

UNIVERSITÄT GESAMTHOCHSCHULE KASSEL

FACHGEBIET BAUPHYSIK

UNIV.-PROF. DR.-ING. GERD HAUSER

Bauphysikalische Grundlagen Wärmelehre

Vorlesungsskript Bauphysik I

November 2003

Der Umdruck ist zum persönlichen, internen Gebrauch bestimmt.

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Grundlagen.....	3
1.1	Wärmekapazität	3
1.2	Wärmetransportmechanismen	4
1.2.1	Wärmeleitung	4
1.2.2	Konvektion.....	9
1.2.3	Strahlung	13
2	Stationärer Wärmedurchgang durch Bauteile	20
2.1	Rechnerische Ermittlung der Temperaturverteilung in Bauteilen.....	22
2.1.1	Stationär, eindimensional	22
2.1.2	Stationär, dreidimensional	22
2.2	Grafische Ermittlung der stationären Temperaturverteilung	23
2.3	Wärmebrücken	23
2.3.1	Kennzeichnung zusätzlicher Wärmeverluste	23
2.3.2	Raumseitige Oberflächentemperaturen	27
2.3.3	Kennzeichnung raumseitiger Oberflächentemperaturen.....	28
2.3.4	Anwendungsbeispiel.....	30
2.3.5	Sanierungsfall.....	33
2.3.6	Neubaudetails.....	35
3	Instationäre Temperaturverteilung in Bauteilen.....	36
3.1	Auskühlung.....	36
3.2	Aufheizvorgang	38
3.3	Periodische Änderungen	39
4	Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit und des U-Wertes auf den Wärmeverlust	41
5	Wirkung der Sonneneinstrahlung	43
5.1	Verglasungen	43
5.2	Wände und Decken	43
5.3	Äquivalente k-Werte	44
5.3.1	Fenster	44
5.3.2	Wände und Decken	46
6	Kennzeichnung der Außenlufttemperatur.....	47
7	Überschlägige Energiebedarfsberechnung infolge Transmission	48
8	Wärmeausdehnung.....	49
9	Wärmeschutztechnische Vorschriften	50

9.1	DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparungen in Gebäuden“	50
9.1.1	Wärmedurchlaßwiderstand nichttransparenter Bauteile	50
9.1.2	Randbedingungen für die Berechnung	51
9.1.3	Wärmeübergangswiderstände	55
9.1.4	Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	56
9.1.5	Anforderungen an die Luftdichtheit	56
9.1.6	Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz	57
9.2	Energieeinsparverordnung (EnEV)	61
10	Praktischer Wärmeschutz – Ausführungsbeispiele	62
10.1	Dächer	62
10.2	Wände	64
10.3	Kellerdecken/Bodenplatten	69
10.4	Fenster	74

Anhang

Formblatt: Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung
- Wohngebäude –

Nomenklatur Skript Wärmelehre

1 Physikalische Grundlagen

Der Wärmezustand oder die Temperatur eines Stoffes wird gekennzeichnet durch die kinetische Energie der Moleküle. Die Bewegung der Moleküle hört bei

$$T = 0 \text{ K} \quad \text{oder} \quad \vartheta = - 273,15 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{K} : \text{Kelvin}; \text{ }^\circ\text{C} : \text{Celsius})$$

völlig auf.

1.1 Wärmekapazität

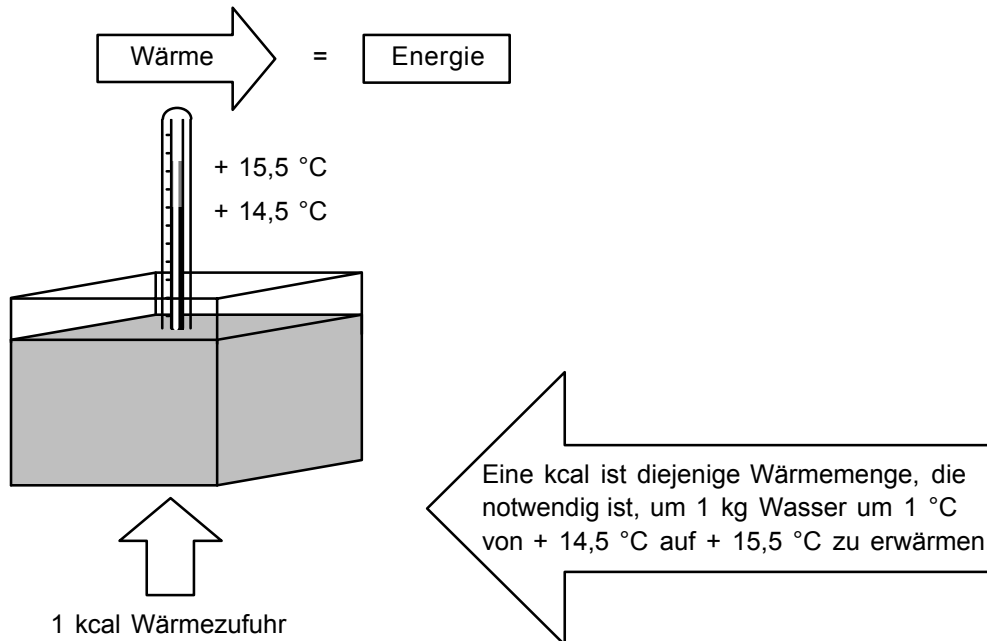


Bild 1.1: Wärmekapazität

$$\begin{aligned} 1 \text{ kcal} &= 1,163 \text{ Wh} = 4.186,8 \text{ J} \\ 1 \text{ J (Joule)} &= 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm} \\ 1 \text{ N} &= 1 \text{ kg m s}^{-2} \end{aligned}$$

Wärmekapazität	$C = c \cdot \rho$	$[(\text{Wh}/(\text{m}^3 \text{ K}))]$	
spezifische Wärmekapazität	c	$[\text{Wh}/(\text{kg K})]$	$1 \text{ kJ}/(\text{kg K}) = 0,278 \text{ Wh}/(\text{kg K})$
Rohdichte	ρ	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	

Beispiele

1 m^3 Wasser	$C = 1,163 \text{ Wh}/(\text{kg K}) \cdot 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1163 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K})$
1 m^3 Beton	$C = 0,278 \text{ Wh}/(\text{kg K}) \cdot 2500 \text{ kg}/\text{m}^3 = 694 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K})$
1 m^3 Hartschaum	$C = 0,417 \text{ Wh}/(\text{kg K}) \cdot 50 \text{ kg}/\text{m}^3 = 21 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K})$
1 m^3 Holz	$C = 0,583 \text{ Wh}/(\text{kg K}) \cdot 700 \text{ kg}/\text{m}^3 = 408 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K})$

Wärmespeicherung

Q	$[\text{Wh}]$	$Q = m \cdot c \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) = V \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$
m	$[\text{kg}]$	Masse
V	$[\text{m}^3]$	Volumen

Wärmespeicherfähigkeit

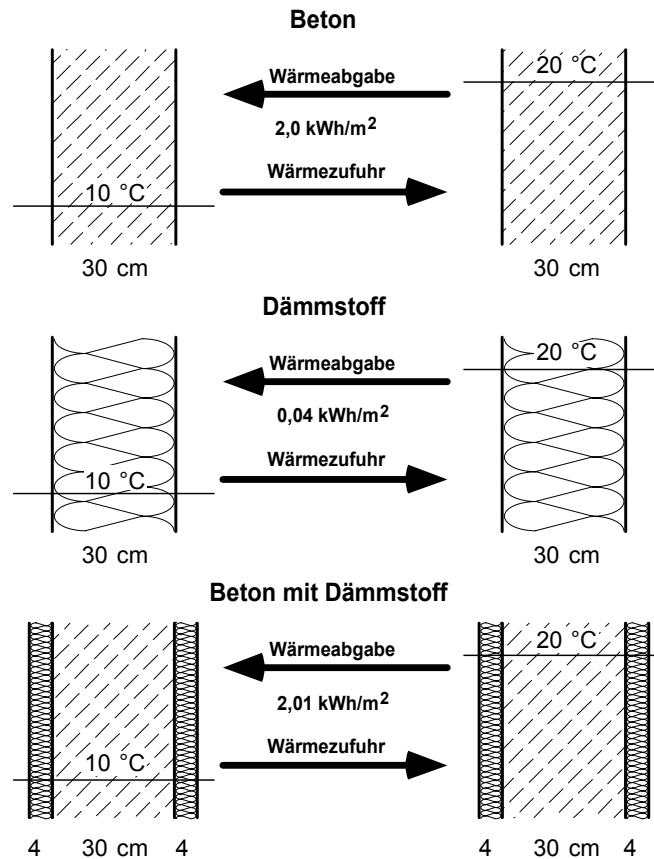


Bild 1.2: Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Baustoffe und Konstruktionen.

1.2 Wärmetransportmechanismen

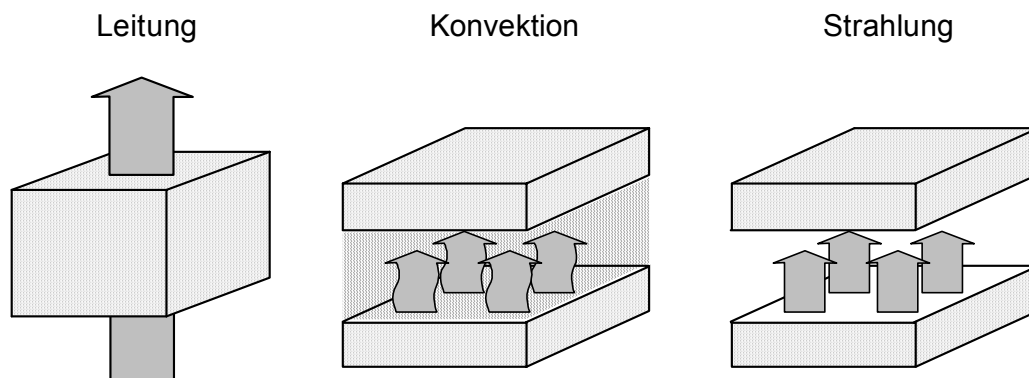


Bild 1.3: Schematische Darstellung der Wärmetransportmechanismen Leitung, Konvektion und Strahlung.

1.2.1 Wärmeleitung

Wärmeleitung erfolgt innerhalb eines Stoffes. Ein Maß für die Stärke der Wärmeleitung eines Stoffes ist dessen Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m K)].

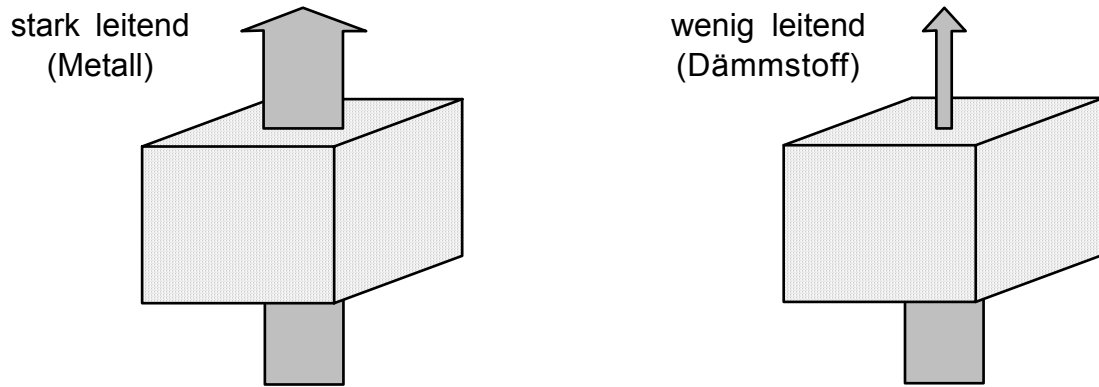


Bild 1.4: Schematische Darstellung des Wärmetransports infolge Leitung.

Beispiele

Metalle	$\lambda =$	15,00 bis	360,00	W/(m K)
Natürliche Steine	$\lambda =$	2,30 bis	3,50	W/(m K)
Baustoffe aller Art	$\lambda =$	0,10 bis	2,10	W/(m K)
Dämmstoffe	$\lambda =$	0,02 bis	0,10	W/(m K)
Vakuum	$\lambda =$	0,00	W/(m K)	

Mit zunehmender Rohdichte steigt die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes.

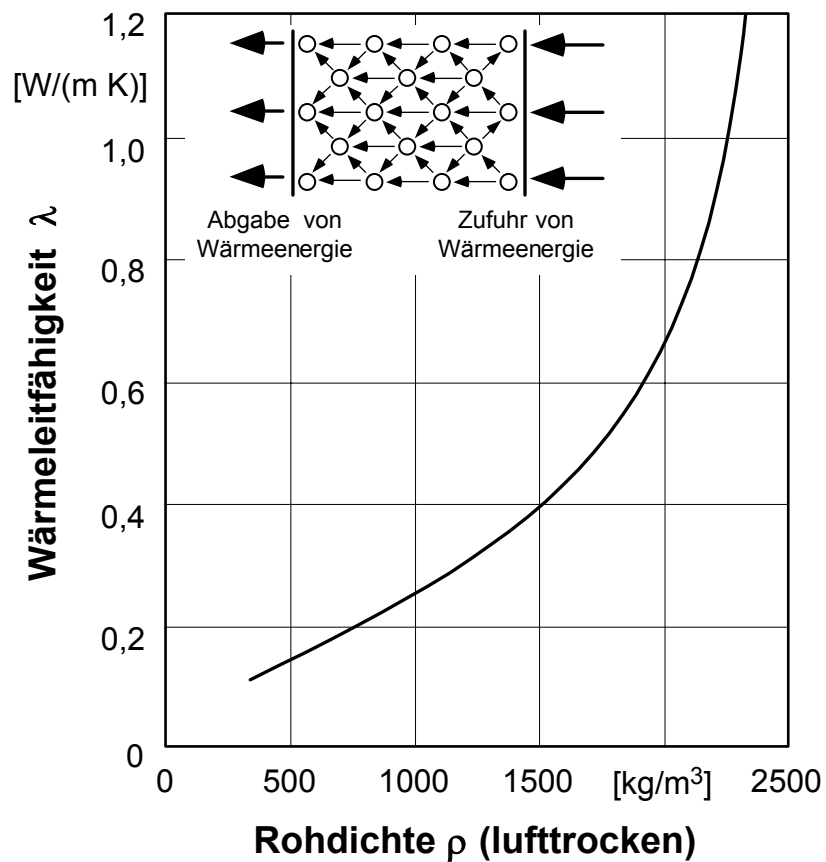
Bild 1.5: Wärmeleitfähigkeit λ lufttrockener Baustoffe (Durchschnittswerte), abhängig von der Rohdichte (nach J. S. Cammerer).

