeschoß	10	10	0,2	0,2
I	Decken über offenen Bereichen (Durchfahrten)	5,88	25	0,2	0,2
J	Decken unter belüfteten Räumen und Kaldächern	10	10	0,2	0,2
K	Warmdächer	10	25	0,2	0,2
L	Geschoßdecken zwischen beheizbaren und unbeheizbaren Räumen	10	10	0,4	0,4
	Warmefluß nach oben	5,88	5,88		
M	Wärmefluß nach unten	5,88	∞	0,5	0,4
N	Erdberührende Fußböden	5,88	∞	0,5	0,4
O	Fenster / Fenstertüren - allg. und Dachflächenfenster			1,9	1,7
P	Fenster / Fenstertüren in Wohngebäuden			1,9	1,4
Q	Sonstige transparente Bauteile gegen Außenluft			1,9	2,0
R	Außentüren (ohne Verglasung)			1,7	1,7
S	Türen und Fenster / Fenstertüren gegen unbeheizte Fensterfläche über 30 % der Außenwandfläche			2,5	2,5
S	Fensterfläche über 30 % der Außenwandfläche	$U_m = \sum f_i \times U_i$		0,92 (0,85)	-

\*)  $h_e$  von Dachräumen und Dachströgen sowie unbeheizten Räumen (Lager, Garagen, Wintergärten) ist ggf. genauer zu berechnen

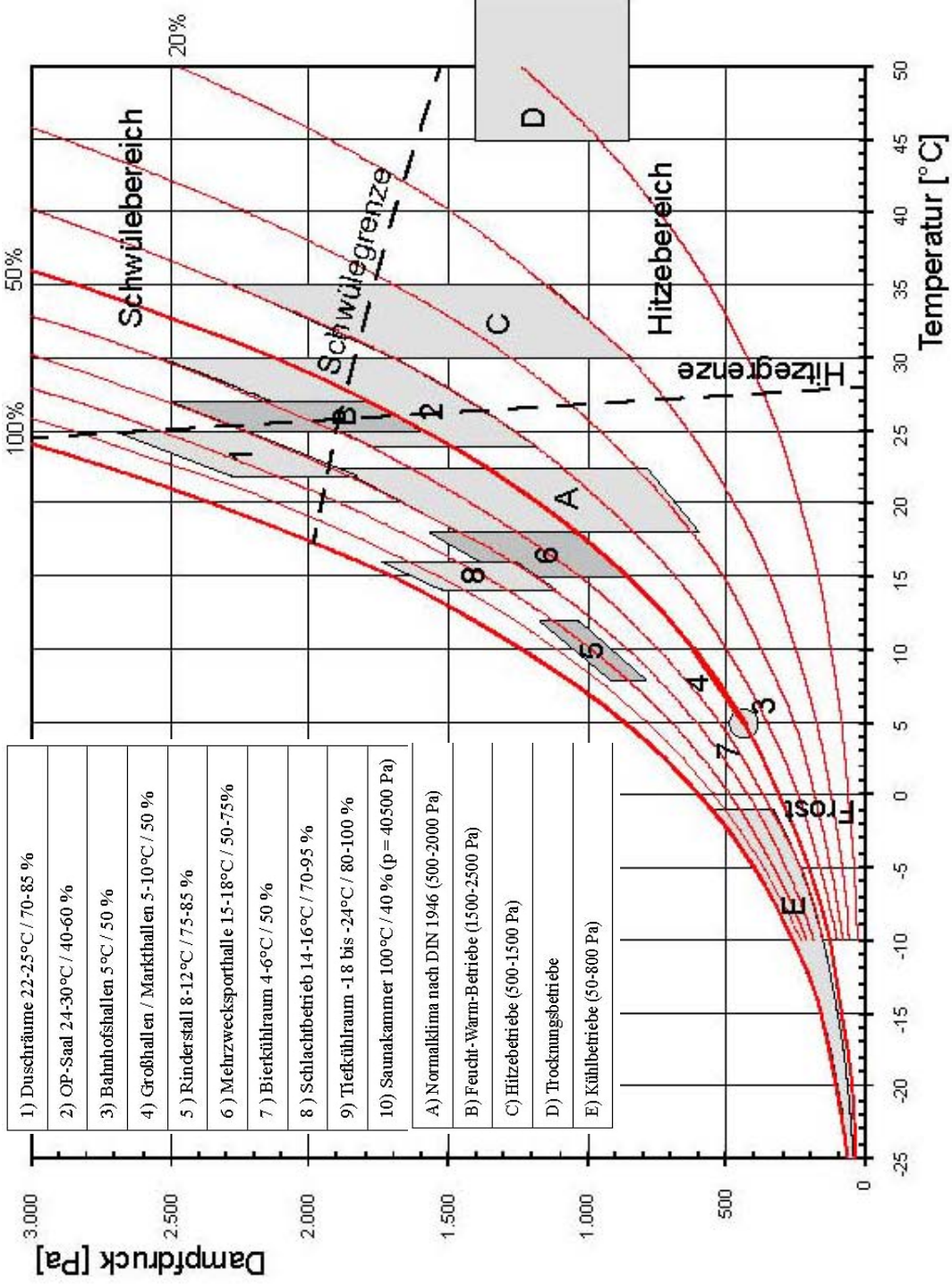
- 1) WDVO-Stmk per 1.1.1997 (LGBI 29/1996; Klammerwerte : für Ein- und Zweifamilienhäuser)
- 2) OIB-Richtlinie 6, ÖN B 8110-1 (01.2008) und BauG/WDVO-Stmk 2008 (LGBI 2008)



- $h_i$  Wärmeübergangskoeffizient intern
- $h_e$  Wärmeübergangskoeffizient extern
- U Wärmedurchgangskoeffizient

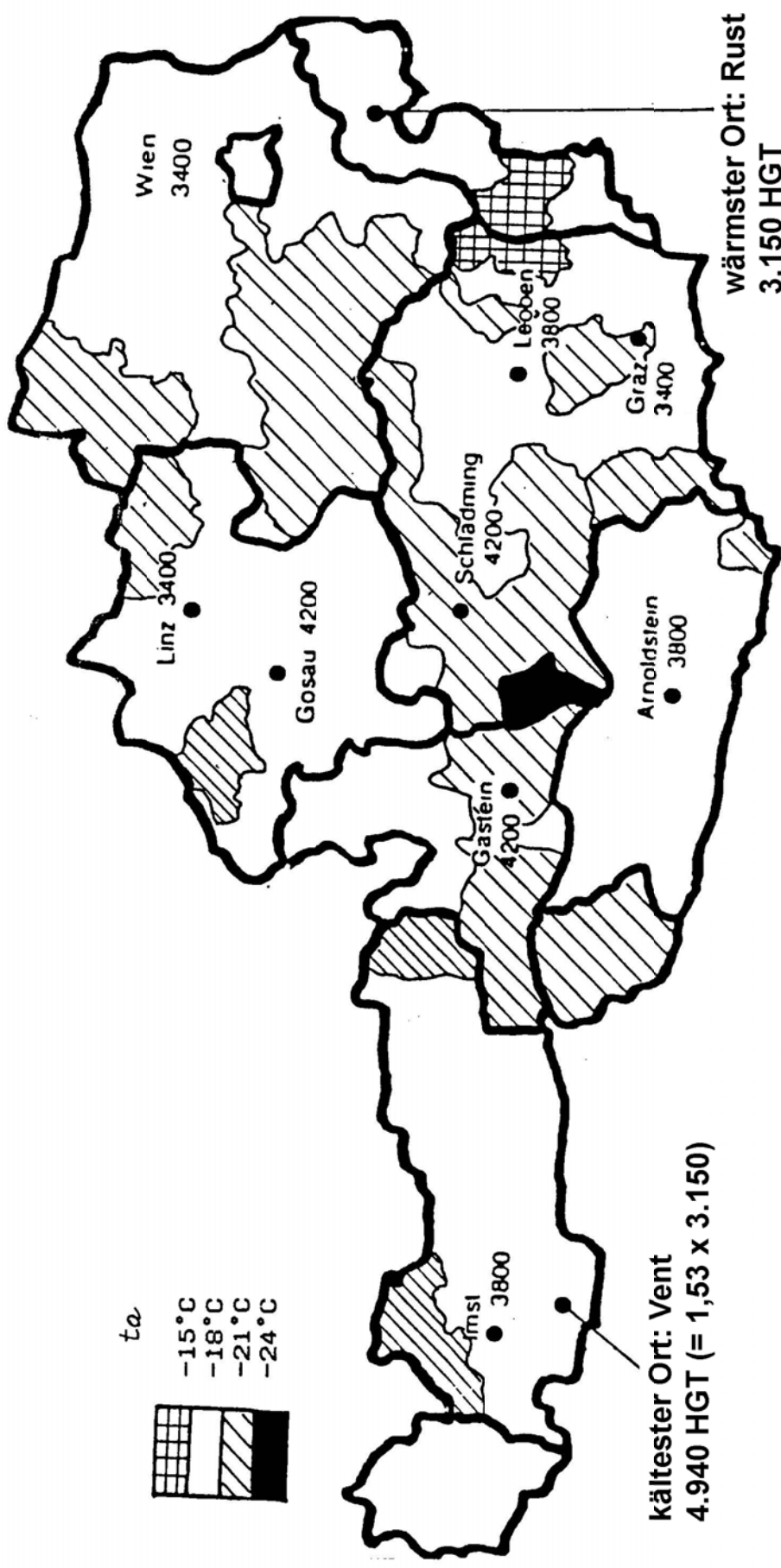
Quelle: ÖNORM B 8110 und EN ISO 6946

# Raumklimatische Anforderungen



Quelle: Eichler / Arndt – Bauphysikalische Entwurfslehre

# Bemessungstemperaturen für den staatlichen Hochbau und Heizgradtagezahlen



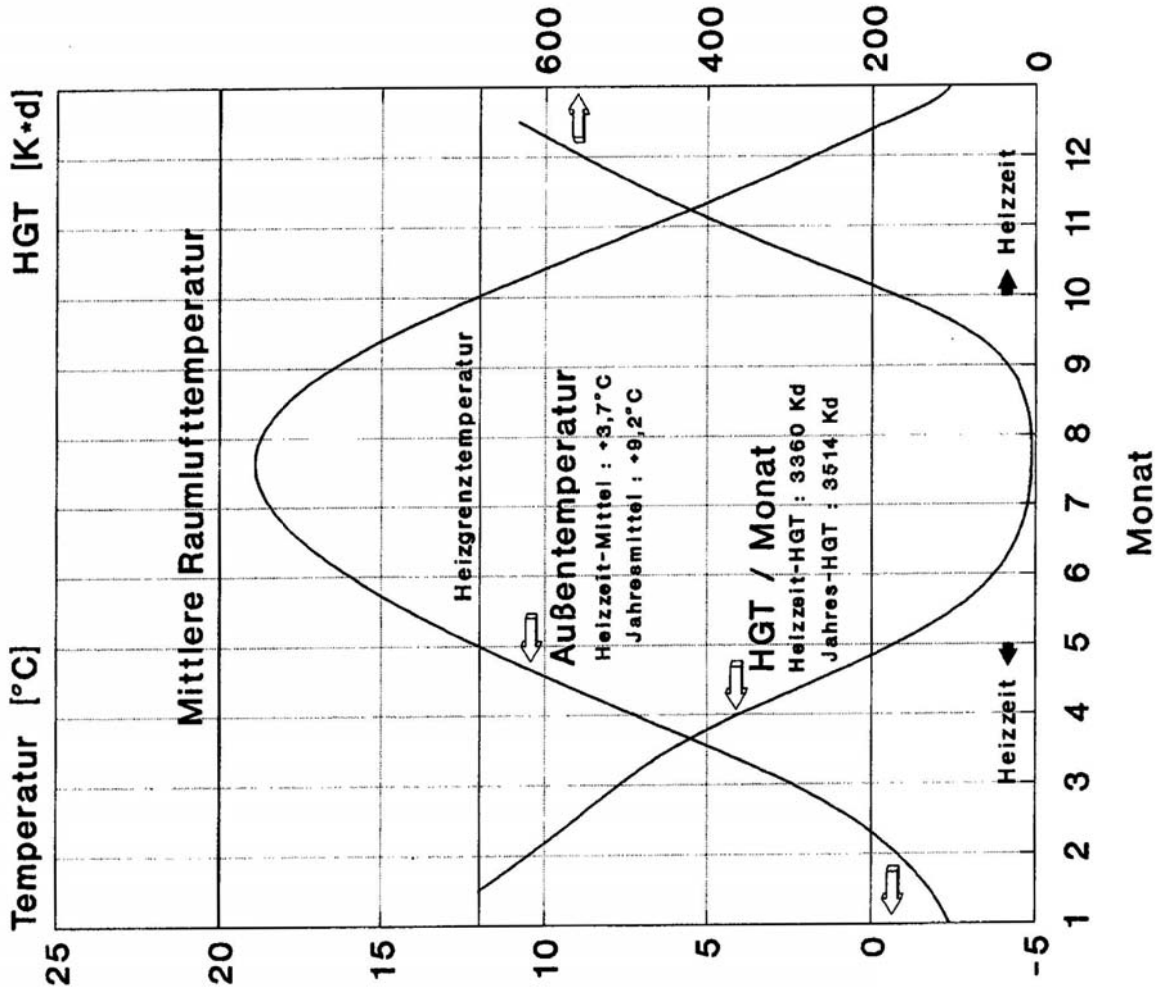
Quelle: Klimadatenkatalog

# Heizgradtage

Standort Graz

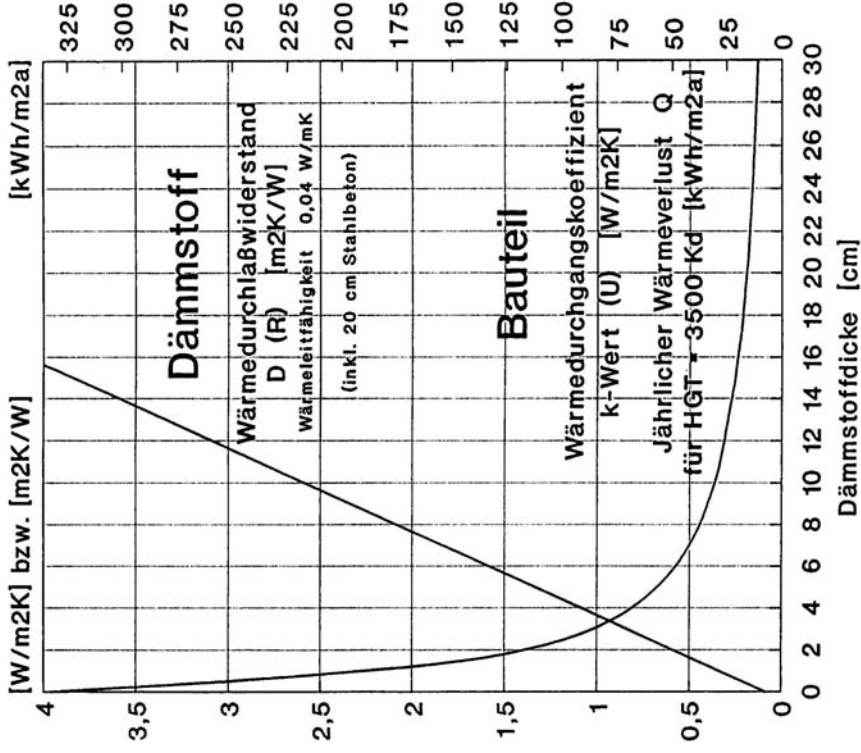
Die Heizgradtagzahl HGT<sub>12/20</sub> [Kd] ist die Summe der Differenzen [Kd] zwischen der mittleren Raumlufttemperatur von 20°C und dem Tagesmittel der Außentemperatur über alle Heiztage [d] der Heizzeit (vom 1. Oktober bis 30. April) bei einer Heizgrenztemperatur von +12°C mittlerer Außentemperatur.