Tabelle 1.1: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von ausgewählten Bau- und Dämmstoffen nach DIN 4108, Teil 4.

Stoff	Rohdichte ¹⁾ ρ [kg/m ³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]
Putze, Mörtel, Estriche		
Kalkmörtel, Kalkzementmörtel	(1800)	0,87
Zementmörtel, Zementestrich	(2000)	1,40
Gipsmörtel, Kalkgipsmörtel	(1400)	0,70
Gipsputz ohne Zuschlag	(1200)	0,35
Wärmedämmputz nach DIN 18550-3	(≥ 200)	0,060 bis 0,100
Kunstharzputz	(1100)	0,70
Betone		
Normalbeton	2200 bis 2400	1,6 bis 2,1
Leichtbeton und Stahlleichtbeton	800 bis 2000	0,39 bis 1,6
Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223	400 bis 800	0,14 bis 0,23
Leichtbeton haufwerksporig mit nichtporigen Zuschlägen	1600 bis 2000	0,81 bis 1,4
Leichtbeton haufwerksporig mit porigen Zuschlägen	600 bis 2000	0,22 bis 1,2
Bauplatten		
Porenbetonbauplatten	400 bis 800	0,20 bis 0,29
Wandbauplatten aus Leichtbeton	800 bis 1400	0,29 bis 0,58
Wandbauplatten aus Gips	600 bis 1200	0,29 bis 0,58
Gipskartonplatten	(900)	0,25
Mauerwerk		
Vollklinker-, Hochlochklinker-, Keramikklinkermauerwerk	1800 bis 2200	0,81 bis 1,2
Vollziegel-, Hochlochziegelmauerwerk	1200 bis 2000	0,50 bis 0,96
Leichtlochziegelmauerwerk mit Lochung A und B	700 bis 1000	0,36 bis 0,45
Mauerwerk aus Kalksandsteinen	1000 bis 2200	0,50 bis 1,3
Wärmedämmstoffe		
Holzwolle-Leichtbauplatten Plattendicke $d \geq 25$ mm	(360 bis 460)	0,065 bis 0,090
Korkdämmstoffe	(80 bis 500)	0,045 bis 0,055
Schaumkunststoffe: Polystyrol-Partikelschaum	≥ 15	0,035 bis 0,040
Polystyrol-Extruder Schaum	(≥ 25)	0,030 bis 0,040
Polyurethan-Hartschaum	(≥ 30)	0,020 bis 0,040
Mineralische und pflanzliche Faserdämmstoffe	(8 bis 500)	0,035 bis 0,050
Schaumglas nach DIN 18174	(100 bis 150)	0,045 bis 0,060
Holzfaserdämmplatten nach DIN 68755	(120 bis 450)	0,040 bis 0,070
Holz- und Holzwerkstoffe		
Fichte, Kiefer, Tanne	(600)	0,13
Buche, Eiche	(800)	0,20
Sperrholz	(800)	0,15
Holzspan-Flachpreßplatten	(700)	0,13
Harte Holzfasерplatten	(1000)	0,17
Poröse Holzfasерplatten	≤ 400	0,070
Beläge, Abdichtungsstoffe und Abdichtungsbahnen		
Linoleum nach DIN EN 548	(1000)	0,17
Kunststoffbeläge z.B. PVC	(1500)	0,23
Bitumendachbahnen und nackte Bitumenbahnen n. DIN 52128	(1200)	0,17
Sonstige Stoffe		
Lose Schüttungen aus porigen Stoffen	(≤ 100) bis ≤ 1500	0,060 bis 0,27
Lose Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (trocken)	(1800)	0,70
Glas	(2500)	0,80
Metalle	-	15 bis 380

¹⁾ Die in Klammern angegebenen Werte der Rohdichte dienen nur zur Ermittlung der flächenbezogenen Masse, z.B. für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.

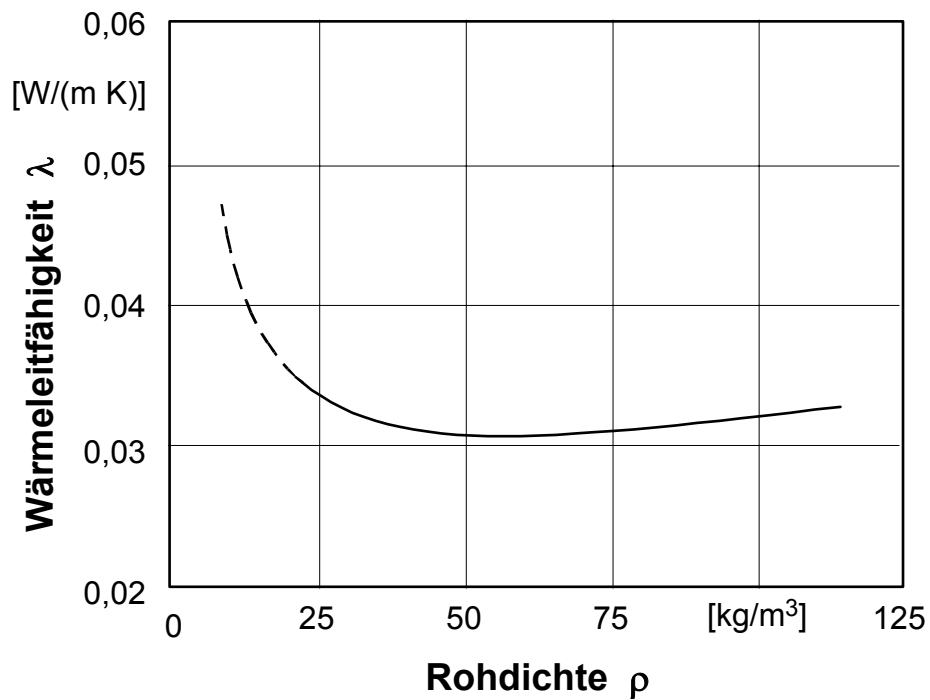


Bild 1.6: Wärmeleitfähigkeit λ von Faserdämmstoffen in Abhängigkeit von der Rohdichte.

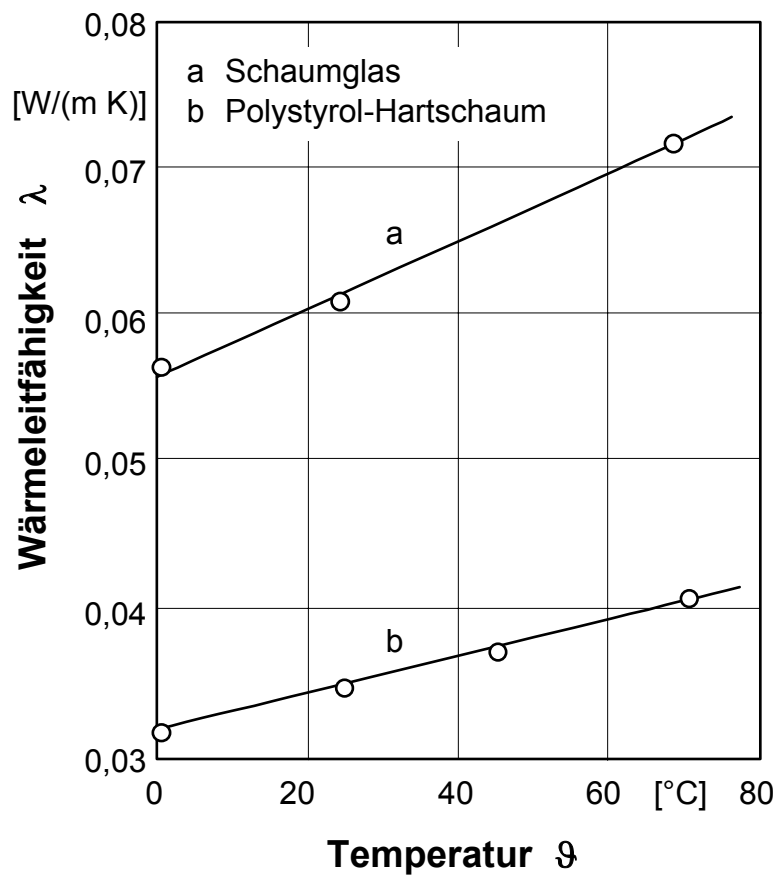


Bild 1.7: Wärmeleitfähigkeit λ von Schaumstoffen in Abhängigkeit von der Materialtemperatur. Schaumglas: $\rho = 156 \text{ kg}/\text{m}^3$; Polystyrol-Hartschaum: $\rho = 20 \text{ kg}/\text{m}^3$.

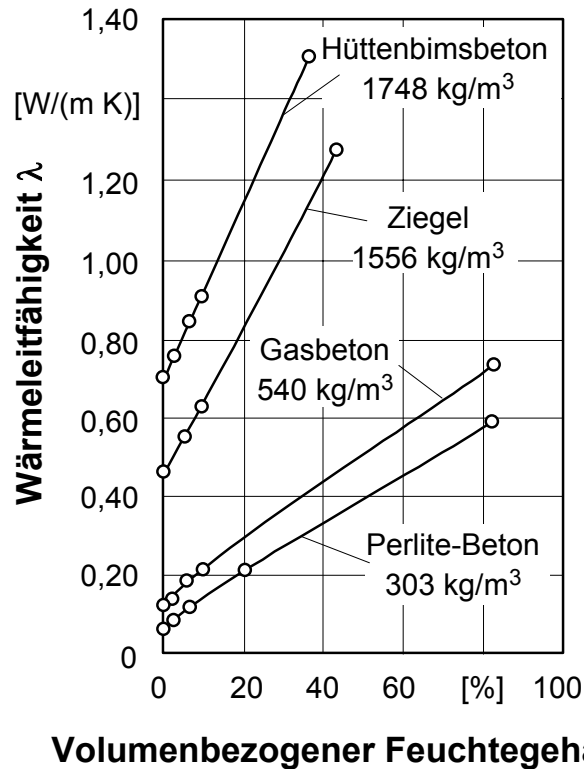


Bild 1.8: Wärmeleitfähigkeit λ verschiedener Baustoffe, abhängig vom volumenbezogenen Feuchtegehalt (nach W. F. Cammerer).

Je feuchter ein Stoff ist, desto höher ist seine Wärmeleitfähigkeit.

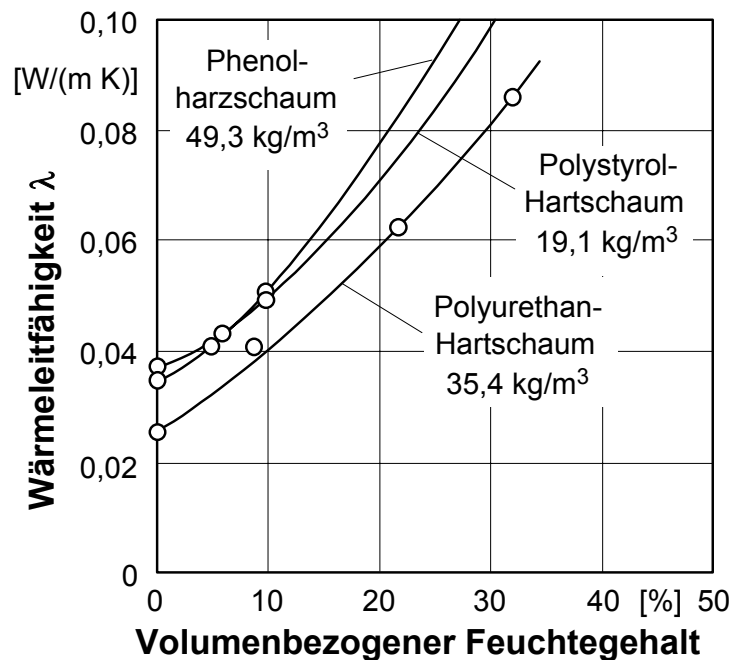


Bild 1.9: Wärmeleitfähigkeit λ verschiedener Schaumkunststoffe, abhängig vom volumenbezogenen Feuchtegehalt (nach W. F. Cammerer).

$$n_v = \frac{m_f - m_t}{m_t} \cdot \frac{\rho_{\text{Stoff}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \quad \text{wobei } \rho_{\text{Wasser}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Wärmestromdichte	$q = -\lambda \cdot d\vartheta/dx = \lambda/s (\vartheta_1 - \vartheta_2)$	[W/m ²]
Wärmestrom	$\Phi = q \cdot A$	[W]
Wärmemenge	$Q = \Phi \cdot t$	[Wh], [J], [kcal]
Fläche	A	[m ²]
Zeit	t	[h]

1.2.2 Konvektion

Der Wärmetransport erfolgt durch Strömung von Gasen (Luft) oder Flüssigkeiten.

1.2.2.1 Wärmetransport innerhalb eines Gases oder einer Flüssigkeit

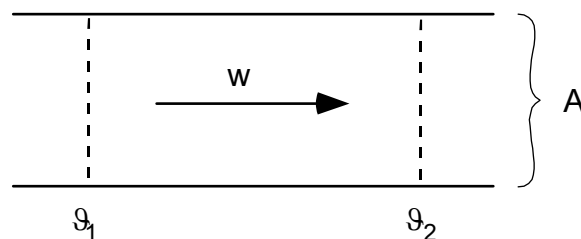
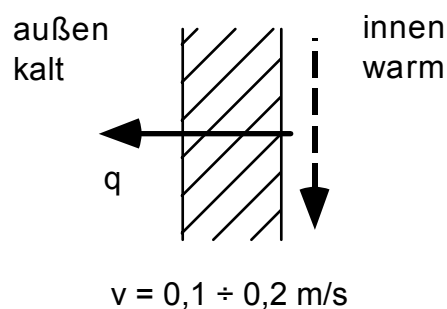


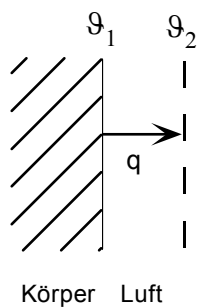
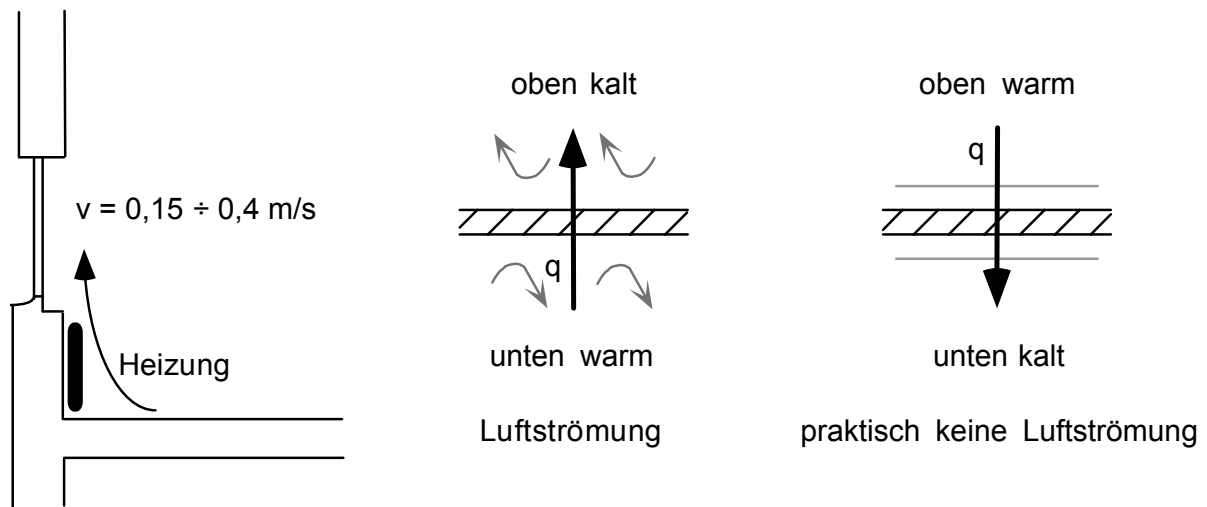
Bild 1.10: Schematische Darstellung des Wärmetransports infolge Konvektion.