Die Heizgradtagzahl beschreibt demnach die klimatische Situation einer Gegend (kalte Region: hohe HGT)



nach: bm:wa - Klimadatenkatalog

# Zusammenhang zwischen der Dicke der Dämmung und der Energieersparnis



Durch die Erhöhung der Dämmstoffdicke um 1 cm ist die Effizienz bei geringer Dämmstoffdicke höher als bei großer Dämmstoffdicke.

- Beispiel:** Dämmstoffdicke 5 cm → 6 cm –  $U = 0,67 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$   $\Delta d = 20 \%$   $\Delta U = 15 \%$   
 Dämmstoffdicke 15 cm → 16 cm –  $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$   $\Delta d = 7 \%$   $\Delta U = 4 \%$

# Lüftung

hygienisch erf. Luftvolumen (kontrollierter Luftvolumenstrom)

Richtwert:  $\dot{V} = 20$  bis  $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Person}$

unkontrollierter Luftvolumenstrom (Fugenlüftung)

$$\dot{V} = a \cdot l \cdot G \cdot \Delta p^{2/3} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$a$  [ $\text{m}^3 / \text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{2/3}$ ]..... Luftdurchlaßkoeffizient der Fenster- / Türfugen

$l$  [m]..... Fugenlänge, z.B. 4  $\text{m}^2$ -Fensterfläche

$G$  [-]..... Grundrißtyp : Reihenhaus:  $G = 1,0$   
 Einzelhaus:  $G = 1,4$

$\Delta p = 0,35 \cdot v^2$  ..... Druckdifferenz [Pa] mit  $v$  [m/s] Windgeschwindigkeit

Gegend	Windlage	Windgeschwindigkeit $v$ [m/s]	Druckdifferenz $\Delta p$ [Pa]	Rechenwert $G \cdot \Delta p^{2/3}$	
				Reihenhaus	Einzelhaus
windschwach	normal	2	1,4	1,251	1,752
windstark	frei	4	5,6	3,153	4,415
	normal	4	5,6	3,153	4,415
	frei	6	12,6	5,415	7,581

## Richtwerte für den Luftdurchlaßkoeffizient $a$

Merkmal	$a$ [ $\text{m}^3 / \text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{2/3}$ ]
Luftzug an den Fugen nicht fühlbar	0,11
Luftzug vereinzelt deutlich fühlbar	0,22
leichter Vorhang bewegt sich bei starkem Wind	0,44
ungepflegte Holz Doppelfenster	0,66
Luftzug auch im Abstand bemerkbar, mittelschwerer Vorhang bewegt sich bei Wind	1,10

Windgeschwindigkeit ca. 40 km/h

Quelle: ÖNORM B 8135-2 bzw. M 7500  
 sowie Riccabona: Baukonstruktionslehre

# Luftwechselzahl

$$n = \dot{V} / V \quad [1/h]$$

$$\dot{V} \quad [m^3/h] \dots\dots\dots \text{Luftvolumenstrom}$$

$$V = V_{\text{netto}} \quad [m^3] \dots\dots\dots \text{Nettorauminhalt}$$

$$V_{\text{brutto}} \quad [m^3] \dots\dots\dots \text{Bruttorauminhalt lt. ÖNORM B 1800}$$

$$(V_{\text{netto}} \approx 0,75 \cdot V_{\text{brutto}})$$

## Richtwerte für die Luftwechselzahl n

Anwendungsbereich	n [h <sup>-1</sup> ]
Ein- und Mehrfamilienhäuser	0,4
übliche Bürobauten, ohne wesentlichen Parteienverkehr	0,7
Bürogebäude mit starken Parteienverkehr	1,0

Anforderung (nach DIN 4108-7)

für Gebäude mit

- natürlicher Lüftung  $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$
- raumluftechnischen Anlagen  $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$

## LÜFTUNGSWÄRMEVERLUST

Spezifische Wärmekapazität der Luft:  $c_{pL} = 0,33 \text{ Wh/m}^3\text{K} \equiv (1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3)$

$$P_L = c_{pL} \cdot \dot{V} \cdot \Delta t \quad [W]$$

- $P_L$  [W] ..... Lüftungswärmeverlust
- $c_{pL}$  [Wh/m<sup>3</sup>K] ..... spezifische, isobare Wärmekapazität der Luft
- $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/h] ..... Luftvolumenstrom
- $\Delta t$  [K] ..... Temperaturdifferenz

## Richtwerte für die Dichtheit von Gebäuden bei einem Blower-Door-Test mit $\Delta p = 50 \text{ Pa}$ (DIN 4108-6)

Dichtheit des Gebäudes	n <sub>50</sub> [h <sup>-1</sup> ]	
	Mehrfamilienwohnhaus	Einfamilienwohnhaus
sehr dicht	0,5 bis 2,0	1,0 bis 3,0
mittel dicht	2,0 bis 4,0	3,0 bis 8,0
wenig dicht	4,0 bis 10,0	8,0 bis 20,0

Quelle: ÖNORM B 8135-2 bzw. M 7500 sowie DIN 4108-6 bzw. DIN 4108-7

**Berechnung der Energiekennzahlen**  
 **$L_T, P_i, U_m$  und LEK-Wert**

(Formblatt 1)

GZ:					
Bauvorhaben:					
Standort:		Seehöhe	[ m ]		
Norm-Außenstemperatur		$t_{ne}$	[ °C ]		
Heizgradtage laut Klimadatenkatalog, ÖNORM M 7703, etc.		HGT <sub>1220/a</sub>	[ K*d ]		
beheiztes Bauwerksvolumen		$V_B$	[ m <sup>3</sup> ]		
Bruttogeschossfläche (BGF = 0,33 * $V_B$ )		BGF	[ m <sup>2</sup> ]		
wärmeübertragende Umfassungsfläche { $\Sigma A$ }		$A_B$	[ m <sup>2</sup> ]		
charakteristische Gebäudelänge { $l = V_B / A_B$ }		$l_c$	[ m ]		
Luftwechsellzahl (nach ÖNORM B 8110-1)		$n_{L,eff}$	[ 1/h ]		
Type / Nr.	Bauteil	Fläche	Korrekturfaktor	Wärmed.koeffizient	$A * f * U$
		A	f	U	[ W/K ]
		[ m <sup>2</sup> ]	[ - ]	[ W/m <sup>2</sup> K ]	[ W/K ]
Summe $\Sigma(A * f * U)$					[ W/K ]
Wärmebrücken-Pauschalzuschlag (5% bis 10%)					[ W/K ]
$L_T =$ Summe $\Sigma(A * f * U) +$ Zuschlag für Wärmebrücken			$L_T$		[ W/K ]
spez. Transmissionswärmeverlust { $P_T = L_T / V_B$ }			$P_T$		[ W/m <sup>3</sup> K ]
spez. Lüftungswärmeverlust { $P_L = qc * 0,75 * n_{L,eff} = 0,2475 * n_{L,eff}$ }			$P_L$		[ W/m <sup>3</sup> K ]
spez. Gesamtwärmeverlust { $(P_i = P_T + P_L)$ }			$P_i$		[ W/m <sup>3</sup> K ]
mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der Gebäudehülle { $\psi_h = L_T / A_B$ }					[ W/m <sup>2</sup> K ]
stationärer LEK - Wert { $LEK_{stat} = 100 * U_m * [3 / (2+l_c)]$ }			$LEK_{stat}$		[ - ]
zul. LEK-Wert { $LEK_{zul} = LEK_{HGT-Bez} * (HGT_{Bez} / HGT_{Standort}) >= 20$ }			$LEK_{zul}$		[ - ]
$LEK_{HGT-Bezug}$ lt. ÖN B 8110-1 für HGT <sub>Bezug</sub> = 3400 Kd			$LEK_{HGT-Bezug}$		



<b>Berechnung - Energiekennzahl</b> $L_T, P_b, U_{mp}, LEK, HWB$ <small>(Formblatt 2)</small>	GZ : Bauvorhaben :
---	-----------------------

<b>TRANSMISSIONSWÄRMEBEDARF</b> $\{ q_T = 0,072 \cdot P_L \cdot HGT_{12200a} \}$	$q_T$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
---	---------------------------------------

<b>LÜFTUNGSWÄRMEBEDARF</b> $\{ q_L = 0,072 \cdot P_L \cdot HGT_{12200a} \}$	$q_L$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
--	---------------------------------------

SOLARGEWINNE					
Himmelsrichtung	Strahlungsintensität in Abhängigkeit der Heizgradtage	Fensterfläche AF [m <sup>2</sup> ]	Energiegrad durchlässig der Verglasung g [-]	Korrekturfaktor [-]	$q_{sol,kr}$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
HR					$AF \cdot g \cdot 0,46$ RCF [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
Süd	$I_s = 0,135 \cdot HGT - 32,5 =$				
Ost / West	$I_{OW} = 0,115 \cdot HGT - 134,0 =$			0,46	
Nord	$I_N = 0,070 \cdot HGT - 78,0 =$			0,46	
Solargewinne	$\{ \sum q_{sol,kr} \}$				$q_{sol}$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]

<b>INTERNE WÄRMEGEWINNE</b> $\{ q_{int} = 3,57 \cdot (10^{-3} \cdot HGT_{12200a} + 0,76) \}$	$q_{int}$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
---	---

<b>GEWINNE AUS KONTROLLIERTER LÜFTUNG</b> Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung in % von $q_L$	$q_{L,k}$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
---	---

<b>MAXIMAL ZULÄSSIGER HEIZWÄRMEBEDARF - HWB<sub>zul</sub></b> $HWB_{BCF,max,Standort} = 0,816 \cdot (1 + 2/q_L) \cdot LEK_{3400} \cdot HGT_{Standort} / 3400$	$HWB_{zul}$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
--	---

<b>VORHANDENER HEIZWÄRMEBEDARF - HWB<sub>vorb</sub></b> $vorb. Heizwärmebedarf \{ HWB_{vorb} = q_T + q_L - q_{L,k} - q_{sol} - q_{int} \}$	$HWB_{vorb}$ [ kWh/m <sup>2</sup> _{BOP,a} ]
---	--

Heizwärmebedarf-Zusammenstellung								
HWB Standort	3400	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000
Heizwärmebedarf HWB (für HGT ...)								

<b>Leitwertzuschläge für Wärmebrücken</b> gemäß OIB-Richtlinie für die Berechnung von Energiekennzahlen Pkt 5.3 $L_p + L_{p-1} + L_{p-2} = 0,2 \cdot (0,75 \cdot (L_p + L_{p-1}) / \rho_{Bp}) \cdot (\Delta T_p + \Delta T_{p-1})$	$L_p + L_{p-1} + L_{p-2}$ [ W/K ]	Zuschlag [%]
--	-----------------------------------	--------------

Wärmeschutzklassen gemäß Energieausweis		
Wärmeschutzklassen	Energiekennzahl WBF $HWB_{BOP}$	Energiekennzahl Standort $HWB_{BOP}$
<b>Niedriger Heizwärmebedarf</b>		
<b>A</b> $HWB_{BOP} \leq 30$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>B</b> $HWB_{BOP} \leq 50$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>C</b> $HWB_{BOP} \leq 70$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>D</b> $HWB_{BOP} \leq 90$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>E</b> $HWB_{BOP} \leq 120$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>F</b> $HWB_{BOP} \leq 160$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>G</b> $HWB_{BOP} > 160$ kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
<b>Hoher Heizwärmebedarf</b>		

# ENERGIEAUSWEIS

## Deckblatt

Gebäudeart: Wohnhaus      Erbaut im Jahr: 2001  
 Standort: Wien, ..straße      Einlagezahl: 300  
 Katastralgemeinde: Wien, Innere Stadt      Grundstücksnummer: 300  
 Eigentümer/Errichter: N.N.

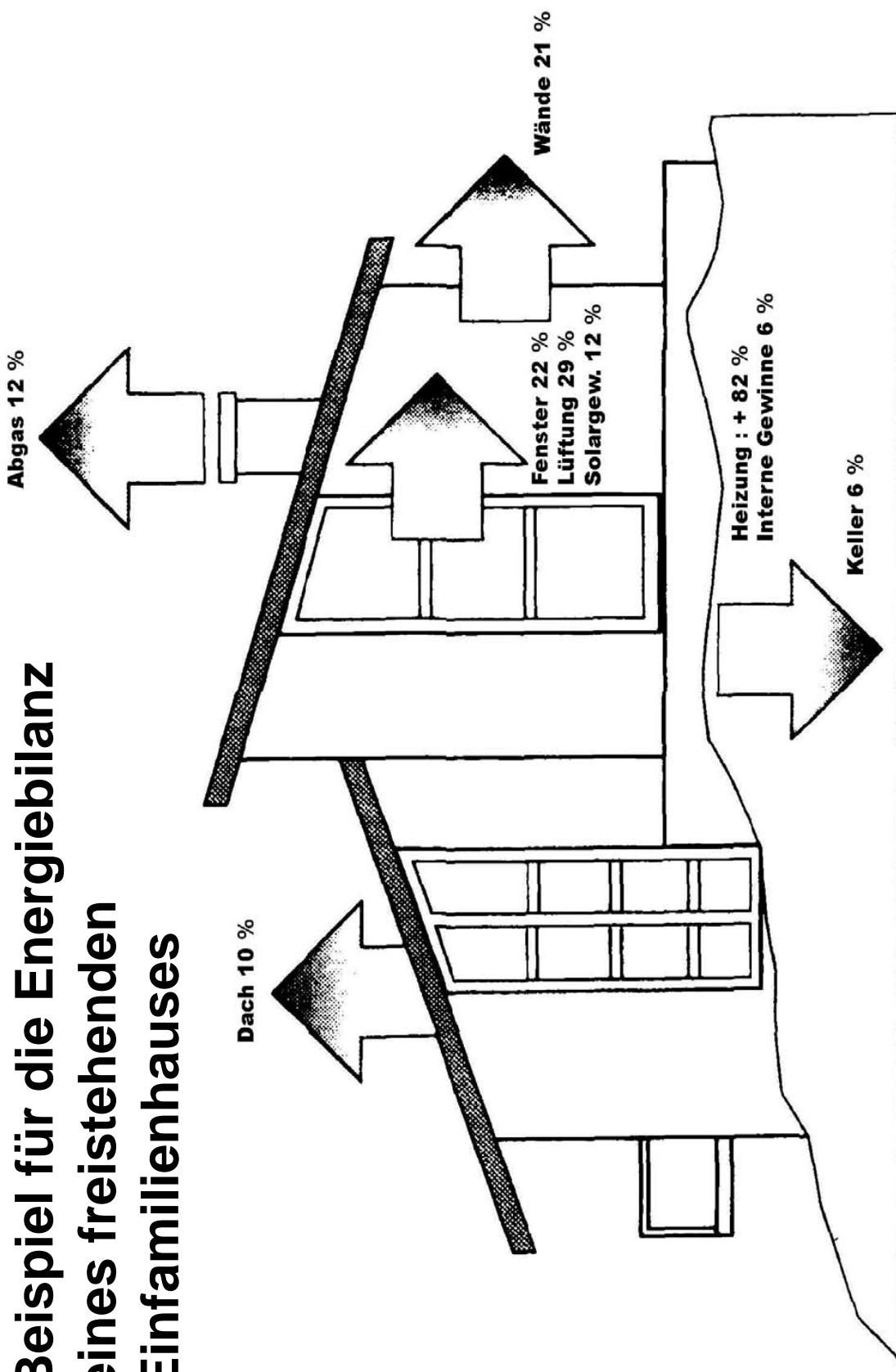
(zum Zeitpunkt der Ausstellung)



Volumenbezogener Transmissions-Leitwert $P_{t,v}^{(1)}$	
LEK-Wert <sup>1)</sup>	
Flächenbezogene Heizlast $P_1^{(1)}$	
Flächenbezogener Heizwärmebedarf $HW/B_{BGF}$	
Gesetzliche Anforderungen an den flächenbezogenen Heizwärmebedarf $HW/B_{BGF}$	
<sup>1)</sup> Angabe freigestellt	
Ausgestellt durch	N.N.
Geschäftszahl	xxx
Bearbeiter	N.N.
Datum:	2001-11-xx

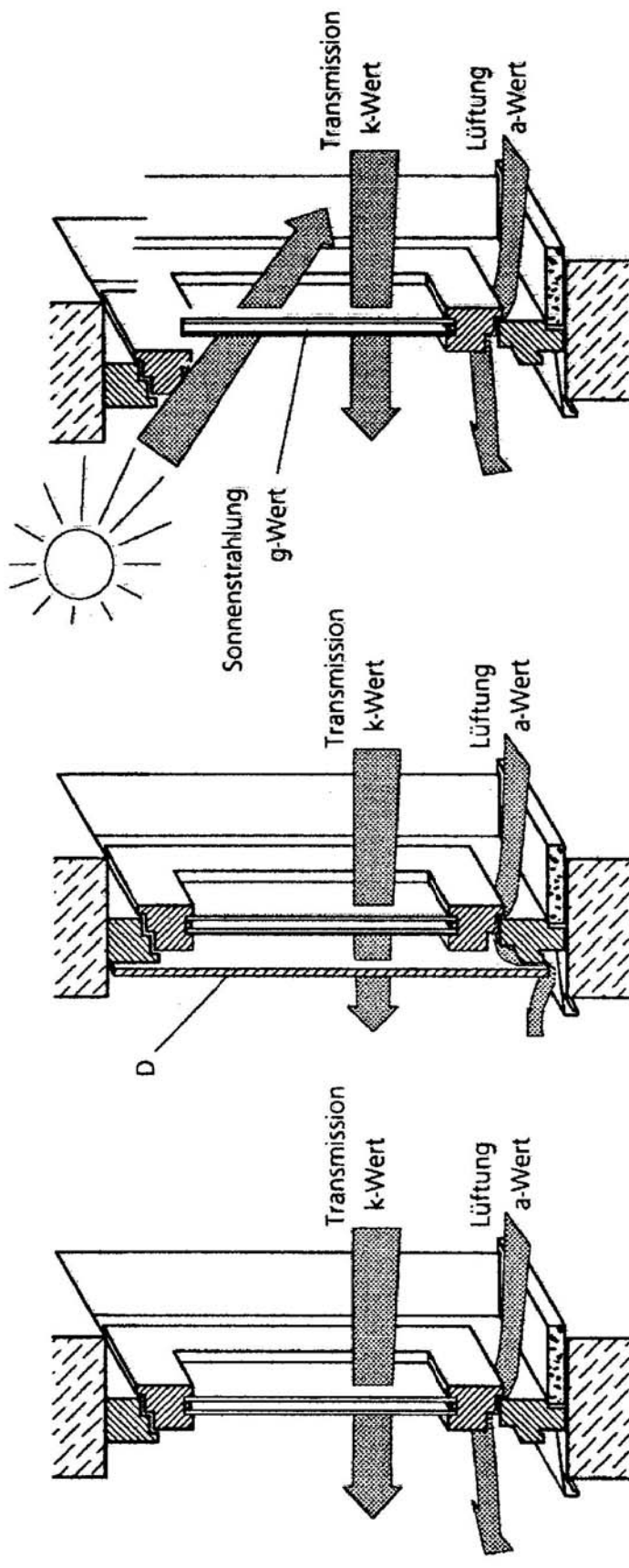
Quelle: ÖNORM H 5055 –  
 Energieausweis für Gebäude -  
 Raumheizung und Wassererwärmung

# Beispiel für die Energiebilanz eines freistehenden Einfamilienhauses



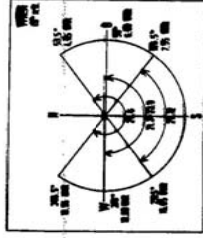
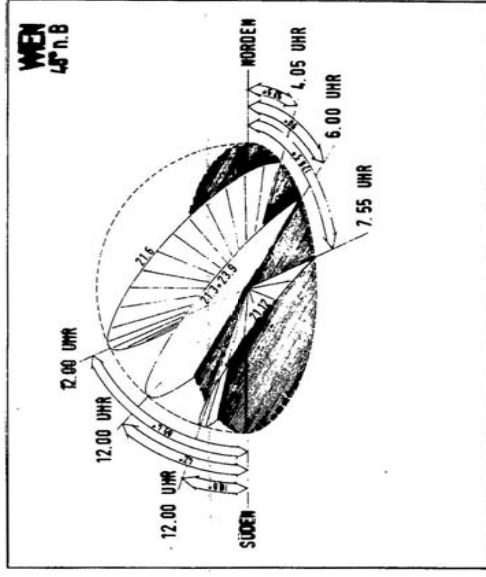
nach: Industrierivband Hartschaum und Beste/Kälke – Erneuerbare Energie

# Energiebilanz - Fenster

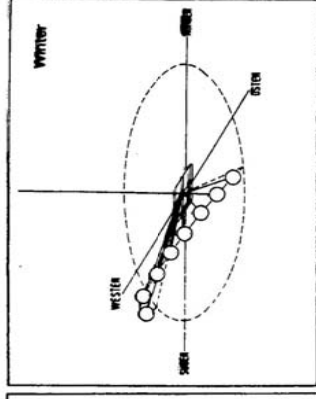
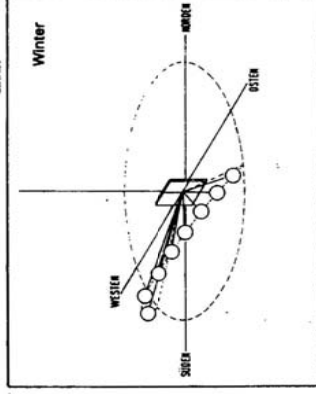


Quelle: Uhlig, Kohler, Schneider – Fenster, Architektur und Technologie im Dialog - 1994

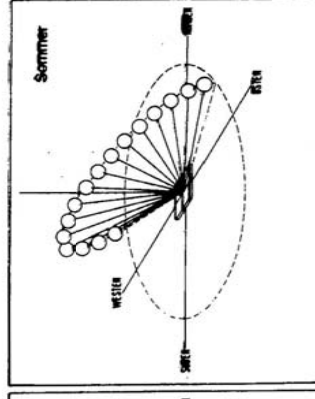
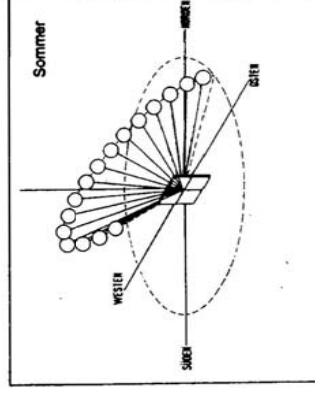
# Räumliche Darstellung der scheinbaren Sonnenbahnen



Einstrahlung auf vertikale Flächen

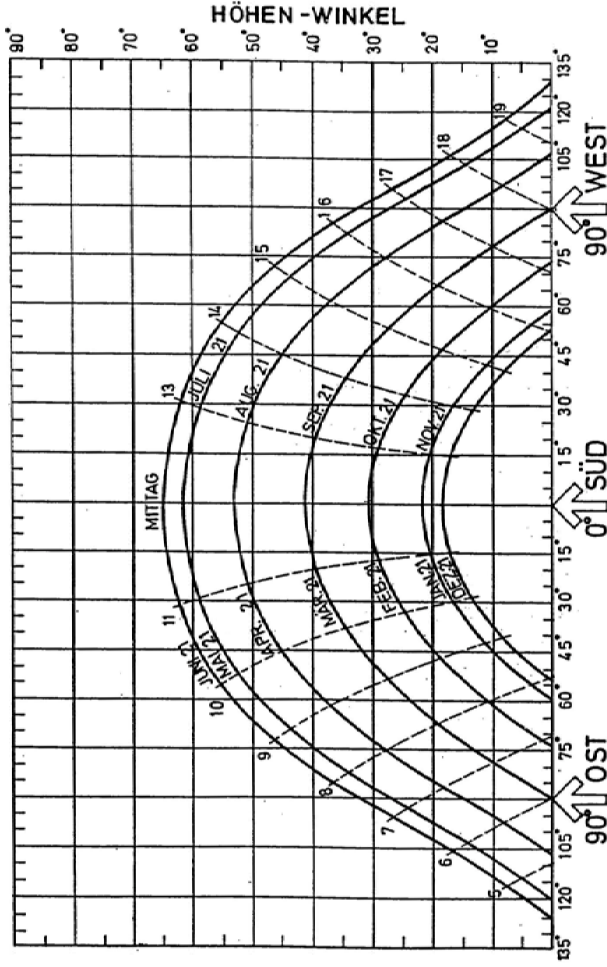


Einstrahlung auf horizontale Flächen



# Einfluss von Neigung und Orientierung

48° nördliche Breite (z.B. Vöcklabruck / OÖ)



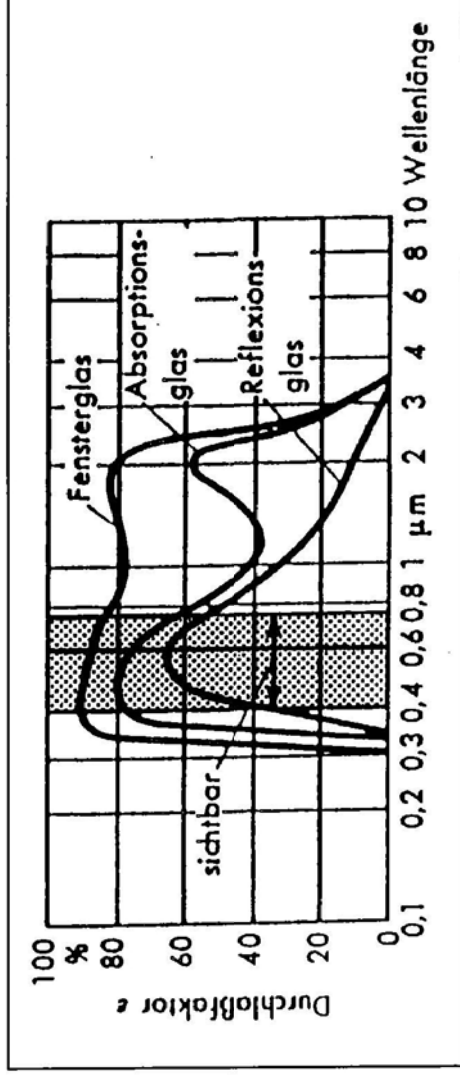
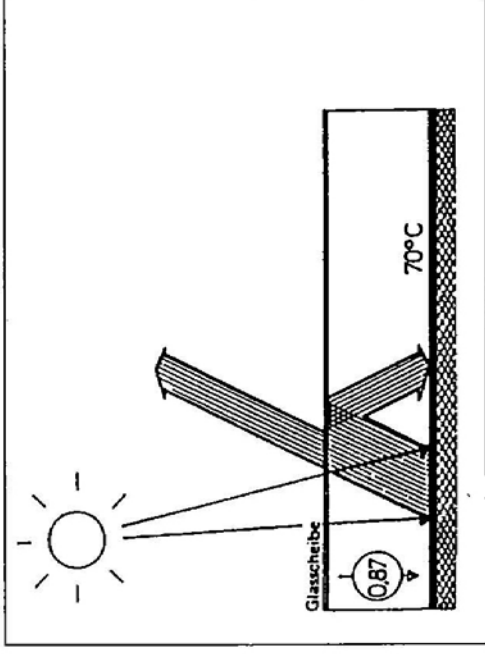
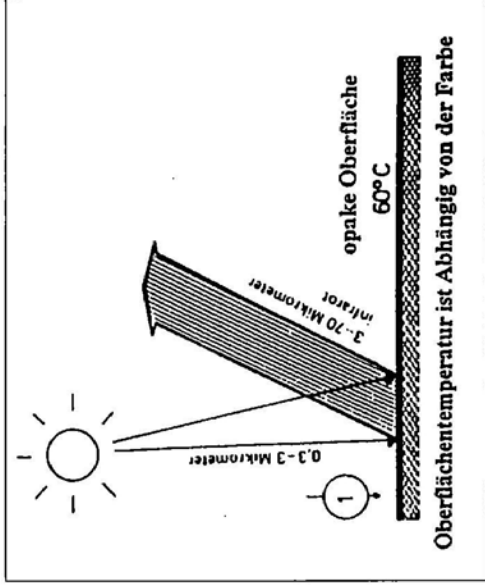
Der Einstrahlungswinkel und die Dauer der Einstrahlung sind maßgebliche Faktoren für die eingebrachte Strahlungsenergie