$\Phi = w \cdot A \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$	[W]	w [m/h]
$\dot{V} = w \cdot A$	[m ³ / h]	
$\Phi = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$	[W]	
$n = \dot{V} / V_{\text{Raum}}$ Luftwechsel	[h ⁻¹]	
$(\rho \cdot c)_{\text{Luft}} = 0,34 \text{Wh}/(\text{m}^3 \text{K})$	[W h/(m ³ K)]	
$(\rho \cdot c)_{\text{Wasser}} = 1163 \text{Wh}/(\text{m}^3 \text{K})$	[W h/(m ³ K)]	

1.2.2.2 Wärmetransport von und zu einer Körperoberfläche

1.2.2.2.1 Phänomene





$$q = \alpha_k \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

α_k - Wärmeübergangskoeffizient
[W/m²K]

K - konvektiv

Bild 1.11: Einflüsse auf den konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten bei vertikalen und horizontalen Bauteilen.

α_k ist abhängig von

- Strömungsgeschwindigkeit
- Oberflächentemperatur
- Lufttemperatur
- Oberflächenrauigkeit

Im Bauwesen: α_k zwischen 0 und 100 W/(m² K) Wärmetransport durch Luftströmung.

1.2.2.2 Ermittlung von α_k

Berechnung über Nusselt-Gleichung

$$Nu = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda} \quad [-]$$

D charakteristische Größe [m]
 λ Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]

Andere dimensionslose Größen

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu} \quad \text{Reynoldszahl} \quad \nu \quad \text{kinematische Viskosität [m}^2/\text{s]}$$

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad \text{Prandtlzahl} \quad a \quad \text{Temperaturleitfähigkeit [m}^2/\text{s]}$$

$$Gr = \frac{H^3 \cdot g \cdot \beta \cdot (\vartheta_w - \vartheta_\infty)}{\nu^2} \quad \text{Grashofzahl}$$

β Ausdehnungskoeffizient [1/K]
 g Erdbeschleunigung [m/s²]

a) Erzwungene Konvektion

$$Nu = f(Re, Pr)$$

$$\alpha_k = a + b \cdot w^c$$

- Recknagel

$$w < 5 \text{ m/s} \quad \alpha_k = 6,2 + 4,2 \cdot w$$

$$w > 5 \text{ m/s} \quad \alpha_k = 7,15 \cdot w^{0,78}$$

$$\text{turbulent} \quad \alpha_k \approx 6,4 \cdot w^{0,8} / \ell^{0,2} \quad (\ell \text{ Bauteillänge})$$

- CEN

$$\alpha_k = 2,8 + 3,0 \cdot w$$

freie Windgeschwindigkeit w_f	$w_f > 2 \text{ m/s}$	$w = w_f / 4$	}	Luv
	$w_f \leq 2 \text{ m/s}$	$w = 0,5$		
		$w = 0,3 + 0,05 \cdot w_f$		Lee

b) Freie Konvektion

$$\text{Nu} = f(\text{Gr}, \text{Pr})$$

α) vertikale Fläche

- Recknagel

laminar

$$\alpha_k = 5,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta\vartheta}{T_L \cdot h}} \quad \text{Höhe } h \text{ [m]}$$

turbulent

$$\alpha_k = 9,7 \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta\vartheta}{T_L}} \quad \text{absolute Temperatur der Luft } T_L \text{ [K]}$$

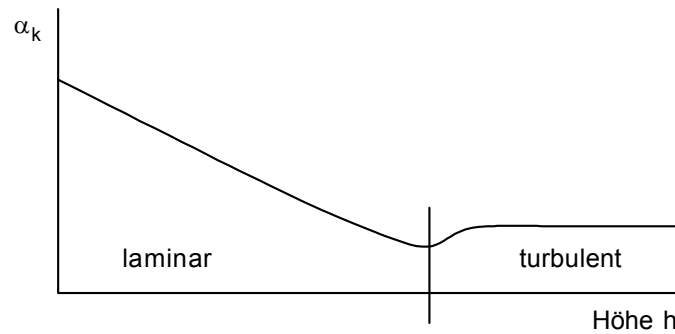


Bild 1.12: Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in Abhängigkeit von der Höhe der überströmten Fläche (Wand).

- CEN

$$\alpha_k = 1,23 \cdot \Delta\vartheta^{1/3}$$

β) horizontale Flächen

- Recknagel

$$q \uparrow \quad \alpha_k = 1,73 \cdot \Delta\vartheta^{1/3}$$

$$q \downarrow \quad \alpha_k = 0,59 \cdot \Delta\vartheta^{1/5} \cdot \left(\frac{U}{A}\right)^{2/5} \quad \begin{array}{l} U \text{ Umfang} \\ A \text{ Fläche} \end{array}$$

- CEN

$$q \uparrow \quad \alpha_k = 1,63 \cdot \Delta\vartheta^{1/3}$$

$$q \downarrow \quad \alpha_k = 0,60 \cdot \frac{\Delta\vartheta^{1/5}}{L^{2/5}} \quad L = \frac{4 \cdot A}{U}$$

1.2.3 Strahlung

Unter Strahlung versteht man den Wärmetransport über elektromagnetische Wellen. Er erfolgt auch im luftleeren Raum mit Lichtgeschwindigkeit.

1.2.3.1 Kurzwellige Strahlung

Die kurzwellige Strahlung rührt von der Sonnenstrahlung her, die zu

7 %	als UV-Strahlung	(Wellenlänge < 380 nm),
47 %	als sichtbare Strahlung	(Wellenlänge 380 bis 780 nm) und
46 %	als langwellige Sonneneinstrahlung	(Wellenlänge 780 bis 3000 nm)

auftritt.

Die Strahlung wird von Bauteilen zum Teil

reflektiert	(Reflexionsgrad ρ oder R),
absorbiert	(Absorptionsgrad α oder A) und
transmittiert	(Transmissionsgrad τ oder T).

Dabei gilt

$$R + A + T = 1,0 \quad \text{bzw.} \quad \rho + \alpha + \tau = 1,0.$$

Bei opaken Bauteilen gilt

$$T = 0 \quad \text{bzw.} \quad \tau = 0.$$

1.2.3.2 Langwellige Strahlung - Wärmestrahlung

Die Wellenlänge liegt, je nach Oberflächentemperatur, bei 3 bis 800 μm .

Von einer Oberfläche abgestrahlte Energie:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^4 = \varepsilon \cdot C_s \cdot \left(\frac{T_0}{100} \right)^4$$

ε Emissionsgrad (bei schwarzem Körper $\varepsilon = 1$)

σ Stefan-Boltzman-Konstante $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

C_s Strahlungskonstante des schwarzen Körpers $5,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

Tabelle 1.2

Stoffe und Zustand der Oberfläche	Emissionsgrad ε
Metalle, hochglanzpoliert	
Aufgedampfter Silberspiegel	0,02
Edle Metalle	0,016 - 0,05
Nichtedle Metalle	0,026 - 0,07
Metalle im technischen Zustand	
Aluminium, roh	0,07 - 0,087
Aluminium, stark oxidiert	0,24
Aluminium, oxidiert	0,8
Blei, grau oxidiert	0,28
Eisen, Stahl, roh mit Walzhaut oder Gußhaut	0,75 - 0,81
Eisen, Stahl, ganz verrostet	0,69
Eisen, Stahl, matt verzinkt	0,087
Eisen, Stahl, verzinkt	0,22 - 0,28
Kupfer, geschabt	0,093
Kupfer, schwarz oxidiert	0,77
Messing, rohe Walzfläche	0,068
Messing, frisch geschirgelt	0,14
Messing, brüniert	0,42
Anstriche	
Aluminiumlack	0,034 - 0,42
Emaillack, schneeweiß	0,91
Spirituslack, schwarz glänzend	0,83
Schmelzemaille, weiß	0,91
Beliebige Ölfarben (auch weiß), Lithopone	0,88 - 0,97
Ruß-Wasserglas (Rubens-Hoffmann) 100 °C	0,96
Verschiedene Stoffe	
Eichenholz, gehobelt	0,89
Dachpappe	0,91
Eis, glatt, dicker als 0,1 mm	0,91
Gips	0,95
Glas, glatt	0,95
Gummi, weich	0,87
Kachel, weiß glasiert	0,87
Kohle	0,81
Hartgummi, glatt, schwarz	0,93
Marmor, hellgrau, poliert	0,85
Öl	0,93

Tabelle 1.3

	Wärmestrahlung $\vartheta \cong 20^\circ\text{C}$ Emissionsgrad $\varepsilon (= \alpha)$	Sonnenstrahlung Absorptionsgrad α
Sichtbackstein rot	0,93	0,54
Dachziegel dunkelbraun	0,94	0,76
Kalksandstein	0,96	0,60
Beton glatt	0,96	0,55
Kunststoff-Verputz weiß	0,97	0,36
Mineralischer Verputz grau	0,97	0,65
Aluminium, anodisiert oder eloxiert	0,90	0,20 bis 0,40
poliertes Aluminium	0,02 bis 0,04	0,10 bis 0,40
Fensterglas	0,90	0,04 bis 0,40

(je nach Durchlässigkeit)

Strahlungsaustausch zwischen zwei Flächen

$$q_{1 \rightarrow 2} = \varphi_{1 \rightarrow 2} \cdot C_{1 \rightarrow 2} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$\varphi_{1 \rightarrow 2}$ Einstrahlzahl (kennzeichnet die Stellung der Flächen zueinander) [-]

$C_{1 \rightarrow 2}$ Strahlungskoeffizient [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$]

Für beliebige Flächen mit ε_1 und $\varepsilon_2 > 0,8$

$$C_{1 \rightarrow 2} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot C_S$$

Ermittlung von $\varphi_{1 \rightarrow 2}$

$$\varphi_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\pi \cdot A_1} \cdot \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{s^2} \cdot dA_1 \cdot dA_2$$

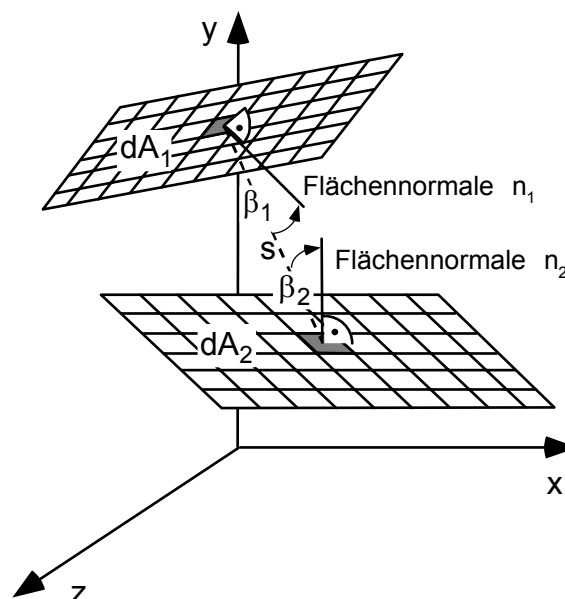
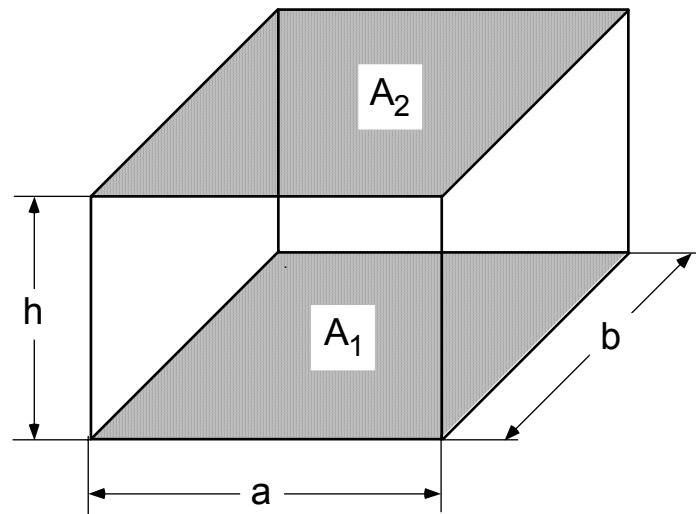


Bild 1.13: Erläuterung der Einflußgrößen auf die Einstrahlzahl.