Z<sub>on</sub> – Faktoren

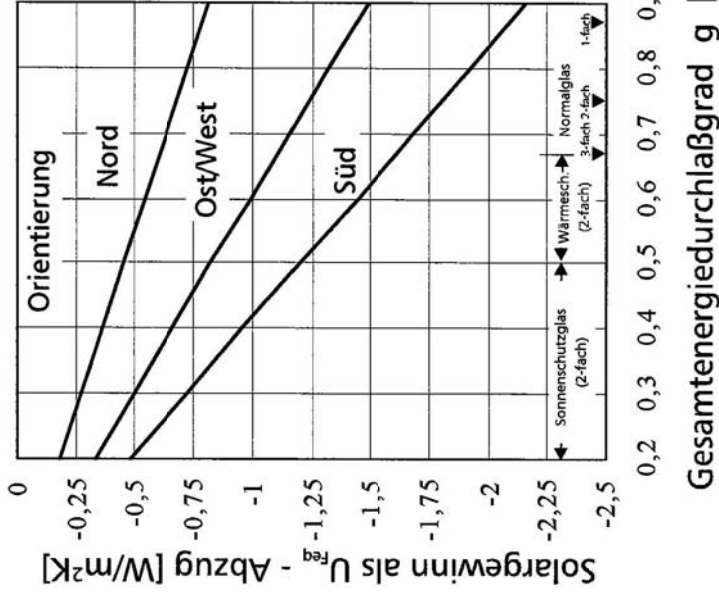
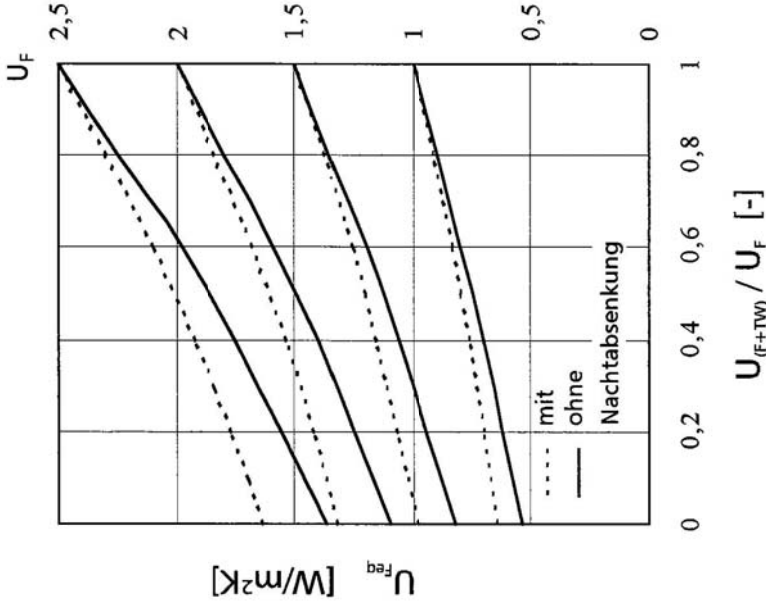
Neigung	Orientierung			
	Nord	NO / NW	Ost / West	Süd
0°	0,54	0,82	1,12	1,14
30°	0,85	1,15	1,54	1,69
45°	1,40	1,52	1,83	1,99
60°	1,61	1,68	1,88	2,04
90°	2,06			

Die Berücksichtigung beim Normverfahren erfolgt mittels Z<sub>ON</sub> - Faktoren

# Wirkung der Solarstrahlung Strahlungsdurchlässigkeit von Glas



# Äquivalenter Fenster U-Wert $U_{F_{eq}}$



$U_F$  bzw.  $U_{(F+TW)}$

Wärmedurchlaßkoeffizient Fenster  $U_F$ -Wert ohne bzw. mit temporärem Wärmeschutz

Bsp.: Fenster:  $U_F = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , inkl. temp. Wärmeschutz:  $U_F = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow U_{(F+TW)} / U_F = 1,5 / 2,5 = 60$  [-]

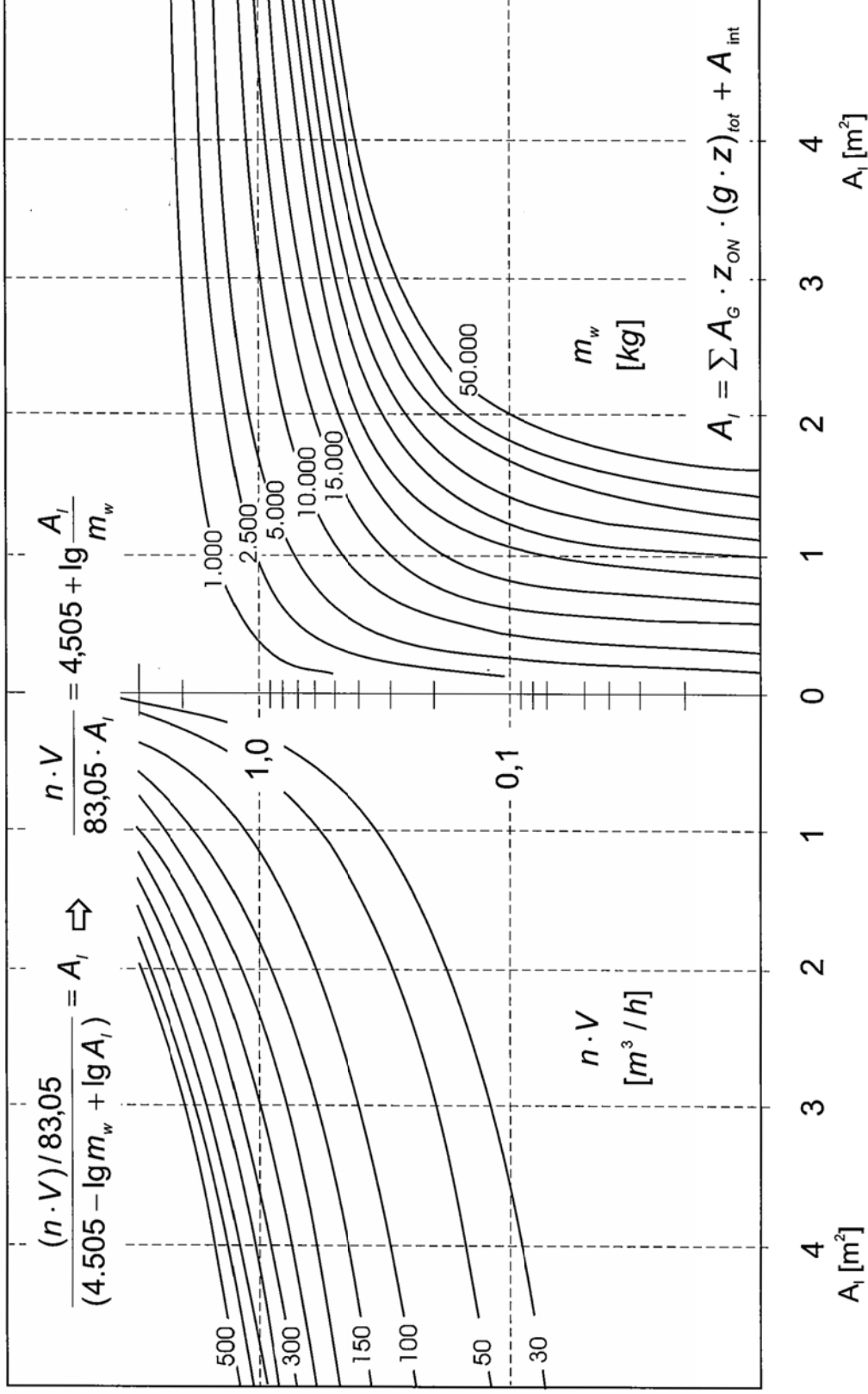
ohne Nachtabsenkung  $\rightarrow U_{F_{eq}} = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Verglasung:  $g = 0,75$  [-] (südorientiert)  $\rightarrow U_{F_{eq}}\text{-Abzug} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow U_{F_{eq}} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

nach: G. Häuser – Passive Solarenergienutzung durch Fenster - 1983



# Sommerlicher Wärmeschutz



aus: ÖNORM B 8110-3

### Richtwerte für Abminderungsfaktoren $z$ von Abschattungseinrichtungen

in Kombination mit Doppelverglasung ( $g = 0,75$ )

Zeile	Abschattungsvorrichtung	Abminderungsfaktor $z$ [-]
1	keine Abschattungsvorrichtung	1,00
2	Innenjalousie (je nach Farbe und Material), helle Innenvorhänge, Reflexionsvorhänge und Innenmarkisen	0,75
3	Zwischenjalousie	0,53
4	Markisen (seitlicher Lichteinfall möglich)	0,43
5	beschattungswirksame Vordächer, Balkone, horizontale Lamellenblenden, Rollläden, Fensterläden mit voller Füllung	0,32
6	Außenjalousie, Fensterläden mit Jalousiefüllung (beweglich unterlüftet, Belichtung ohne künstliche Beleuchtung)	0,27
7	Bepflanzung	0,50 – 1,00

### Luftwechselzahlen $n_L$ in Abhängigkeit von der Lage der Fenster

Anzahl der Fassaden oder Dachebenen mit Lüftungsöffnungen (Lüftungsebenen)	$n_L$ bei voller Öffnung der Lüftungslügel [1/h]
Eine Lüftungsebene	1,5
Zwei Lüftungsebenen	2,5
Drei oder mehr Lüftungsebenen	3,0

### Anzunehmende Leistung von Personen und technischen Wärmequellen

Erwachsener	100 W
elektr. Schreibmaschine	15 W
PC – Terminal	70 W
PC, Workstation	200 W
Fotokopierer	500 W
Geschirrspüler	50 W
Kochstelle	100 bis 200 W

Nach: ÖNORM B 8110-3 - Entwurf 9.1.1998

**Sonnenenergiedurchlässigkeit transparenter Bauteile**

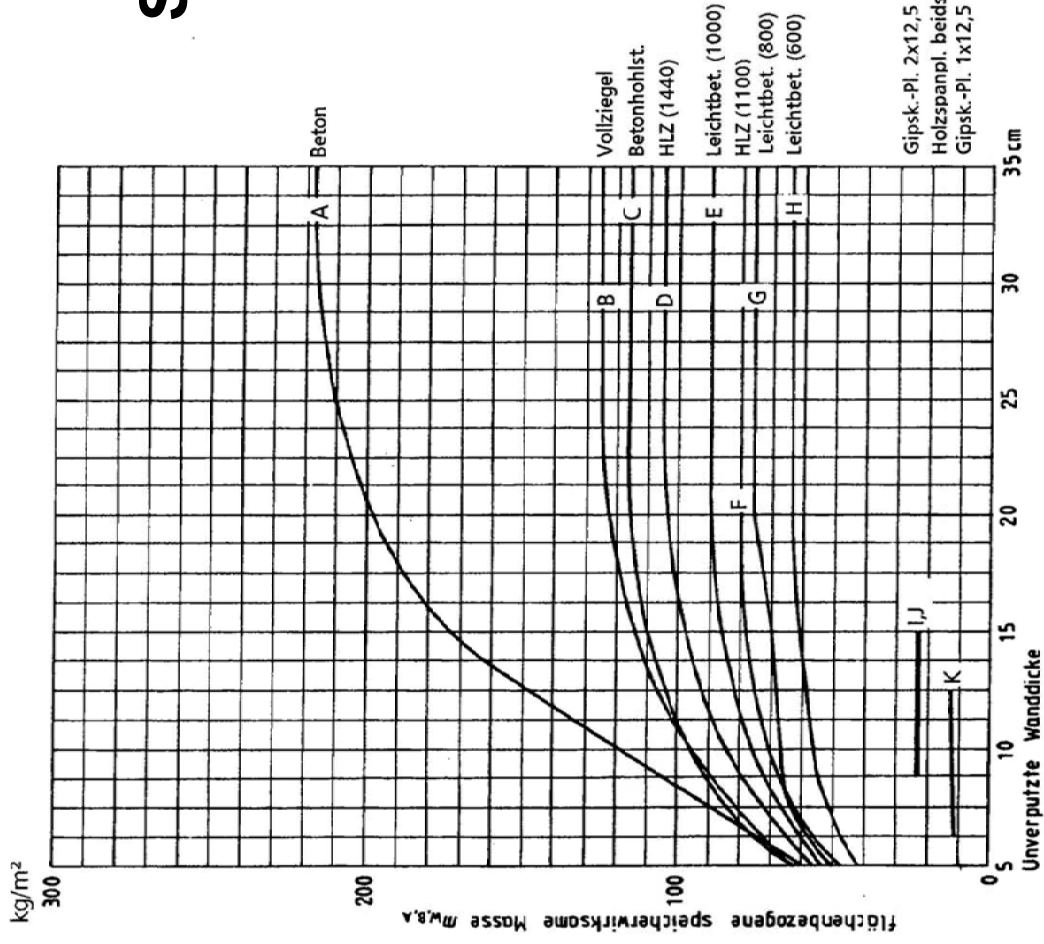
Zelle	Glasart und Bezeichnung	Aufbau Glas-ZR/Glasdicke [mm]	Licht-transmissions-grad $\tau_{s0}$ [-]	Strahlungs-transmissions-grad $\tau_{s0}$ [-]	Gesamtenergie-durchlass-grad $g$ [-]
1	Einfachglas	4	0,90	0,85	0,87
2	Doppelverglasung	4/ZR/4	0,80	0,72	0,75
3	3fach-Verglasung	4/ZR/4/ZR/4	0,72	0,64	0,67
4	4fach-Verglasung	4/ZR/4/ZR/4/ZR/4	0,64	0,55	0,60
5	Wärmeschutzglas 1,4 goldbeschichtet	4/ZR/4	0,60	0,45	0,57
6	Wärmeschutzglas 1,6 goldbeschichtet	4/ZR/4	0,65	0,53	0,65
7	Wärmeschutzglas neutral goldbeschichtet	4/ZR/4	0,62	0,44	0,50
8	Wärmeschutzglas neutral silberbeschichtet	4/ZR/4	0,79	0,52	0,67
9	Sonnenschutzglas	5/ZR/5	0,66	0,40	0,50
10	Profilbauglas einfach	6	0,89	0,81	0,84
11	Profilbauglas doppelt	6/ZR/6	0,79	0,60	0,70
12	Profilbauglas zinnoxidbeschichtet	6/ZR/6	0,72	0,54	0,60
13	Profilbauglas kobaltoxidbeschichtet	6/ZR/6	0,27	0,23	0,33

**Z<sub>on</sub> – Faktoren**

Neigung	O r i e n t i e r u n g				
	Nord	NO / NW	Ost / West	SO / SW	Süd
0 °	0,54	0,82	1,12	1,14	1,00
30 °	0,85	1,15	1,54	1,69	1,70
45 °	1,40	1,52	1,83	1,99	2,00
60 °	1,61	1,68	1,88	2,04	1,90
90 °	2,06				

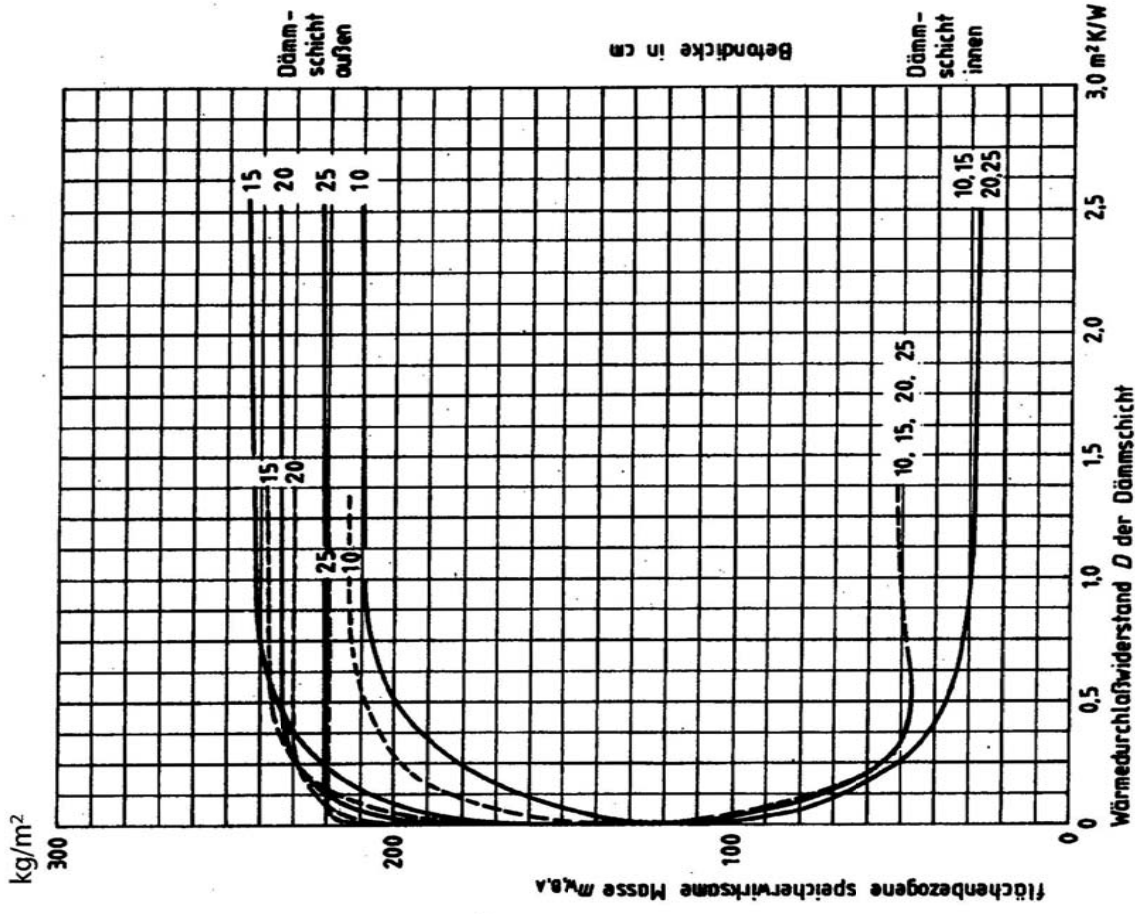
Quelle: ÖNORM B 8110-3 – 12.1999

# Flächenbezogene Speicherwirksame Masse

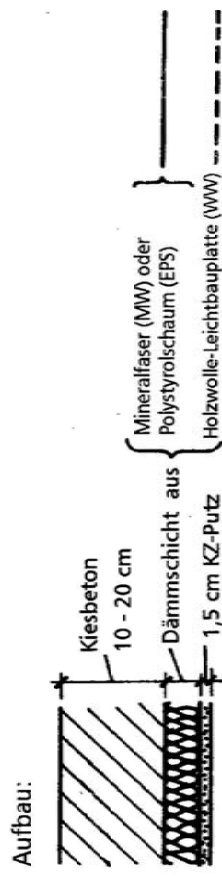


A	Beton	2200 kg/m <sup>3</sup>	G	Leichtbeton	800 kg/m <sup>3</sup>
B	Vollziegel-Mwk.	1700 kg/m <sup>3</sup>	H	Leichtbeton	600 kg/m <sup>3</sup>
C	Betonhohlst.-Mwk.	1440 kg/m <sup>3</sup>	I	Gipskartonpl. beids.	2x12,5 mm
D	Hohziegel-Mwk. HLZ	1440 kg/m <sup>3</sup>	J	Holzspanpl. beids.	1x16,0 mm
E	Leichtbeton	1000 kg/m <sup>3</sup>	K	Gipskartonpl. beids.	1x12,5 mm
F	Zwischenwandz. HLZ	1100 kg/m <sup>3</sup>			

Nach: ÖNORM B 8110-3 - Entwurf 9.1998



# Flächenbezogene Speicherwirksame Masse



Quelle: ÖNORM B 8110-3 - 3.1989



# Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen

# BAUWESSEN

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort – Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit	1
Vorwort – Österreichisches Normungsinstitut	2
Einleitung	3
1 Empfohlene Wärmeschutz-Rechenwerte für Baustoffe	4
Übersicht über die Baustoff- und Materialtypen	7
Datenblätter	11
1 Mauerwerk	12
2 Mauer- und Putzmörtel	14
3 Betone und Estriche	17
4 Genormte Dämmstoffe	21
5 Holz und Holzwerkstoffe	26
6 Schüttungen	28
7 Bodenbeläge aus Kunststoff, Gummi und ähnlichem	29
8 Einzelbaustoffe	30
9 Andere Dämmstoffe	35
2 Wärmedurchlasswiderstand von Wandbauteilen	38
3 Wärmedurchlasswiderstand von Deckenbauteilen	67
4 Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern und Türen	70
4.1 Richtwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten von Glas	72
4.2 Richtwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmen	74
4.3 Richtwerte für den Korrektorkoeffizienten $\psi_g$ für die Wärmebrücke am Glasrand von Isolierglas im Rahmen	76
4.4 Richtwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Fenstertüren	77
4.5 Türblätter	77
5 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten	78
5.1 Luftschichten mit geringer Dicke (im Vergleich zu den anderen beiden Abmessungen)	79
5.2 Luftschichten mit Länge und Breite ähnlich der Dicke (Lufthohlräume)	80
6 Wärmeübergangswiderstände	80
Anhang A: Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes von Wandbauteilen	81
Normenliste FNA 175 Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen	82
Verkauf & Service	85

Ausgabe  
1. Dezember 2001

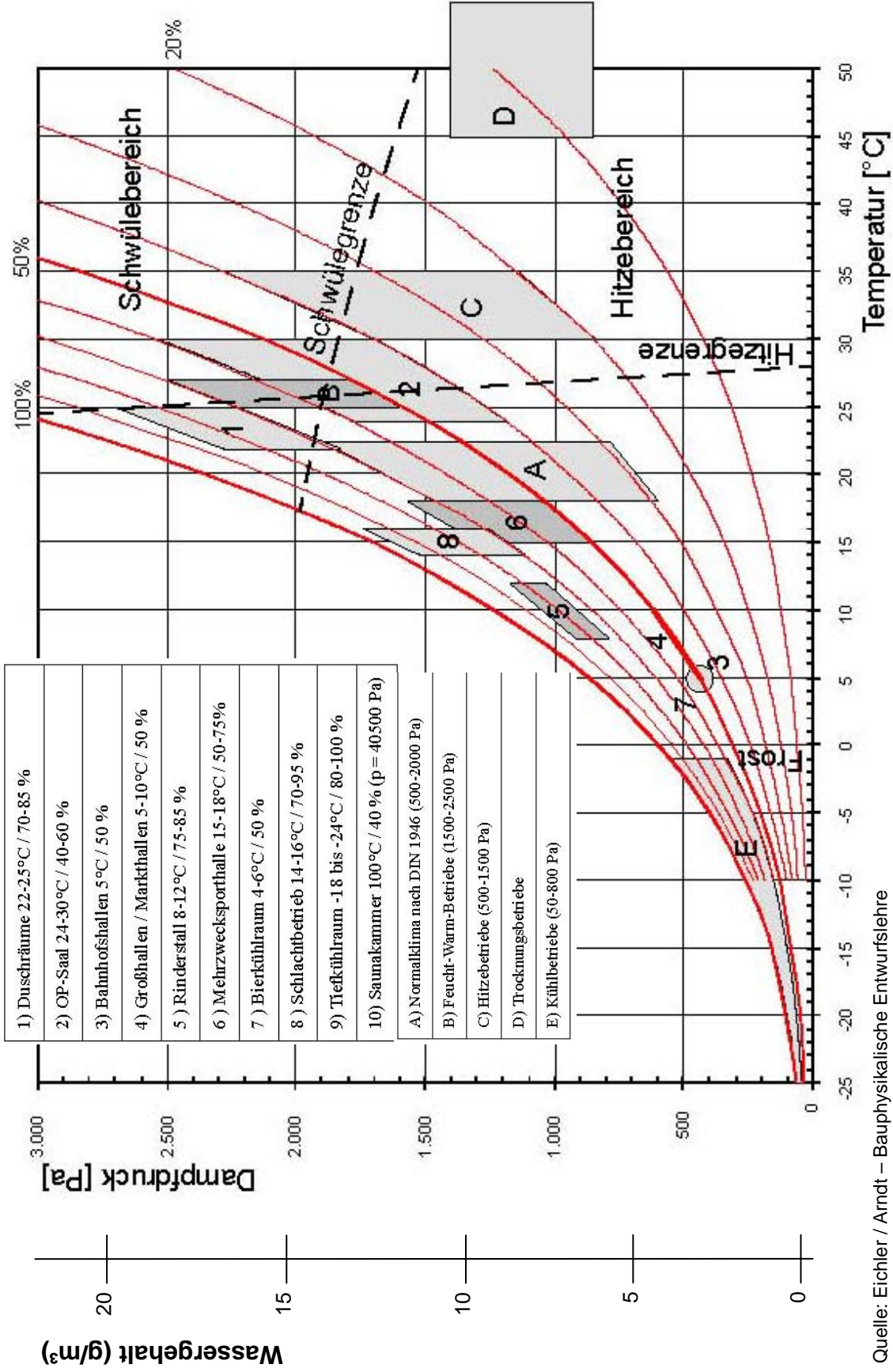
ON V 31



# Feuchteschutz - Diffusion



# Luftfeuchtigkeit / Raumklimat



Quelle: Eichler / Arndt – Bauphysikalische Entwurfslehre



# Luftfeuchtigkeit - Sättigungsdampfdruck

Temp. [°C]	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
30	4.241	4.265	4.289	4.314	4.339	4.364	4.389	4.414	4.439	4.464
29	4.003	4.026	4.050	4.073	4.097	4.120	4.144	4.168	4.192	4.216
28	3.778	3.800	3.824	3.844	3.867	3.889	3.912	3.934	3.957	3.980
27	3.563	3.584	3.605	3.626	3.648	3.669	3.691	3.712	3.734	3.756
26	3.359	3.379	3.399	3.419	3.440	3.460	3.480	3.501	3.522	3.542
25	3.166	3.185	3.204	3.223	3.242	3.261	3.281	3.300	3.320	3.340
24	2.982	3.001	3.018	3.036	3.055	3.073	3.091	3.110	3.128	3.147
23	2.808	2.825	2.842	2.859	2.876	2.894	2.911	2.929	2.947	2.964
22	2.642	2.659	2.675	2.691	2.708	2.724	2.741	2.757	2.774	2.791
21	2.486	2.501	2.516	2.532	2.547	2.563	2.579	2.594	2.610	2.626
20	2.337	2.351	2.366	2.381	2.395	2.410	2.425	2.440	2.455	2.470
19	2.196	2.210	2.224	2.238	2.252	2.266	2.280	2.294	2.308	2.323
18	2.063	2.076	2.089	2.102	2.115	2.129	2.142	2.155	2.169	2.182
17	1.937	1.949	1.961	1.974	1.986	1.999	2.012	2.024	2.037	2.050
16	1.817	1.829	1.841	1.852	1.864	1.876	1.888	1.900	1.912	1.924
15	1.704	1.715	1.726	1.738	1.749	1.760	1.771	1.783	1.794	1.806
14	1.598	1.608	1.619	1.629	1.640	1.650	1.661	1.672	1.683	1.693
13	1.497	1.507	1.517	1.527	1.537	1.547	1.557	1.567	1.577	1.587
12	1.402	1.411	1.420	1.430	1.439	1.449	1.458	1.468	1.477	1.487
11	1.312	1.321	1.330	1.338	1.347	1.356	1.365	1.374	1.383	1.393
10	1.227	1.236	1.244	1.252	1.261	1.269	1.278	1.286	1.295	1.303
9	1.147	1.155	1.163	1.171	1.179	1.187	1.195	1.203	1.211	1.219
8	1.072	1.080	1.087	1.094	1.102	1.109	1.117	1.124	1.132	1.140
7	1.001	1.008	1.015	1.022	1.029	1.036	1.043	1.050	1.058	1.065
6	935	941	948	954	961	967	974	981	988	994
5	872	878	884	890	897	903	909	915	922	928
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
3	757	763	768	774	779	785	790	796	801	807
2	705	710	715	721	726	731	736	741	747	752
1	656	661	666	671	676	680	685	690	695	700
0	611	615	619	624	629	633	638	642	647	652
-0	611	605	601	596	591	586	581	576	571	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	526	521
-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	479
-3	475	471	468	464	460	456	452	448	444	441
-4	437	433	430	426	422	419	415	412	408	405
-5	401	398	394	391	388	384	381	378	375	371
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	344	341
-7	338	335	332	329	326	323	320	318	315	312
-8	309	307	304	301	299	296	294	291	288	286
-9	283	281	278	276	274	271	269	266	264	262
-10	259	257	255	252	250	248	246	244	241	239
-11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219
-12	217	215	213	211	209	207	205	203	202	200
-13	198	196	194	193	191	189	187	186	184	182
-14	181	179	177	176	174	173	171	169	168	166
-15	165	163	162	160	159	157	156	154	153	152
-16	150	149	147	146	145	143	142	141	139	138
-17	137	135	134	133	132	130	129	128	127	126
-18	124	123	122	121	120	119	117	116	115	114
-19	113	112	111	110	109	108	107	106	105	104
-20	103	102	101	100	99	98	97	96	95	94