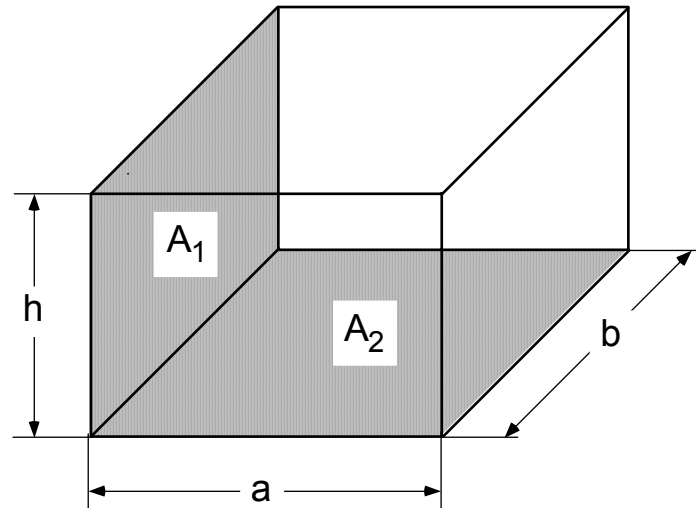


$$\varphi_{1 \rightarrow 2} = \frac{2}{a \cdot b \cdot \pi} \left[a \cdot \sqrt{b^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{a}{\sqrt{b^2 + h^2}} - a \cdot h \cdot \arctan \frac{a}{h} \right. \\ \left. + b \cdot \sqrt{a^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{b}{\sqrt{a^2 + h^2}} - b \cdot h \cdot \arctan \frac{b}{h} - \frac{h^2}{2} \cdot \ln \frac{(a^2 + b^2 + h^2) \cdot h^2}{(a^2 + h^2) \cdot (b^2 + h^2)} \right]$$

$$a = 6$$

$$\text{z.B.: } b = 3 \Rightarrow \varphi_{1 \rightarrow 2} = 0,285$$

$$h = 3$$



$$\begin{aligned} \varphi_{1 \rightarrow 2} = & \frac{1}{\pi} \left[\arctan \frac{b}{h} + \frac{a}{h} \cdot \arctan \frac{b}{a} - \frac{\sqrt{a^2 + h^2}}{h} \cdot \arctan \frac{b}{\sqrt{a^2 + h^2}} \right. \\ & + \frac{a^2}{4 \cdot b \cdot h} \cdot \ln \frac{(a^2 + b^2 + h^2) \cdot a^2}{(a^2 + b^2) \cdot (a^2 + h^2)} - \frac{b}{4 \cdot h} \cdot \ln \frac{(a^2 + b^2 + h^2) \cdot b^2}{(a^2 + b^2) \cdot (b^2 + h^2)} \\ & \left. + \frac{h}{4 \cdot b} \cdot \ln \frac{(a^2 + b^2 + h^2) \cdot h^2}{(a^2 + h^2) \cdot (b^2 + h^2)} \right] \end{aligned}$$

$$a = 4$$

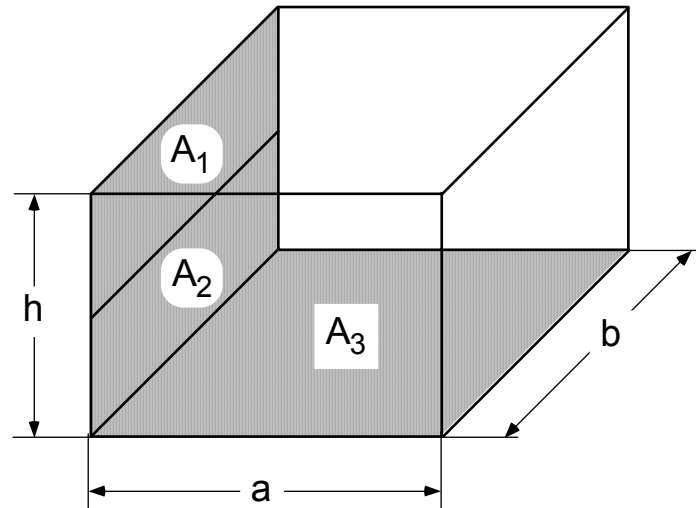
$$\text{z.B.: } b = 2 \Rightarrow \varphi_{1 \rightarrow 2} = 0,233$$

$$h = 2$$

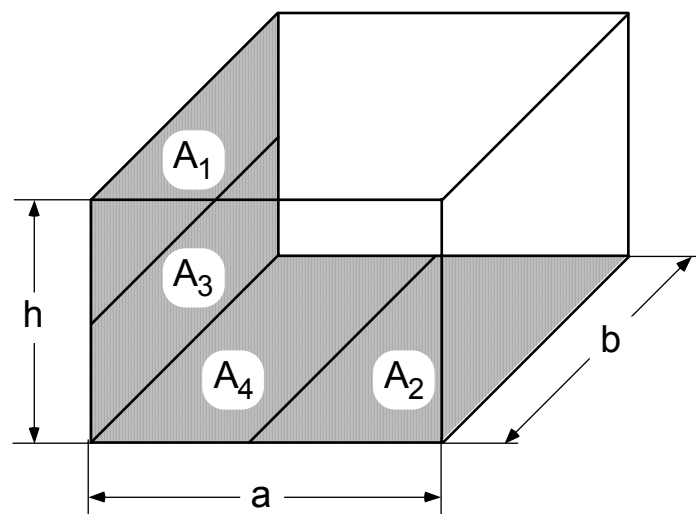
allgemeine Gleichungen

$$\varphi_{1 \rightarrow 2} \cdot A_1 = \varphi_{2 \rightarrow 1} \cdot A_2 \quad \text{z.B.} \quad \varphi_{2 \rightarrow 1} = \varphi_{1 \rightarrow 2} \cdot \frac{A_1}{A_2} = 0,233 \cdot \frac{h \cdot b}{a \cdot b} = 0,177$$

$$\sum_j \varphi_{1 \rightarrow j} = \varphi_{1 \rightarrow 2} + \varphi_{1 \rightarrow 3} + \varphi_{1 \rightarrow 4} + \dots + \varphi_{1 \rightarrow j} = 1,0$$



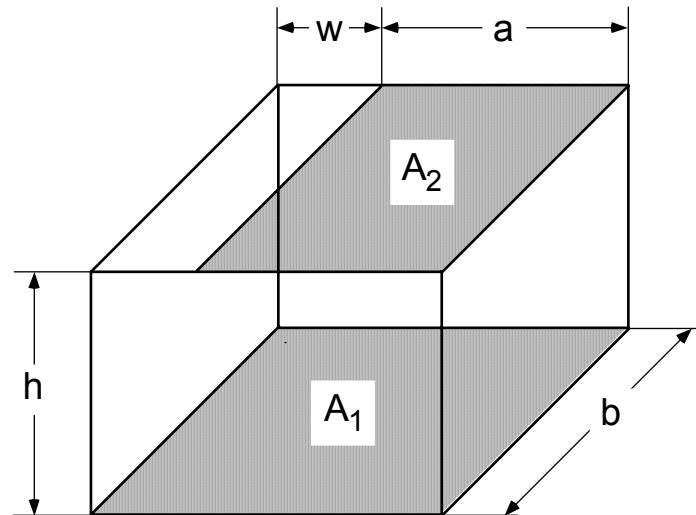
$$\varphi_{1 \rightarrow 3} = \frac{A_3}{A_1} \cdot \varphi_{3 \rightarrow 1,2} - \varphi_{3 \rightarrow 2}$$



$$\varphi_{1 \rightarrow 2} = \frac{A_2 + A_4}{A_1} \cdot (\varphi_{2,4 \rightarrow 1,3} - \varphi_{2,4 \rightarrow 3}) - \frac{A_4}{A_1} \cdot (\varphi_{4 \rightarrow 1,3} - \varphi_{4 \rightarrow 3})$$

oder

$$\varphi_{1 \rightarrow 2} = \left(1 + \frac{A_3}{A_1}\right) \cdot (\varphi_{1,3 \rightarrow 2,4} - \varphi_{1,3 \rightarrow 4}) - \frac{A_3}{A_1} \cdot (\varphi_{3 \rightarrow 2,4} - \varphi_{3 \rightarrow 4})$$



$$\begin{aligned} \varphi_{1 \rightarrow 2} = & \frac{1}{(a+w) \cdot \pi} \left[\sqrt{(a+w)^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{b}{\sqrt{(a+w)^2 + h^2}} \right. \\ & + \sqrt{a^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{b}{\sqrt{a^2 + h^2}} - \sqrt{h^2 + w^2} \cdot \arctan \frac{b}{\sqrt{h^2 + w^2}} \\ & + \frac{a+w}{b} \cdot \sqrt{b^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{a+w}{\sqrt{b^2 + h^2}} + \frac{a}{b} \cdot \sqrt{b^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{b}{\sqrt{b^2 + h^2}} \\ & - \frac{w}{b} \cdot \sqrt{b^2 + h^2} \cdot \arctan \frac{w}{\sqrt{b^2 + h^2}} - \frac{a+w}{b} \cdot h \cdot \arctan \frac{a+w}{h} \\ & - \frac{a}{b} \cdot h \cdot \arctan \frac{a}{h} + \frac{w}{b} \cdot h \cdot \arctan \frac{w}{h} - h \cdot \arctan \frac{b}{h} \\ & \left. - \frac{h^2}{2 \cdot b} \cdot \ln \left[\frac{[(a+w)^2 + b^2 + h^2] \cdot (a^2 + b^2 + h^2) \cdot (h^2 + w^2) \cdot h^2}{(b^2 + h^2 + w^2) \cdot [(a+w)^2 + h^2] \cdot (a^2 + h^2) \cdot (b^2 + h^2)} \right] \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & a = 6 \\ & b = 6 \\ & h = 3 \\ & w = 4,5 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \varphi_{1 \rightarrow 2} = 0,29$$

Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung α_S

$$q_{1 \rightarrow 2} = \underbrace{\frac{\varphi_{1 \rightarrow 2} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot C_S \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_2}}_{\alpha_S} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

$$q_{1 \rightarrow 2} = q_S = \alpha_S \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad \text{Strahlung}$$

$$q_K = \alpha_K \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad \text{Konvektion}$$

$$q_{\text{ges}} = q_S + q_K = (\alpha_S + \alpha_K) \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) = \alpha_{\text{ges}} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

Im Hochbau treten α_S -Werte zwischen 0,1 und 10 W/(m² K) und α_{ges} -Werte zwischen 12 und 30 W/(m² K) außen bzw. 4 und 10 W/(m² K) innen auf.

2 Stationärer Wärmedurchgang durch Bauteile

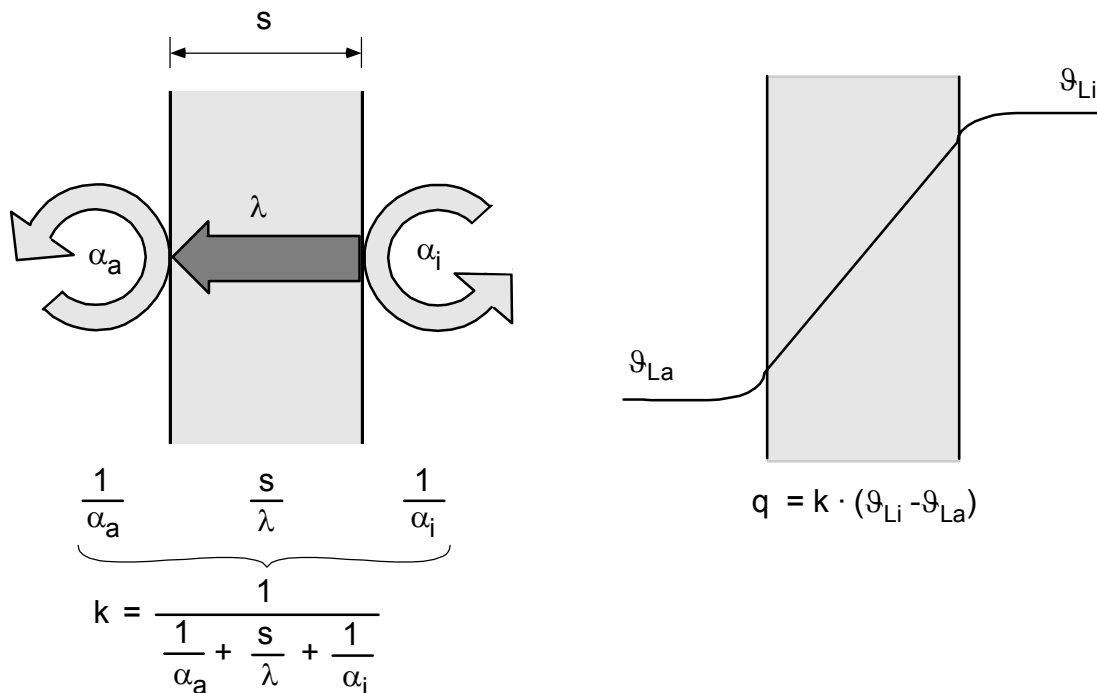


Bild 2.1: Wärmedurchgangskoeffizient (k -Wert).

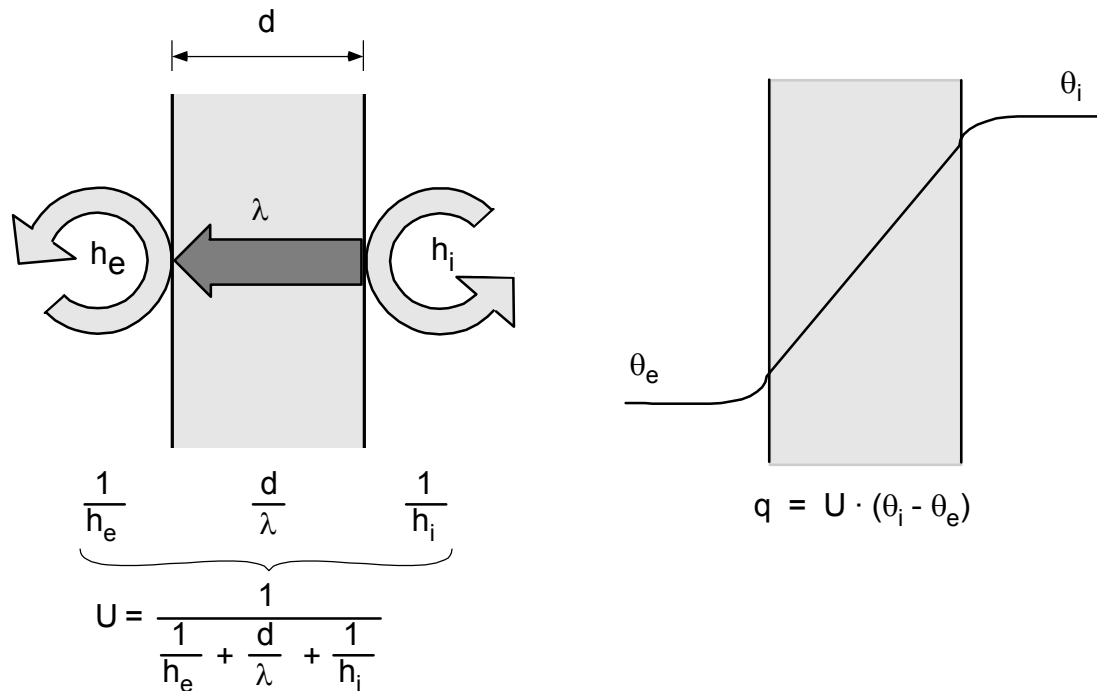


Bild 2.1a: Wie Bild auf der Vorseite mit neuen Bezeichnungen.