$$p_s = 610,5 \cdot e^{\frac{a-\theta}{b+\theta}} \quad [\text{Pa}] \quad \theta \geq 0 \text{ °C} : a = 17,269 \quad b = 237,3$$

$$\theta < 0 \text{ °C} : a = 21,875 \quad b = 265,5$$

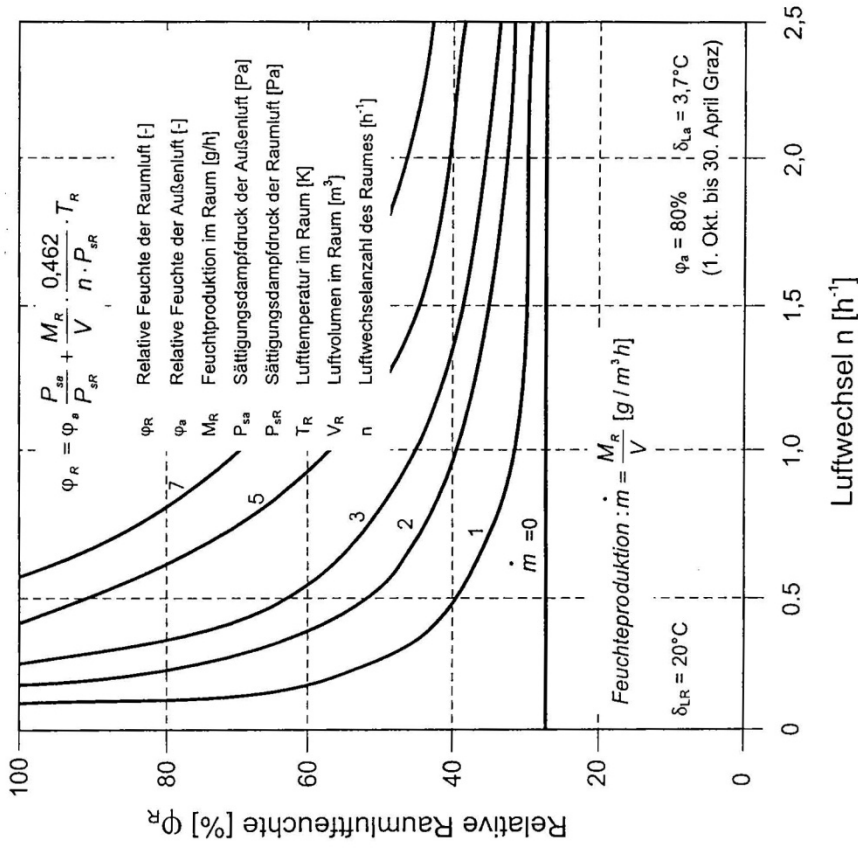
**relative Luftfeuchtigkeit:**  $\varphi = \frac{p}{p_s} [-]$   
**Feuchtigkeitsgehalt:**  $g = \frac{p}{0,462 \cdot T} \frac{[Pa]}{[K]} \quad [\text{g/m}^3]$   
**relative Luftfeuchtigkeit:**  $p_s \text{ [Pa]} \dots$  Sättigungsdampfdruck  
**Feuchtigkeitsgehalt:**  $p \text{ [Pa]} \dots$  Wasserdampfdruck

Quelle: ÖNORM B 8110-2 (7.2003) und  
 ÖNORM EN ISO 13788 (1.2002)

## Feuchteproduktion in Wohnungen

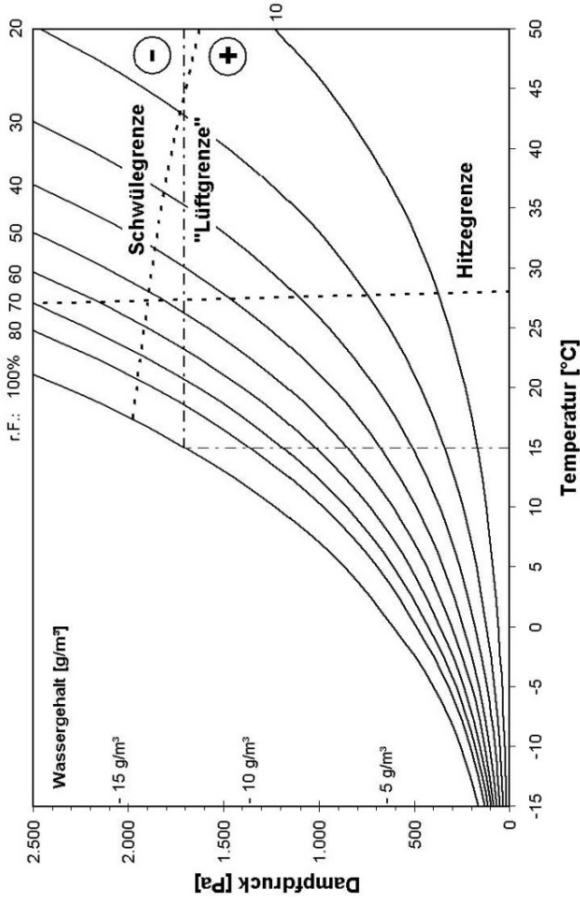
Mensch	leichte Aktivität	30 – 60 g/h
	mittelschwere Arbeit	120 – 200 g/h
	schwere Arbeit	200 – 300 g/h
Bad	Wannenbad	ca. 700 g/h
	Duschen	ca. 2600 g/h
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge	600 – 1500 g/h
	Im Tagesmittel	100 g/h
Wäschetrocknen (4,5 kg Trommel)	geschleudert	50 – 200 g/h
	tropfnaß	100 – 500 g/h
Zimmerblumen z.B. Veilchen (Viola)		5 – 10 g/h
Topfpflanzen z.B. Farn		7 – 15 g/h
Mittelgroßer Gummibaum (Ficus elastica)		10 – 20 g/h
Vogel, Hamster, Meerschweinchen		1 – 2 g/h
Katze		6 g/h
Hund (4 – 32 kg)		10 – 46 g/h

## Relative Raumluftfeuchte in Abhängigkeit von Luftwechsel und Feuchteproduktion



nach: G. Hauser – Feuchtetechnische Probleme (DBZ 4/87)

# Luftfeuchtigkeit – Oberflächenkondensat „Sommerlüften“



Feuchtestrom :  $g [mg/m^2h] = \beta \times \Delta p \approx 120 \times (p_{Luft} - p_{s,oberfl.})$

Beispiel:

Oberflächentemperatur-Sommer (= Taupunkttemperatur) : +15°C ( $\rightarrow p_s = 1704 \text{ Pa}$ )

„+“: Umgebungsklima unterhalb der horizontalen „Lüftgrenze“ (z.B. +20°C / 65 %):  
keine Gefahr von Oberflächenkondensation ( $p = 1519 \text{ Pa} \rightarrow g \approx -22,2 \text{ g/m}^2h$ )  
(Lüften ok, eventuelle Feuchtigkeit trocknet ab)

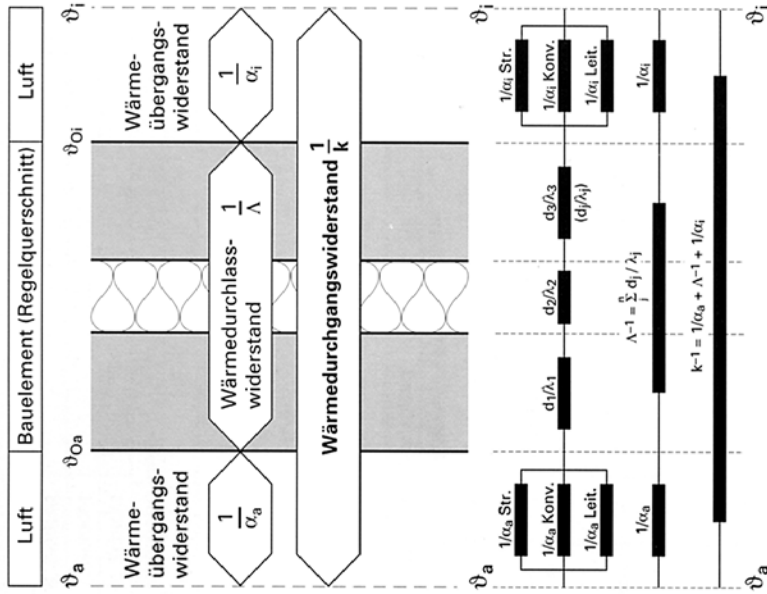
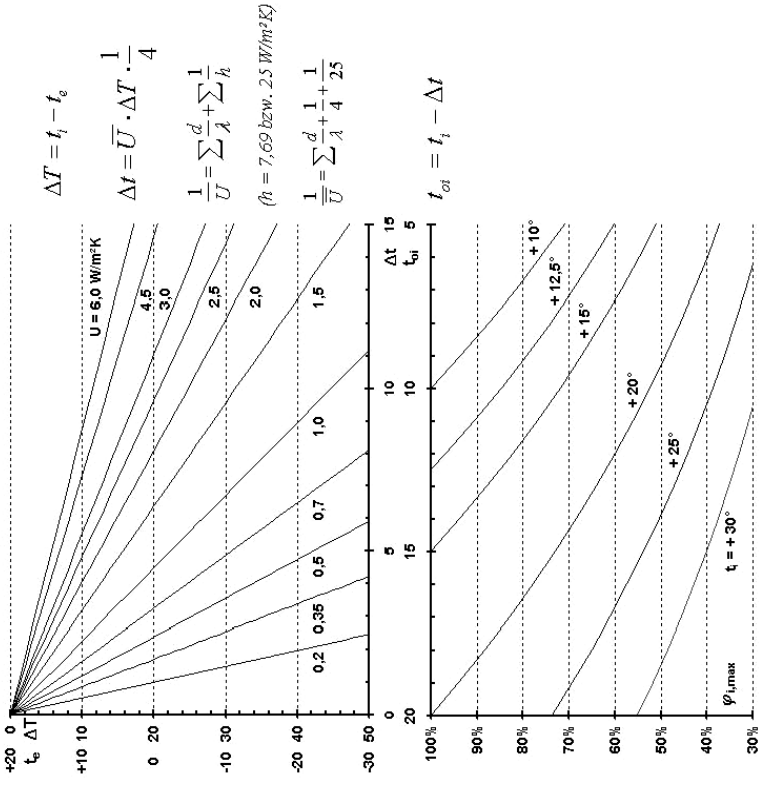
„-“: Umgebungsklima oberhalb der horizontalen „Lüftgrenze“ (z.B. +25°C / 55 %):  
Oberflächenkondensation! (nicht Lüften) ( $p = 1741 \text{ Pa} \rightarrow g \approx 4,44 \text{ g/m}^2h$ )

# Taupunkt - Diagramm

Abhängigkeit der Oberflächentemperatur  $t_{oi}$  sowie der maximalen rel. Raumluftfeuchte  $\varphi_1$  vom U-Wert und der Außenlufttemperatur  $t_e$  bei einem inneren Wärmeübergangs-koeffizient von  $h_i = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$

**oberes Diagramm:** Innere Oberflächentemperatur  $t_{oi}$  bei einer Raumlufttemperatur  $t_i = +20^\circ\text{C}$  in Abhängigkeit vom U-Wert und der Außenlufttemperatur  $t_e$  (bzw. für Raumlufttemperatur  $t_i \neq +20^\circ\text{C}$  als  $\Delta t$  in Abhängigkeit von  $\Delta T$ )

**unteres Diagramm:** Abhängigkeit des Innenraumklimas ( $t_i, \varphi_1$ ) von  $t_{oi}$



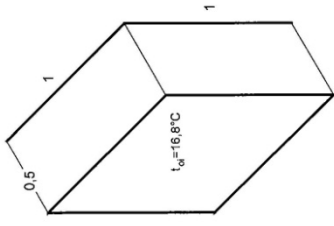
**Beispiele:**  
 $t_i = +20^\circ\text{C}, t_e = -10^\circ\text{C}, U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow t_{oi} = +7,9^\circ\text{C} \rightarrow \text{max } \varphi_1 = 45\%$   
 $t_i = +25^\circ\text{C}, t_e = -10^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 35 \text{ K}, U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $\rightarrow \Delta t = 7,8 \text{ K} \rightarrow t_{oi} = +17,2^\circ\text{C} \rightarrow \text{max } \varphi_1 = 62\%$

$$f_{R_{silk}}^* = \frac{\theta_{silk}^* - \theta_e}{\theta_{i,k} - \theta_e}$$

$$f = \frac{\Theta_i - \Theta_{oi}}{\Theta_i - \Theta_e}$$

$$f_{R_{si}}^* = 1 - f$$

# Geometriebedingte Wärmebrücken

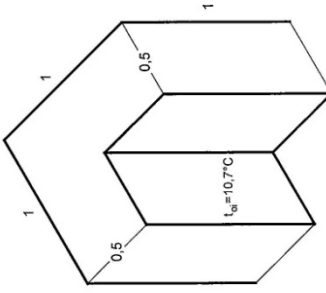


$A_i = 1$

$A_a = 1$

$f^*_{R,si} = 0,89$

$f = 11\%$

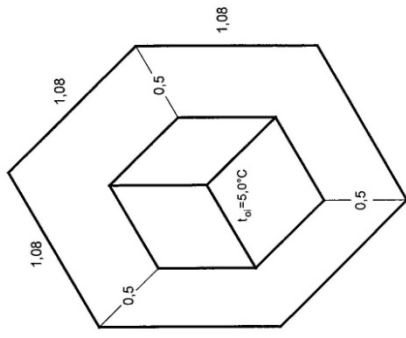


$A_i = 1$

$A_a = 2$

$f^*_{R,si} = 0,69$

$f = 31\%$



$A_i = 1$

$A_a = 3,5$

$f^*_{R,si} = 0,50$

$f = 50\%$

Randbedingungen:

$t_i = + 20 \text{ °C}$

$t_e = - 10 \text{ °C}$

$h_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$

$h_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U = 0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$f^*_{R,sk} = \frac{\theta_{sik}^* - \theta_e}{\theta_{i,k} - \theta_e}$$