Bei mehrschichtigen Konstruktionen:

Mit den alten Bezeichnungen:

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$k = 1 / [1/\alpha_i + 1/\Lambda + 1/\alpha_a] \quad [W/(m^2 K)]$$

Wärmedurchlaßwiderstand

$$1/\Lambda = s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + \dots \quad [(m^2 K)/W]$$

Mit den neuen Bezeichnungen folgt:

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / [R_{se} + \sum R_i + R_{si}] \quad [W/(m^2 K)]$$

Wärmeübergangswiderstand:

$$\text{außen:} \quad R_{se} = 1 / h_e \quad [(m^2 K)/W]$$

$$\text{innen:} \quad R_{si} = 1 / h_i \quad [(m^2 K)/W]$$

Wärmedurchlaßwiderstand:

$$\sum R_i = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots \quad [(m^2 K)/W]$$

Der Wärmedurchlaßwiderstand einer stehenden Luftschicht hängt ab von:

- der Lage der Luftschicht,
- der Dicke der Luftschicht und
- den Emissionskoeffizienten für langwellige Strahlung der beiden Oberflächen.

2.1 Rechnerische Ermittlung der Temperaturverteilung in Bauteilen

2.1.1 Stationär, eindimensional

$$q = \lambda \cdot \left(-\frac{d\vartheta}{dx} \right) = -\lambda \cdot \frac{d\vartheta}{dx}$$

$$q = \text{const.} \quad \rightarrow \quad \frac{dq}{dx} = 0 \quad \frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{d\vartheta}{dx} \right) = 0 \quad \frac{d^2\vartheta}{dx^2} = 0$$

$$\vartheta = c_1 \cdot x + c_2$$

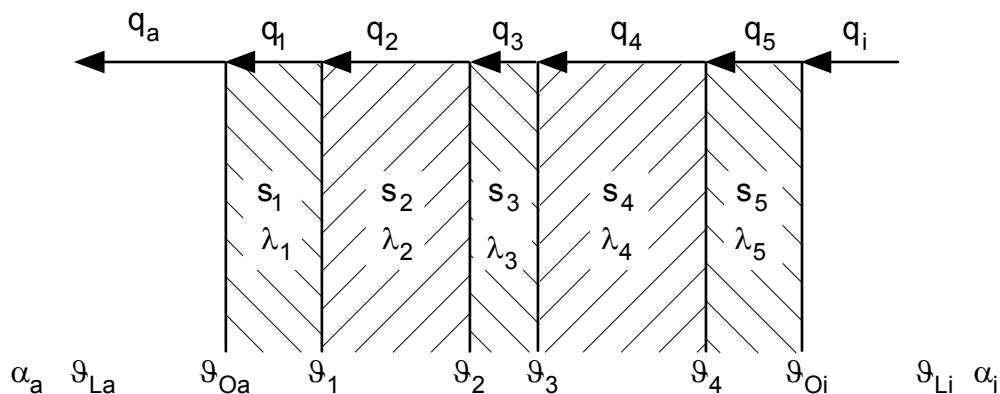


Bild 2.2: Stationärer, eindimensionaler Wärmetransport durch ein mehrschichtiges Bauteil.

$$q_a = q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5 = q_i = q$$

$$\begin{aligned} q_a &= \alpha_a (\vartheta_{Oa} - \vartheta_{La}) & q_1 &= \lambda_1/s_1 (\vartheta_1 - \vartheta_{Oa}) & q_2 &= \lambda_2/s_2 (\vartheta_2 - \vartheta_1) \\ q_3 &= \lambda_3/s_3 (\vartheta_3 - \vartheta_2) & q_4 &= \lambda_4/s_4 (\vartheta_4 - \vartheta_3) & q_5 &= \lambda_5/s_5 (\vartheta_{Oi} - \vartheta_4) \\ q_i &= \alpha_i (\vartheta_{Li} - \vartheta_{Oi}) & q &= k (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}) \end{aligned}$$

2.1.2 Stationär, dreidimensional

$$\text{Vektor } \vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}\vartheta \quad (\text{Fourierscher Ansatz})$$

$$\rightarrow \quad \frac{\partial^2\vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\vartheta}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{Laplace-Operator } \Delta\vartheta = 0)$$

2.2 Grafische Ermittlung der stationären Temperaturverteilung

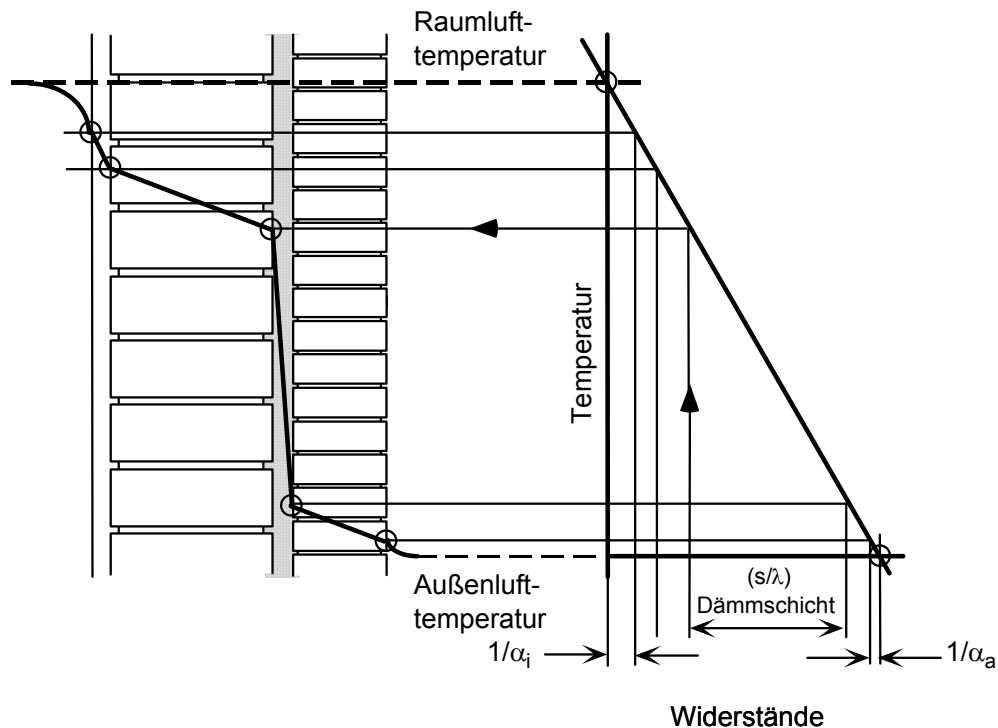


Bild 2.3: Grafische Ermittlung der stationären Temperaturverteilung.

2.3 Wärmebrücken

Wärmebrücken bewirken einerseits zusätzliche Wärmeverluste und andererseits tiefe raumseitige Oberflächentemperaturen. Dementsprechend sind zur Kennzeichnung der Wirkung von Wärmebrücken auch zwei unterschiedliche, voneinander unabhängige Kenngrößen erforderlich.

2.3.1 Kennzeichnung zusätzlicher Wärmeverluste

Die infolge von Wärmebrücken zusätzlich auftretenden Transmissionswärmeverluste können gekennzeichnet werden durch Verwendung von Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ , welche die Wärmebrückenverluste bei linienförmigen Wärmebrücken pro laufendem Meter und bei punktförmigen Wärmebrücken je Wärmebrücke χ , bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz, angeben. Die Einheit ist $W/(m \text{ K})$ bzw. W/K .

Die Transmissionswärmeverluste Φ_T berechnen sich somit für z.B. den Bereich einer Geschoßdeckeneinbindung in eine Außenwand gemäß den Gleichungen in Bild 2.4.

Die Ψ -Werte können nur mittels leistungsfähiger Computerprogramme berechnet werden und z.B. aus dem Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau bzw. dem Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau (jeweils: Hauser, G. und Stiegel, H.; Bauverlag Wiesbaden, 1990 bzw. 1992) für zahlreiche Fälle entnommen werden.

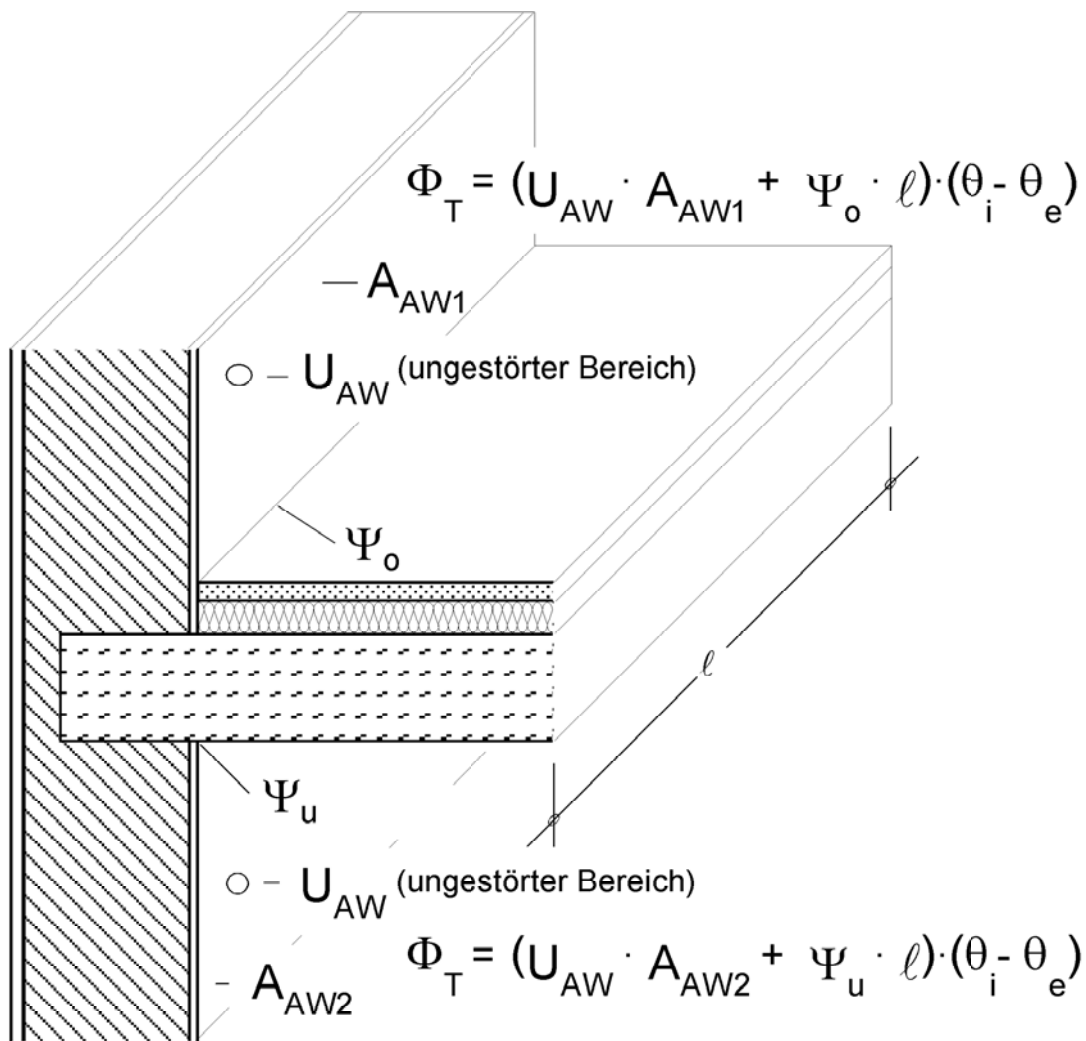


Bild 2.4: Darstellung der Definition der Ψ -Werte

Als Bezugsfläche dienen Innenmaße. Im einzelnen sind die in den Bildern 2.5 und 2.6 gekennzeichneten Flächen und Wärmedurchgangskoeffizienten heranzuziehen.

Eine Umrechnung der innenmaßbezogenen Ψ -Werte auf außenmaßbezogene Ψ -Werte ist leicht möglich, nicht jedoch umgekehrt.

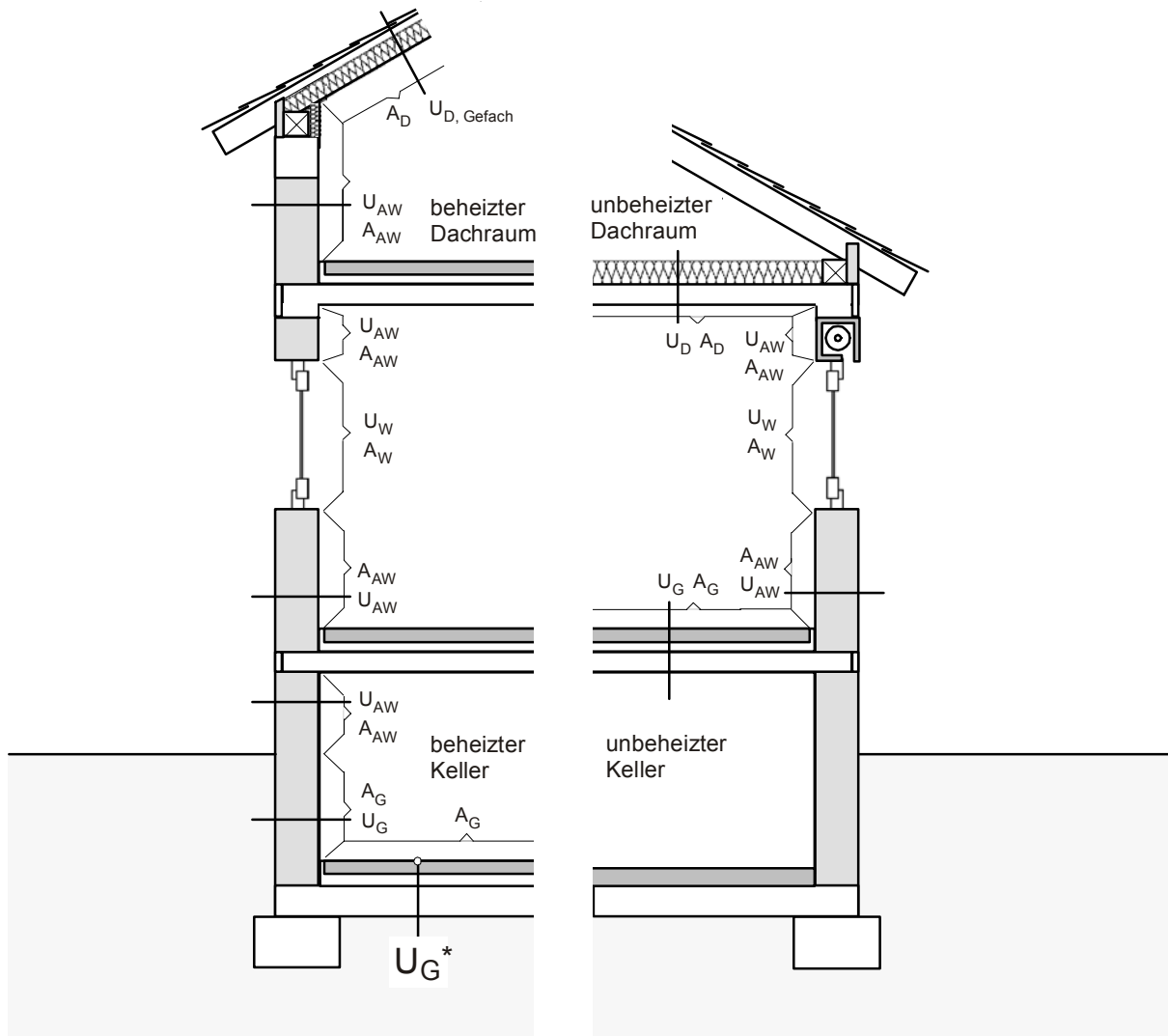


Bild 2.5: Kennzeichnung der Flächen A und Angabe der U -Werte, die den Ψ -Werten zugrunde liegen, im Vertikalschnitt eines Gebäudes. Die Indizes entsprechen DIN 4108.

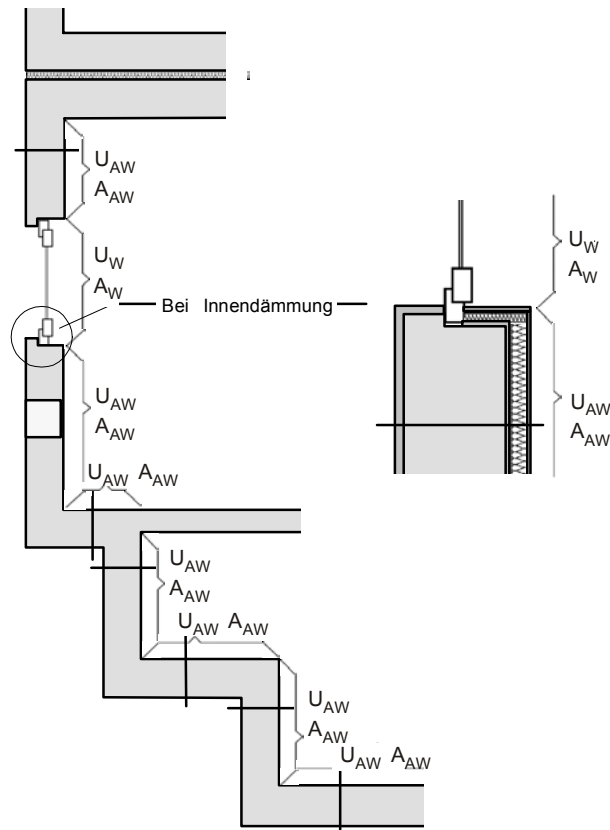


Bild 2.6: Kennzeichnung der Flächen und Angabe der U-Werte, die den Ψ -Werten zugrunde liegen, im Horizontalschnitt eines Gebäudes.

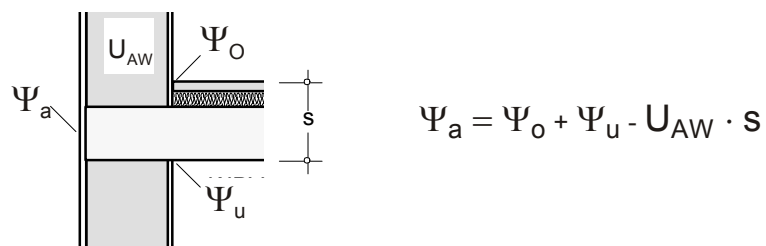


Bild 2.7: Umrechnungsgleichung für eine Deckeneinbindung.

Bild 2.7 gibt als Beispiel die Umrechnungsgleichung für die Geschoßdeckeneinbindung wieder. Derartige Umrechnungsgleichungen lassen sich leicht aus untenstehenden Bilanzen ableiten.

$$\begin{array}{l} \text{Wärmestrom durch die innere} \\ \text{Oberfläche} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Wärmestrom durch die äußere} \\ \text{Oberfläche} \end{array}$$

Die Festlegung der Bezugsfläche bei der Definition der Ψ -Werte legt somit keinesfalls die Bezugsfläche für z.B. Jahres-Heizwärmebedarfsberechnungen fest, ist aber wegen des höheren Informationsgehalts sinnvoll.

Bei Anschlußdetails mit zwei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen wie z.B.

Innenluft/Außenluft und Innenluft/Dachraum

oder

Innenluft/Außenluft und Innenluft/unbeheizter Keller

ist der Ψ -Wert auf die Temperaturdifferenz Innenluft/Außenluft bezogen.

2.3.2 Raumseitige Oberflächentemperaturen

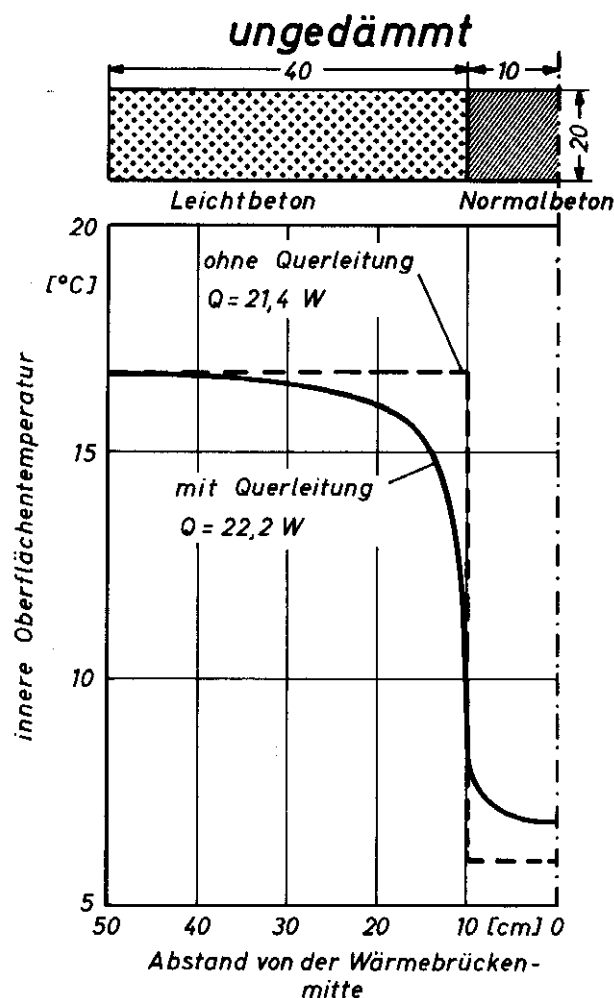


Bild 2.8: Temperaturverlauf entlang der innerseitigen Oberfläche der oben im Querschnitt gezeichneten Wärmebrücke. Die Wärmeverluste Q ergeben sich für die gekennzeichnete Konstruktion bei einer Höhe von 1 m. (unter Verwendung der **neuen** Symbole)

Zugrunde gelegte Daten und Randbedingungen:

Normalbeton:	$\lambda = 2,0 \text{ W/(m K)}$	$C = 2400 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$
Leichtbeton:	$\lambda = 0,2 \text{ W/(m K)}$	$C = 500 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$
$h_i = 8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$	$\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$U_{\text{Stütze}} = 3,72 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
$h_e = 23 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$	$\theta_e = -10 \text{ }^\circ\text{C}$	$U_{\text{Wand}} = 0,86 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

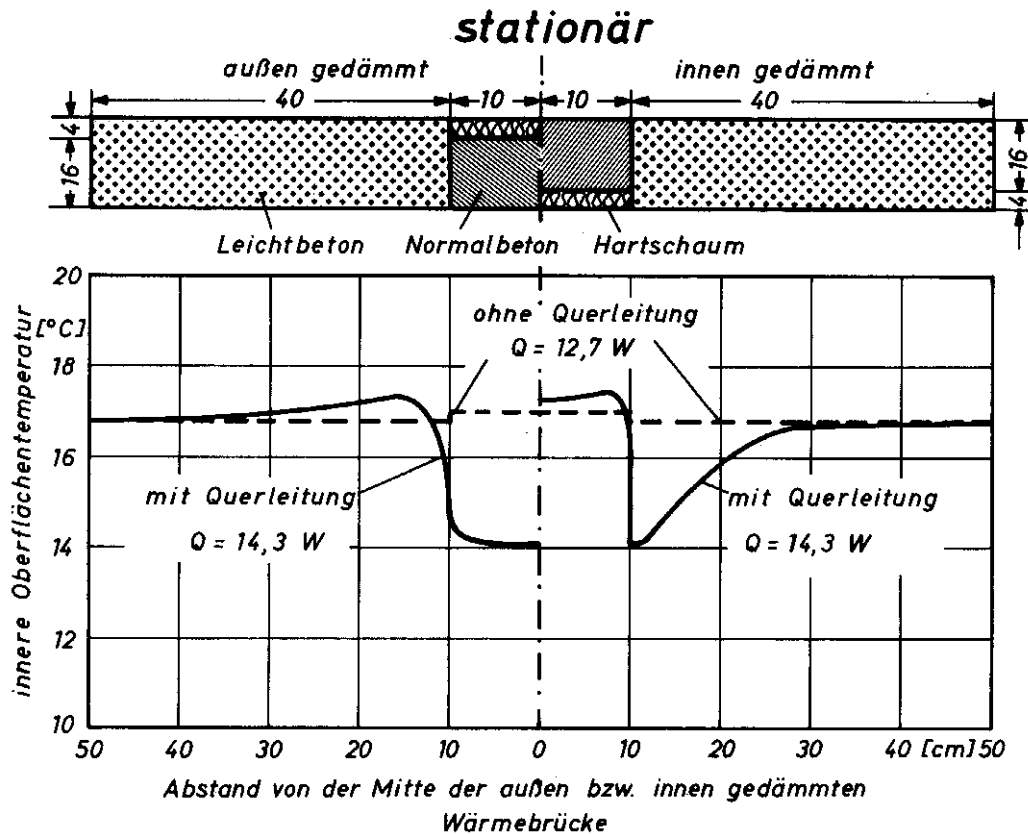


Bild 2.9: Temperaturverlauf entlang der innerseitigen Oberfläche der beiden oben im Querschnitt gezeichneten Wärmebrücken. Die Wärmeverluste Q ergeben sich für beide gekennzeichneten Konstruktionen jeweils bei einer Höhe von 1 m.

Zugrunde gelegte Daten und Randbedingungen: siehe Bild 2.8.

Hartschaum: $\lambda = 0,04 \text{ W/(m K)}$ $C = 60 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$ $U_{\text{Stütze}} = 0,80 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
 $U_{\text{Wand}} = 0,86 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

2.3.3 Kennzeichnung raumseitiger Oberflächentemperaturen

Die raumseitigen Oberflächentemperaturen von Außenbauteilen werden mit Hilfe eines Temperaturfaktors f gemäß folgender Definition beschrieben:

$$f = \frac{\theta_{\text{si}} - \theta_{\text{e}}}{\theta_{\text{i}} - \theta_{\text{e}}}$$

mit θ_{si} raumseitige Oberflächentemperatur in °C

θ_{i} Raumlufthtemperatur in °C

θ_{e} Außenlufttemperatur in °C

$f = 1$ entspricht der Raumlufthtemperatur und

$f = 0$ der Außenlufttemperatur

Eine eventuelle Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperatur in °C kann gem. folgender Gleichung erfolgen:

$$\theta_{\text{si}} = f \cdot (\theta_{\text{i}} - \theta_{\text{e}}) + \theta_{\text{e}}$$

Ein f-Wert von 0,64 entspricht somit bei einer Raumlufthtemperatur von 20 °C und einer Außenlufttemperatur von - 10 °C einer Oberflächentemperatur von

$$\theta_{si} = 0,64 \cdot (20 + 10) - 10 = 9,2^{\circ}\text{C}$$

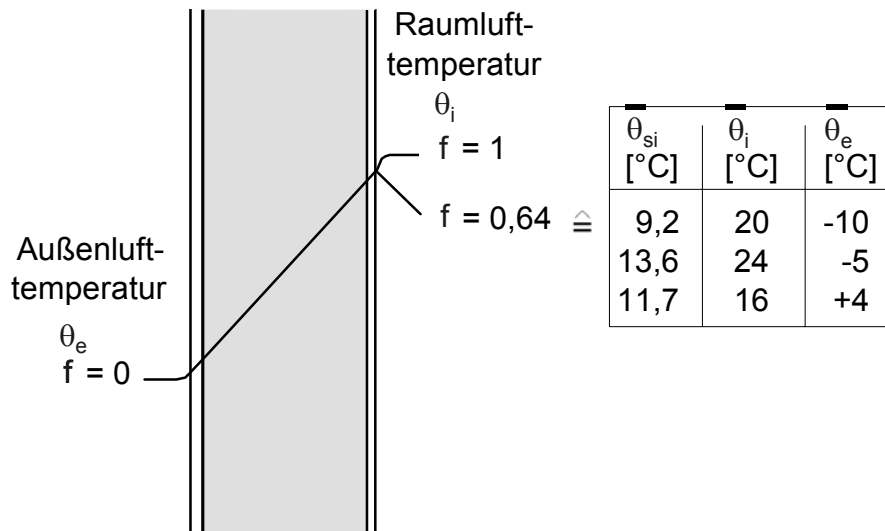


Bild 2.10: Erläuterung der f-Werte

2.3.4 Anwendungsbeispiel

An Hand eines Gebäudeausschnittes sollen die Wärmebrückenwirkungen auf die Transmissionswärmeverluste und die Oberflächentemperaturen beispielhaft dargestellt werden.

Liegen die in Bild 2.11 wiedergegebenen Anschlußdetails vor, stellen sich die in Bild 2.12 eingetragenen linienförmigen sowie punktförmigen Ψ - und χ -Werte ein.

Wie die in Tabelle 2.1 dargestellten Berechnungen der temperaturspezifischen Transmissionswärmeverluste zeigen, machen die punktuellen Wärmebrückenverluste bei dem betrachteten Raum -0,02 % der gesamten spezifischen Transmissionswärmeverluste aus.

Das Minuszeichen resultiert daraus, daß in dreidimensionalen Ecken die Ψ -Werte der 3 dort zusammentreffenden Kanten gemäß Definition bis in die Ecken angesetzt werden, wodurch eine gewisse Überbewertung der Wärmebrückenwirkung des dreidimensionalen Gebildes entsteht, welche durch negative punktuelle χ -Werte korrigiert wird.

Wegen dieses geringen Einflusses auf die Gesamttransmissionswärmeverluste und angesichts des großen Aufwandes für die Ermittlung dieser Werte sowie insbesondere für die übersichtliche Darstellung der jeweiligen Konstruktionen erscheint ihre Vernachlässigung sinnvoll.