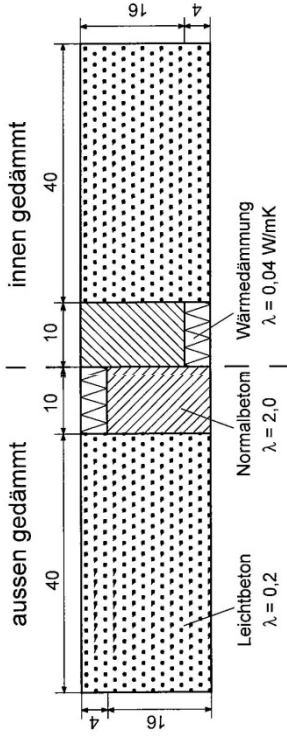
$$f = \frac{\Theta_i - \Theta_{oi}}{\Theta_i - \Theta_e}$$

$$f^*_{R,si} = 1 - f$$

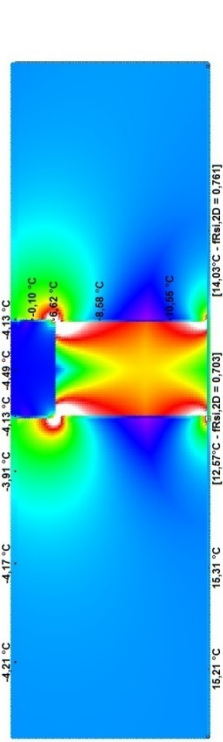
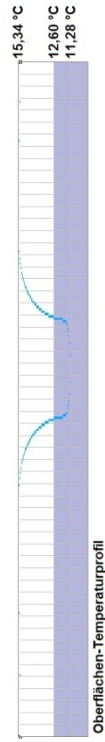
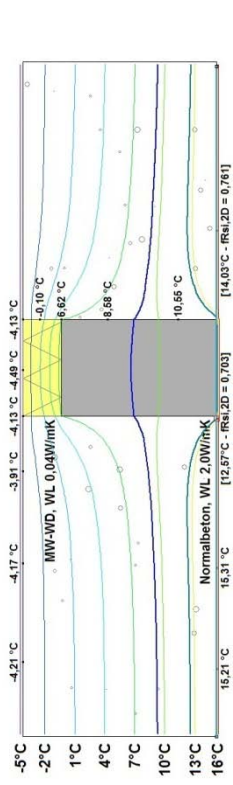
(Kupke C. – Temperatur- und Wärmestromverhältnisse bei Eckausbildungen und auskragenden Bauteilen)

# Materialbedingte Wärmebrücken

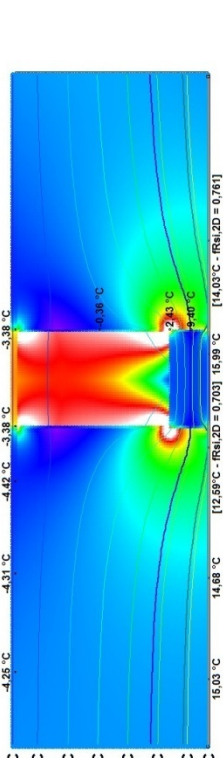
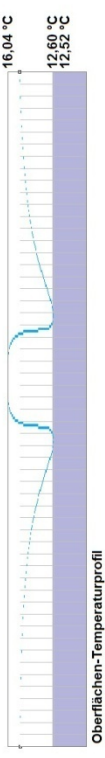
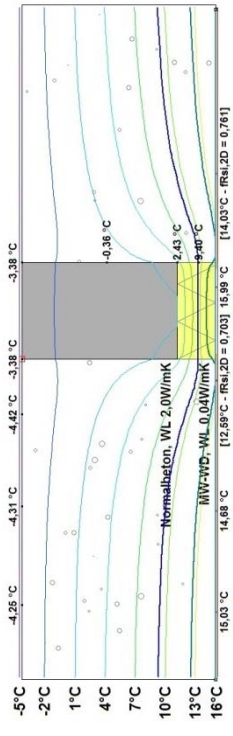
(Kupke C. – Temperatur- und /ärmestromverhältnisse bei Eckausbildungen und auskragenden Bauteilen)



**Randbedingungen:**  
 $\Theta_e = -5^\circ\text{C}$   $h_e = 25$  W/m<sup>2</sup>K  
 $\Theta_i = 20^\circ\text{C}$   $h_i = 4$  W/m<sup>2</sup>K



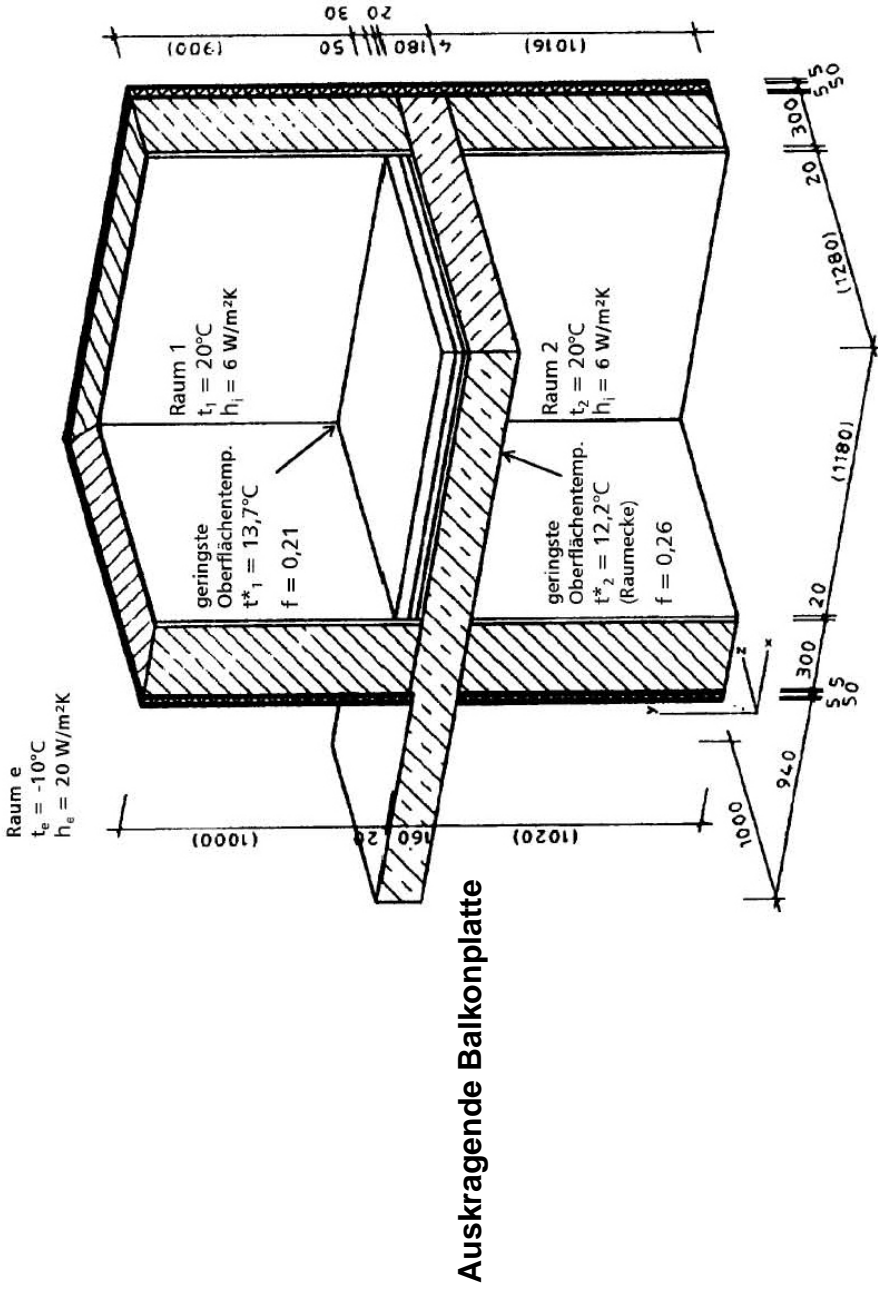
Die Taupunkttemperatur der Raumluft beträgt 9,3°C (20,0°C 50%)  
 80% relative Luftfeuchte werden bei einer Abkühlung der Raumluft auf 12,6°C erreicht  
 $R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04$  m<sup>2</sup>K/W  $g_l / g_e = 20,0 / -5,0$  °C



Die Taupunkttemperatur der Raumluft beträgt 9,3°C (20,0°C 50%)  
 80% relative Luftfeuchte werden bei einer Abkühlung der Raumluft auf 12,6°C erreicht  
 $R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04$  m<sup>2</sup>K/W  $g_l / g_e = 20,0 / -5,0$  °C

# Oberflächentemperaturen in Wärmebrückenbereichen

## Oberflächenkondensation



Ausragende Balkonplatte

Baustoff	d [mm]	λ [W/mK]	Baustoff	d [mm]	λ [W/mK]
Beton-Estrich	50	1,20	Deckenputz	4	1,20
T-S-Dämmplatte	30	0,04	Außenputz	4	0,50
Sandausgleich	20	1,00	Wärmedämmstoff	50	0,04
Randstreifen	4	0,15	Klebermörtel	5	0,27
Stahlbeton	180	2,20	Wandbaustoff	300	0,50
	160	2,20	Innenputz	20	0,70

$$f^*_{R_{s,i,k}} = \frac{\theta_{s,i,k}^* - \theta_e}{\theta_{i,k} - \theta_e}$$

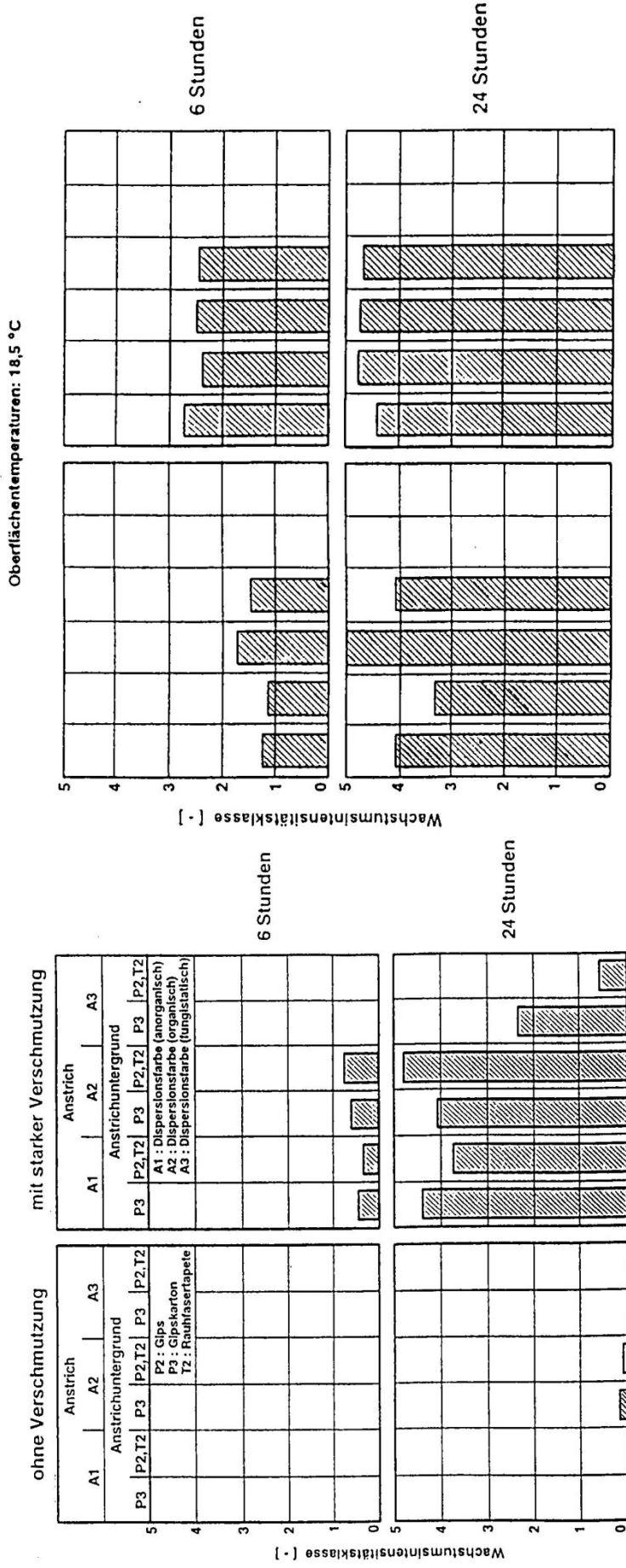
$$f = \frac{\Theta_i - \Theta_{oi}}{\Theta_i - \Theta_e}$$