Die dargestellten raumseitigen Oberflächentemperaturen verdeutlichen, daß beim Zusammentreffen mehrerer linienförmiger Wärmebrücken meist die absolut tiefsten Werte auftreten. Während die Auswirkungen der räumlichen Ecken auf die Transmissionswärmeverluste allgemein vernachlässigbar erscheinen, ist hinsichtlich der raumseitigen Oberflächentemperaturen keine allgemeingültige Aussage möglich. In vielen Fällen werden hier die absolut tiefsten Temperaturen auftreten. Bei der Beurteilung der einzelnen Ausführungsvarianten empfiehlt sich deshalb, diesem Umstand Rechnung zu tragen.

Tabelle 2.1: Berechnung der spezifischen Transmissionswärmeverluste.

Rechengang		W/K	%
Eindimensionale Betrachtung	$\sum_i (U_i \cdot A_i)$ $0,30 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} \cdot 5,77 \text{ m}^2 + 2,6 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} \cdot 3,28 \text{ m}^2$	10,26	89,9
Linienförmige Wärmebrücken	$\sum_i (\Psi_i \cdot \ell_i)$ $+ 0,070 \text{ W/(m K)} \cdot 3,62 \text{ m} + 0,162 \text{ W/(m K)} \cdot 3,62 \text{ m}$ $+ 2 \cdot 0,026 \text{ W/(m K)} \cdot 2,5 \text{ m} + 0,034 \text{ W/(m K)} \cdot 2,42 \text{ m}$ $+ 0,027 \text{ W/(m K)} \cdot 2,42 \text{ m} + 2 \cdot 0,016 \text{ W/(m K)} \cdot 1,355 \text{ m}$	1,16	10,2
Punktförmige Wärmebrücken	$\sum_i (\chi_i)$ $+ 2 \cdot (0,009) \text{ W/K} + 2 \cdot (0,021) \text{ W/K}$ $+ 2 \cdot (-0,018) \text{ W/K} + 2 \cdot (-0,013) \text{ W/K}$	-0,002	-0,02
Summe		11,42	100,0

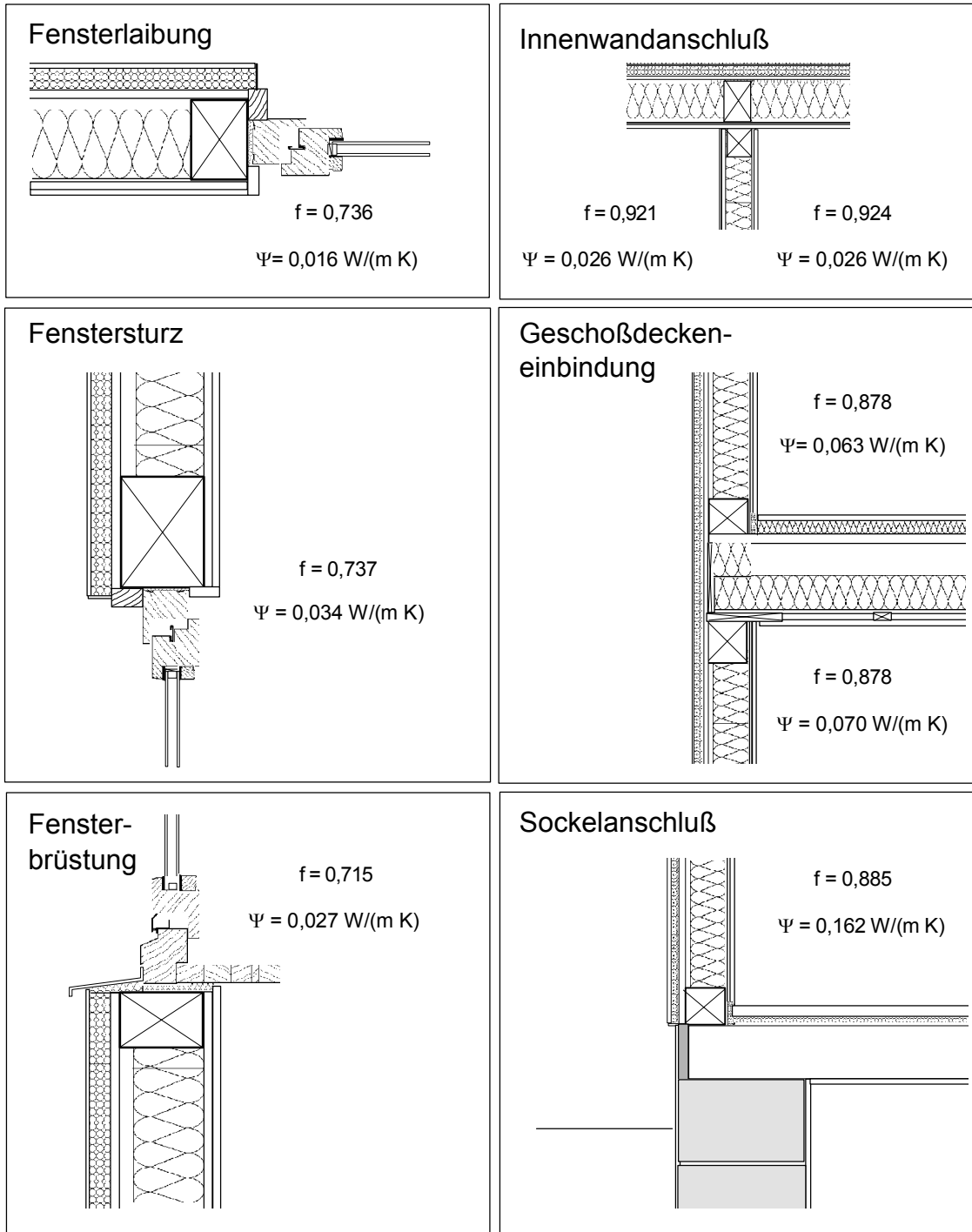


Bild 2.11: Darstellung der Anschlußdetails, welche dem Gebäudeschnitt in Bild 2.12 zugrunde liegen.

2.3.5 Sanierungsfall

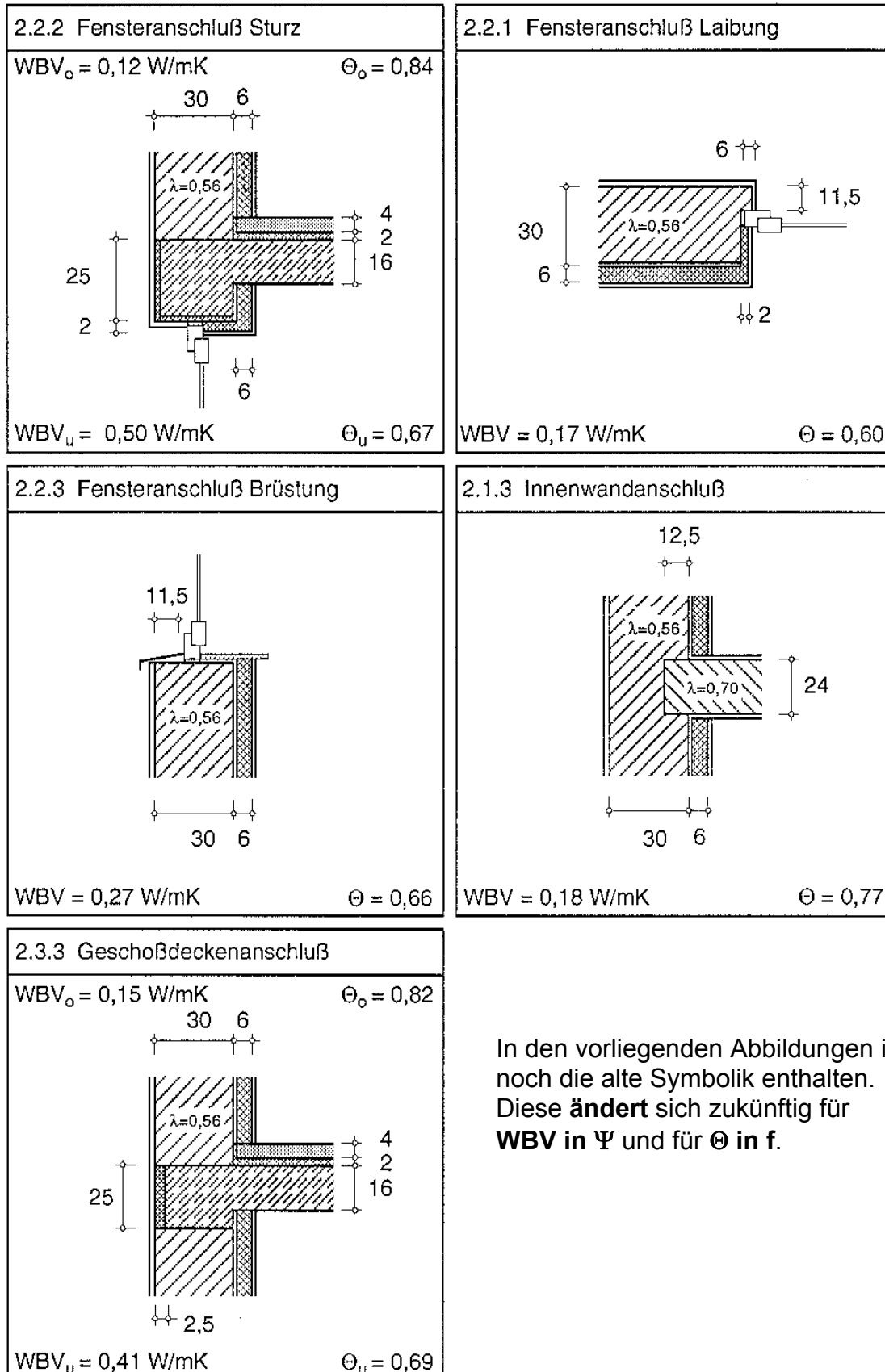
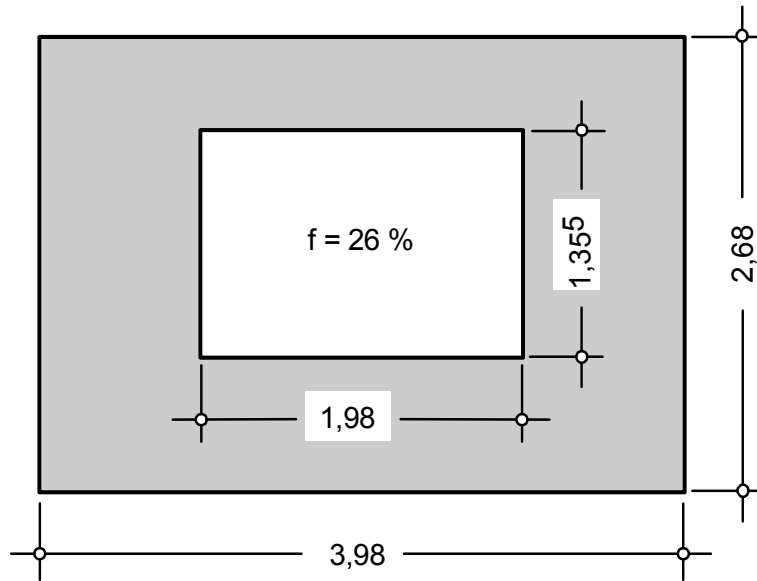


Bild 2.13: Außenwand mit Innendämmung.



$$\text{Ohne Wärmebrücken: } H_W = A_{AW} \cdot U_{AW} = 3,43 \frac{W}{K}$$

$$\text{Wärmebrücken: } H_{WB} = \sum \Psi \cdot l = 4,25 \frac{W}{K}$$

$$\text{Summe: } 7,68 \frac{W}{K}$$

$$\frac{\text{mit Wärmebrücken}}{\text{ohne Wärmebrücken}} = \frac{7,68}{3,43} = 2,24$$

Bild 2.14: Temperaturspezifischer Wärmeverlust H der Außenwand bei 6 cm Innendämmung.

2.3.6 Neubaudetails

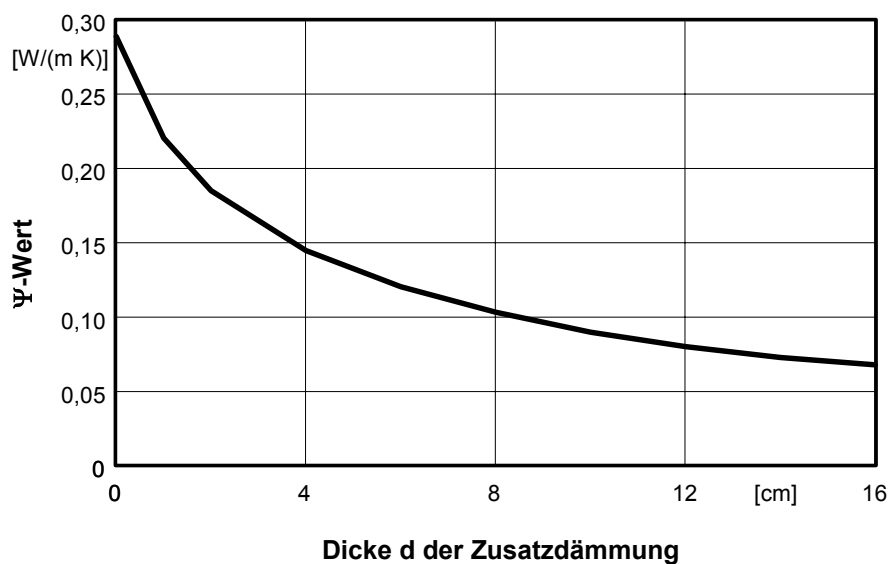
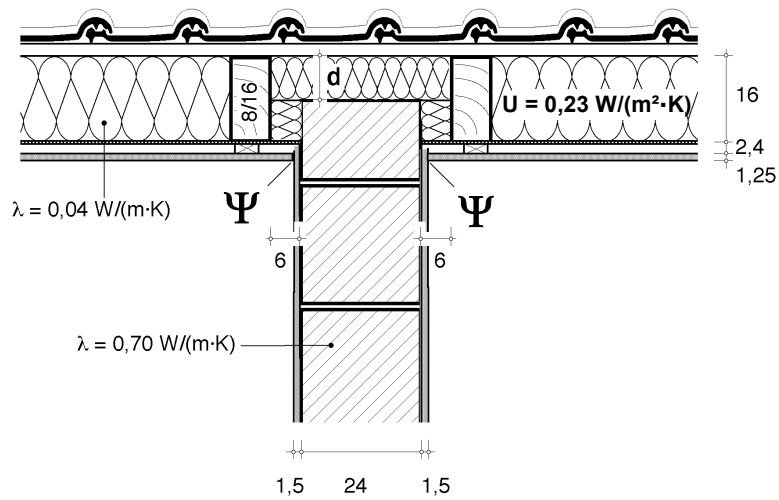


Bild 2.15: Wärmebrückeneinfluß einer Innenwandinbindung im Dachbereich.