$$f^*_{R_{s,i}} = 1 - f$$

Quelle: ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 2

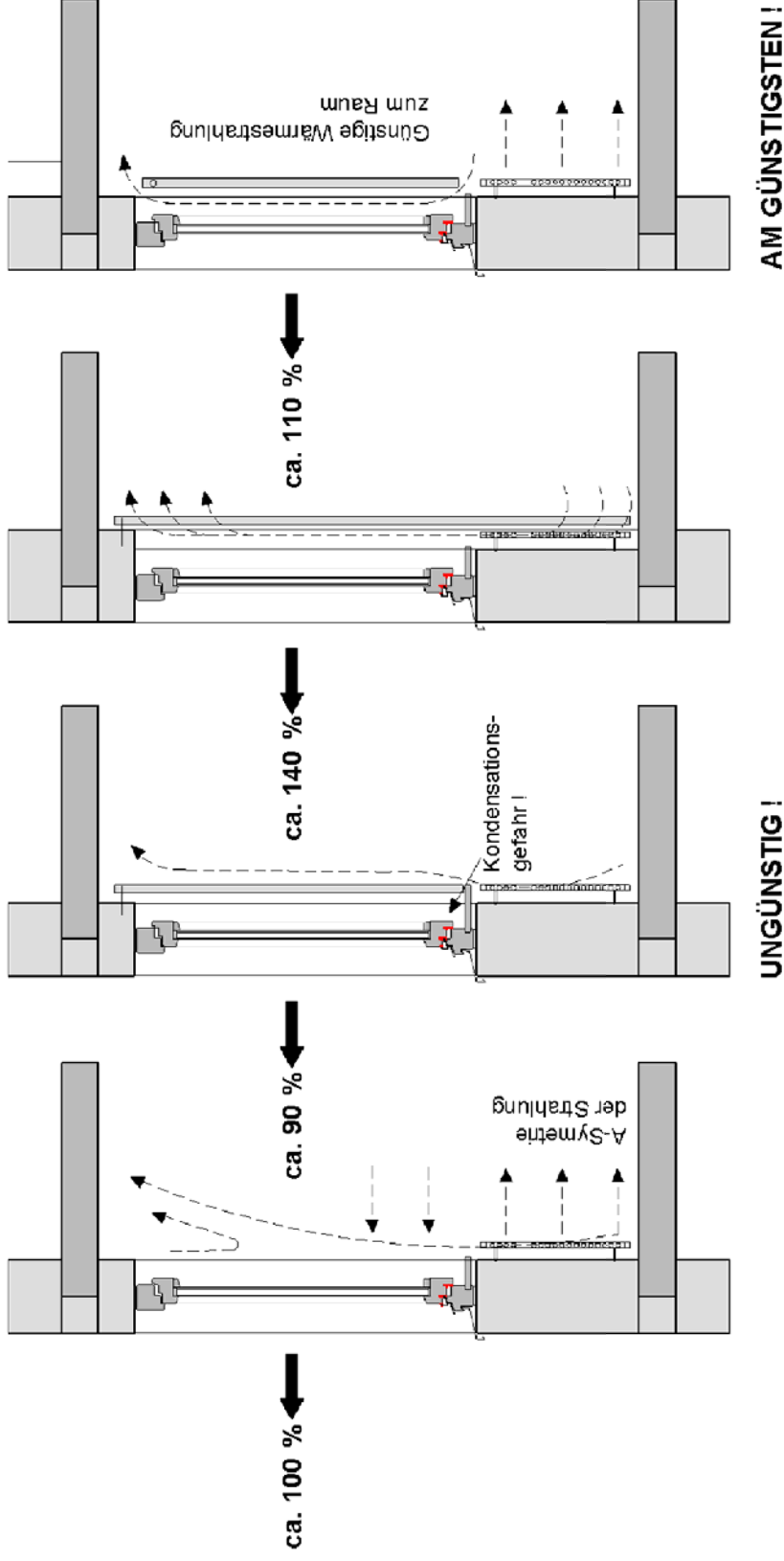
# Schimmelpilzwachstum

Oberflächentemperaturen: 14°C bzw. 18,5°C





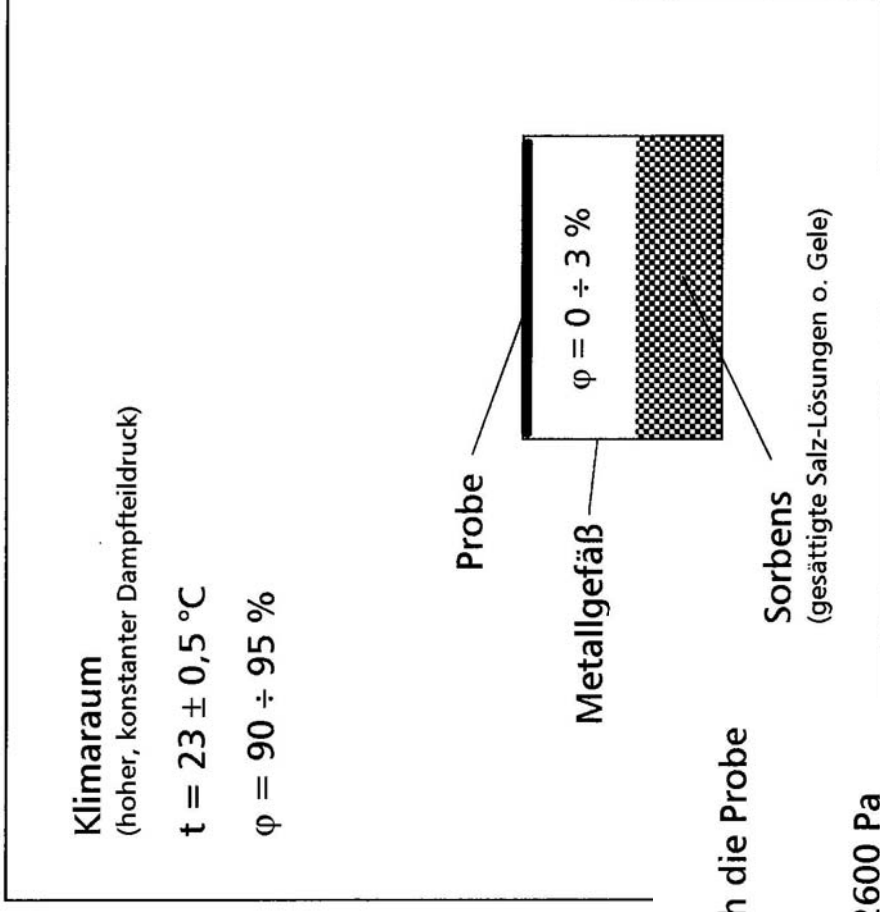
# Einfluss eines Vorhanges auf den Wärmeverlust durch ein Fenster



Wärmeverlust in % zur Erhaltung einer Raumtemperatur von 22°C bei  $U_W = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  
 $U_f = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  und einem Fensterflächenanteil von 35%

nach: Proholz

# Messanordnung zur Diffusionsstrommessung



$$\dot{m} = \frac{\Delta p}{1,5 \cdot 10^3 \cdot \mu \cdot d} \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$$

Massestrom durch die Probe

$$\mu \cdot d = \frac{\Delta p}{1,5 \cdot 10^3} \cdot \frac{24}{l} \quad \frac{[\text{h}/\text{d}]}{[\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]}$$

bzw. mit  $\Delta p \approx 2600 \text{ Pa}$

$$\mu \cdot d = \frac{42}{l} \quad [\text{m}]$$

$l$  [g/m<sup>2</sup>·d] ... Wasserdampf - Diffusionsstrom in 24 Stunden

Quelle: ÖNORM B 6016 (10.1994)

# Wasserdampf- Diffusionswiderstandszahlen $\mu$ von Bau- und Dämmstoffen

Nr.	Bauteilschicht	$\mu$
1	Wand- und Deckenputz	10...35
2	Wärmedämmputz (Rohdichte $\leq 500 \text{ kg/m}^3$ )	5...7
3	Gips-kalkputzmörtel, Gipsputzmörtel aus reinem Gips,	10
4	Dünnputz	150
5	Normalbeton	50...100
6	Steinsplitt- und Ziegelsplittbeton, haufwerksporig, Rohdichte $1400 \text{ kg/m}^3$ bis $1800 \text{ kg/m}^3$	3...10
7	Blähtonbeton, Rohdichte $500 \text{ kg/m}^3$ bis $1000 \text{ kg/m}^3$	2...10
8	Polystyrol-Beton, Rohdichte $300 \text{ kg/m}^3$ bis $500 \text{ kg/m}^3$	5...10
9	Bimsbeton und Beton aus geschäumter oder granulierter Hochfenschlacke	10
10	Perlitbeton, Rohdichte $400 \text{ kg/m}^3$ bis $500 \text{ kg/m}^3$	7
11	dampfgehärteter Gas- und Schaumbeton, Leichtkalkbeton, Rohdichte $400 \text{ kg/m}^3$ bis $800 \text{ kg/m}^3$	5
12	Faserzementplatten <sup>1)</sup> gemäß ÖNORM B 3424	50
13	Gipskartonplatten gemäß ÖNORM B 3410	8
14	Mauerwerk aus Klinkern	100
15	Mauerwerk aus Voll-, Hohl- und/oder Sichtziegeln	10
16	Außenwandverkleidung aus Glasmosaik oder Spaltklinkern	200
17	Holzwohle-Leicht- und Holzspan-Dämmplatten gemäß ÖNORM B 6021 und ÖNORM B 6022 und Manteelsteine gemäß ÖNORM B 3208	2...5
18	Korkplatten	10
19	Holz (Eiche, Buche, Fichte, Kiefer, Tanne)	50
20	Sperrholz gemäß ÖNORM B 3008	50...200
21	poröse Holzfaserplatten (auch bituminierete)	5
22	harte Holzfaserplatten gemäß ÖNORM B 3005	70
23	Holzspanplatten gemäß ÖNORM B 3002	50...100
24	gebundene Mineralwolle gemäß ÖNORM B 6035	1

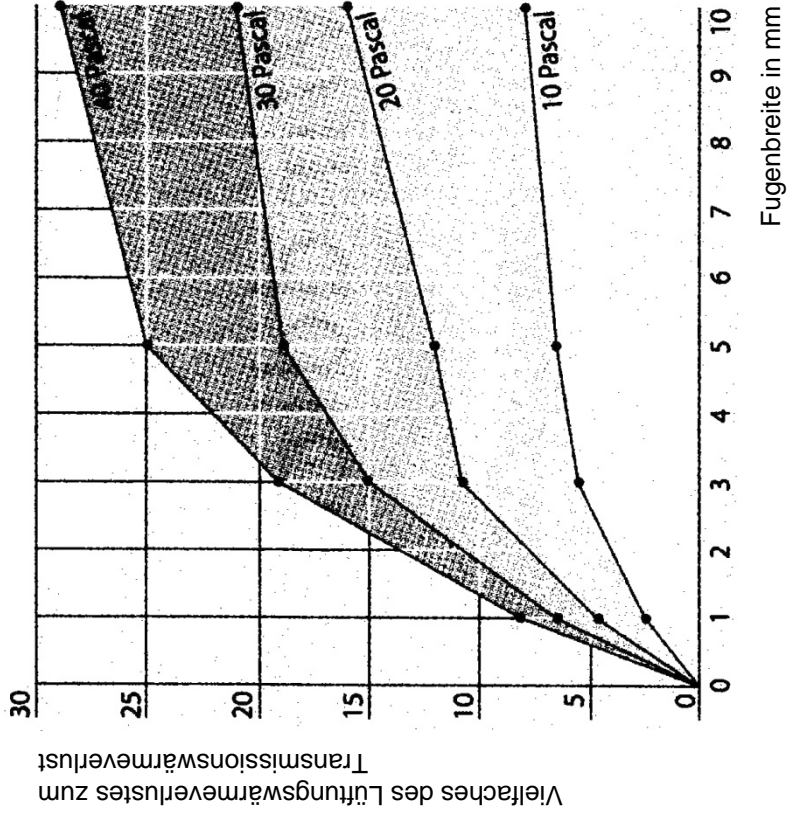
Quelle: ÖNORM B 8110-2 (VORNORM)

# Wasserdampf- Diffusionswiderstandszahlen $\mu$ von Bau- und Dämmstoffen

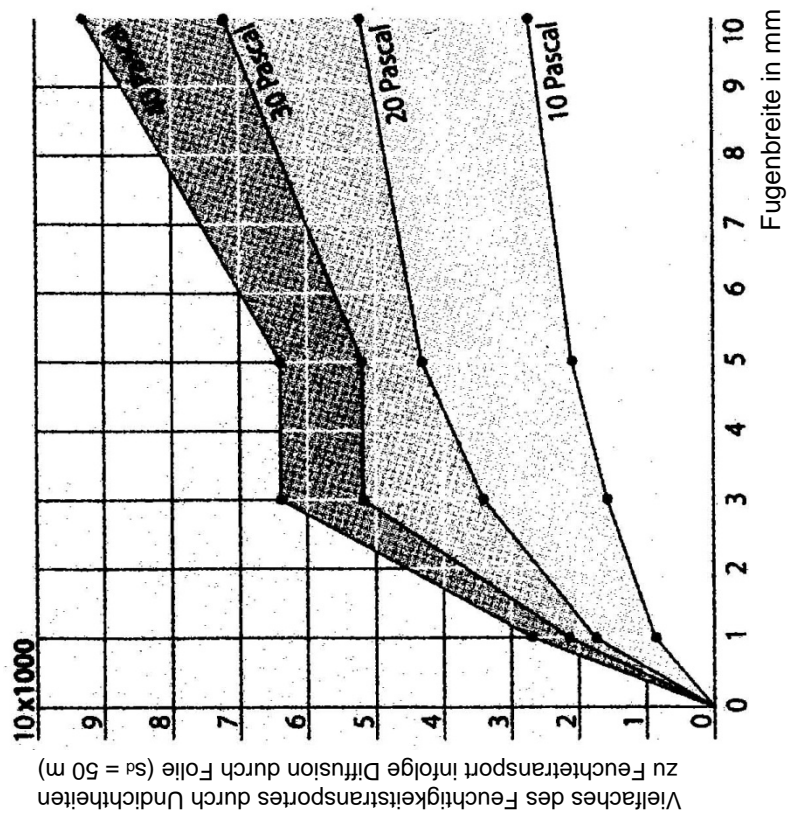
Nr.	Bauteilschicht	$\mu$
25	Expandierter Polystyrol-Partikelschaumstoff EPS, 2) gemäß ÖNORM B 6050	20...50
	EPS W 15	30...70
	EPS W 20	35...80
	EPS W 25	90...100
	EPS W 30	80
26	Polystyrol-Extruderschaumstoff, XPS-R, gemäß ÖNORM B 6053	80...200
27	Polystyrol-Extruderschaumstoff, XPS-G, gemäß ÖNORM B 6053 dickenabhängig	50...100
28	Polyurethan-Schaumstoff, Rohdichte 30 kg/m <sup>3</sup> bis 40 kg/m <sup>3</sup> gemäß ÖNORM B 6055	150...300
29	Polyvinylchlorid-Schaumstoff, Rohdichte 30 kg/m <sup>3</sup> bis 70 kg/m <sup>3</sup>	30...50
30	Phenolharz-Schaumstoff, Rohdichte 20 kg/m <sup>3</sup> bis 100 kg/m <sup>3</sup>	100 000 <sup>3)</sup>
31	Schaumglas	2 100
32	Bitumenpapier <sup>1)</sup>	4 000
33	Wachspapier <sup>1)</sup>	2 500
34	Bitumenpappe gemäß ÖNORM B 3635	40 500
35	Bituminöse Dach- und Abdichtungsbahnen gemäß ÖNORM B 3635, Dicke 3,0 mm	70 000
36	Glasvlies-Bitumendachbahn, Stärke 5, fein besandet oder talkuliert, Dicke 2,2 mm	dampfdicht <sup>4)</sup>
37	Bitumendachbahn mit Metallfolieneinlage, flächenbezogene Masse der Folie 125 g/m <sup>2</sup> , Dicke 2,2 mm	30 000 <sup>3)</sup>
38	Kunststoff-Dachbahnen gemäß ÖNORMEN B 3670, B 3671, B 3675	90 000 <sup>3)</sup>
39	Kunststoff-Dachbahnen gemäß ÖNORM B 3672	50 000 <sup>3)</sup>
40	Polyvinylchloridfolie	100 000 <sup>3)</sup>
41	Polyethylen-Folie	dampfdicht <sup>4)</sup>
42	Aluminium-Folie, flächenbezogene Masse 125 g/m <sup>2</sup>	
1)	Für Sondererzeugnisse sind Prüfzeugnisse erforderlich.	
2)	Für formgeschäumte Platten werden im allgemeinen höhere Werte erreicht, die durch Prüfzeugnisse nachzuweisen sind.	
3)	Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ist durch Prüfzeugnis nachzuweisen.	
4)	Als Rechenwert kann $\mu \cdot d \geq 1500$ m eingesetzt werden.	

Quelle: ÖNORM B 8110-2 (VORNORM)

### Wärmeverluste durch mangelhafte Luftdichte



### Feuchteintrag durch Konvektion



Quelle: Energie Tirol – Wärmebrücken + Luft- und Winddichte