Eindimensionaler Fall:

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) = h_i \cdot (\theta_i - \theta_{si})$$

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{1}{h_i} \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad / - \theta_e$$

$$\theta_{si} - \theta_e = \theta_i - \theta_e - \frac{1}{h_i} \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad / : (\theta_i - \theta_e)$$

$$\frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = f = 1 - \frac{1}{h_i} \cdot U$$

3 Instationäre Temperaturverteilung in Bauteilen

$$c \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = dq \quad c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{dq}{dx} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}$$

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}$$

allgemein: $c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \operatorname{div} (\lambda \cdot \operatorname{grad} \vartheta)$ (Vektorschreibweise)

$$\operatorname{div} \mathbf{q} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}$$

$$\operatorname{grad} T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad T = T(x, y, z)$$

Hinweis: Künftig werden Formelzeichen wie folgt bezeichnet: θ entspricht ϑ

3.1 Auskühlung

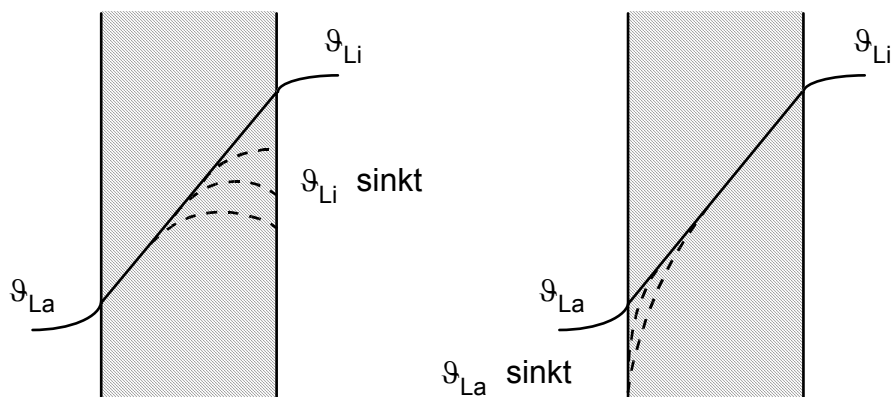


Bild 3.1: Schematische Darstellung des Auskühlverhaltens eines Bauteils.

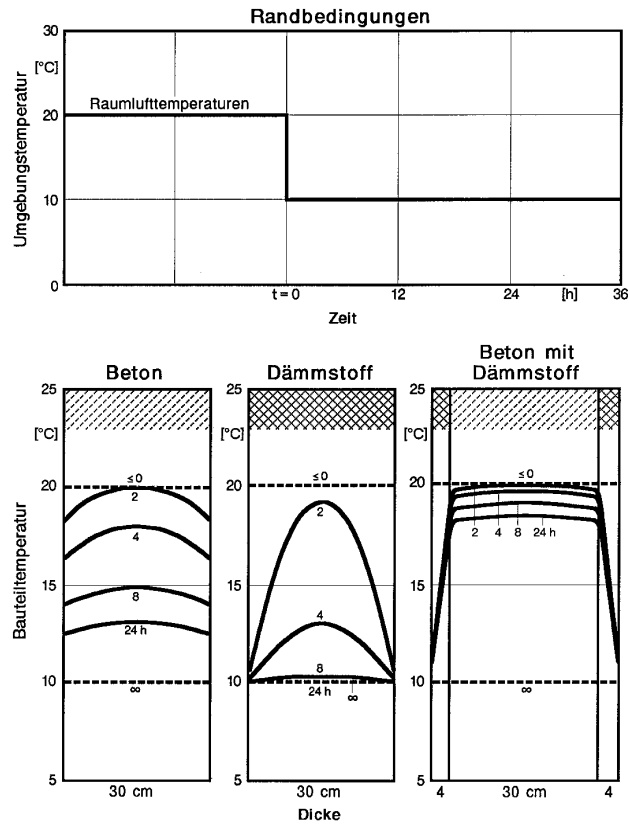


Bild 3.2: Auskühlverhalten einer Innenwand.

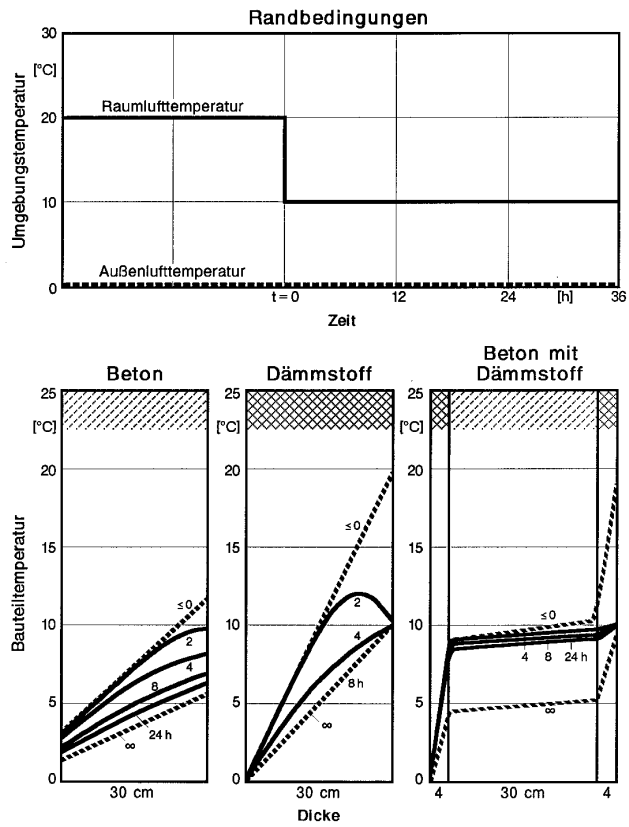


Bild 3.3: Auskühlverhalten einer Außenwand.

3.2 Aufheizvorgang

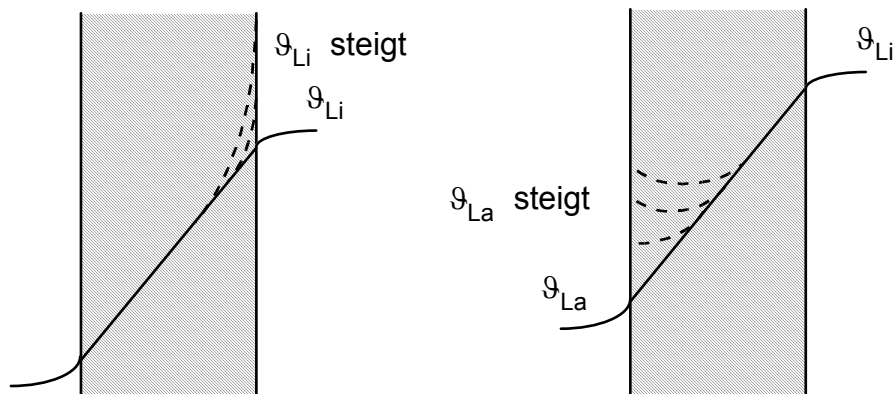


Bild 3.4: Schematische Darstellung des Aufheizverhaltens von Bauteilen.

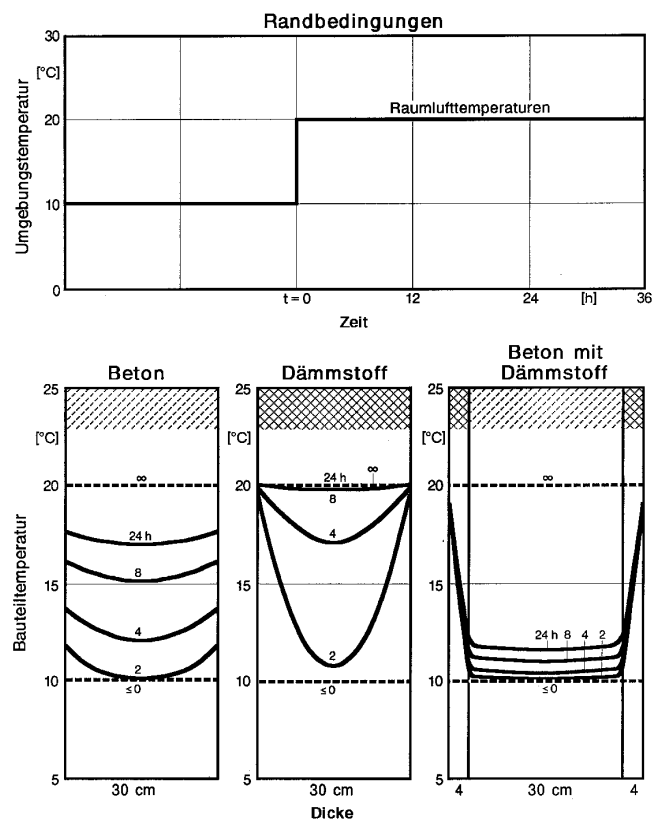


Bild 3.5: Aufheizverhalten einer Innenwand.

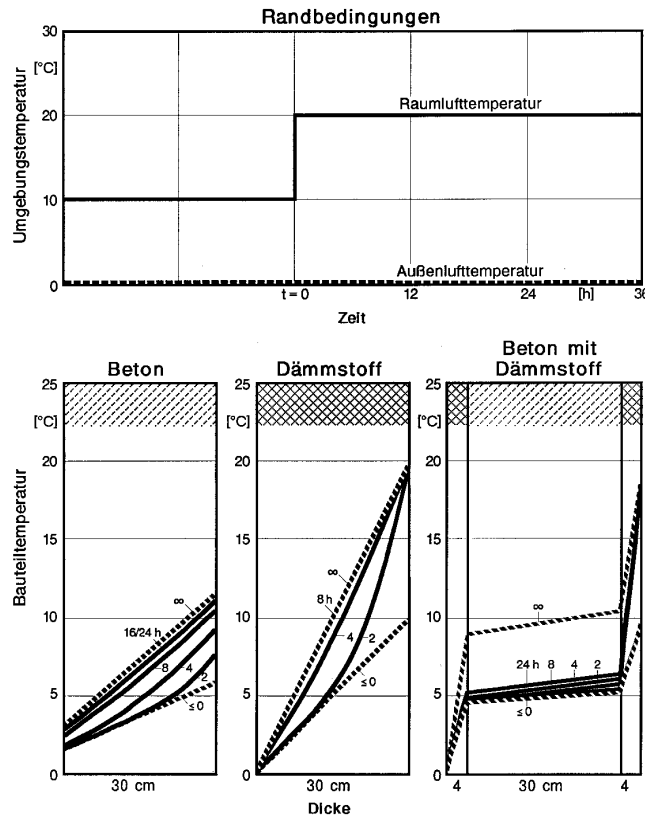


Bild 3.6: Aufheizverhalten einer Außenwand.

3.3 Periodische Änderungen

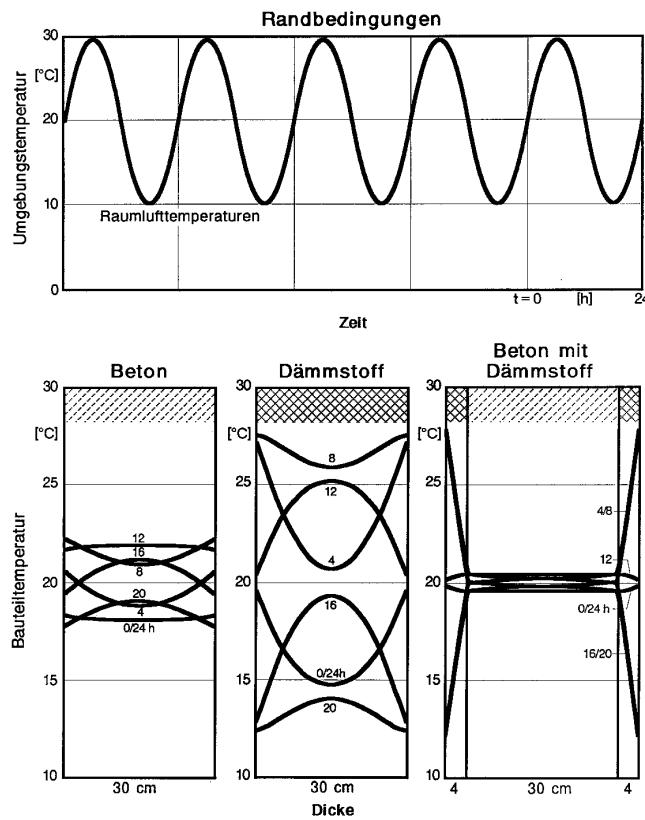


Bild 3.7: Aufheiz-/Auskühlverhalten einer Innenwand.

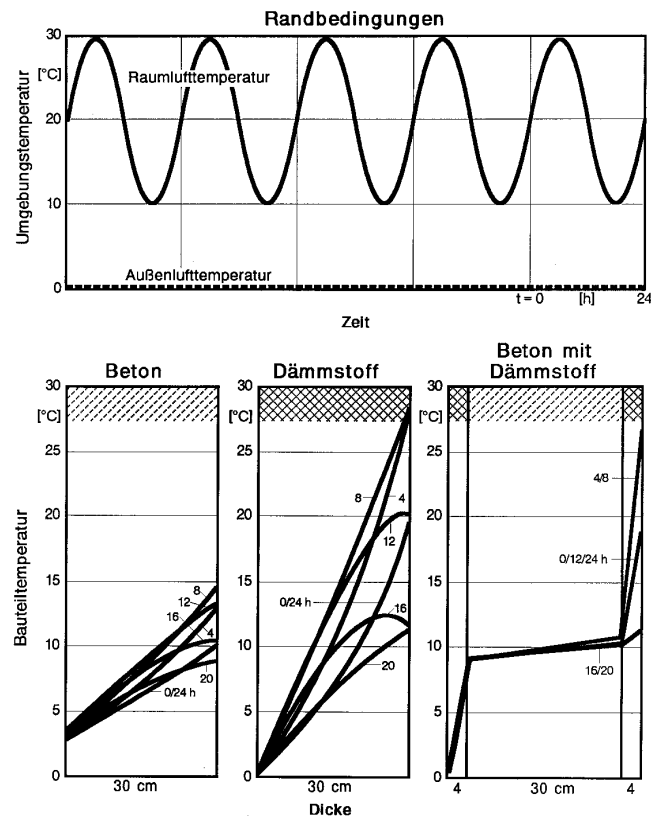


Bild 3.8: Aufheiz-/Ausköhlverhalten einer Außenwand.

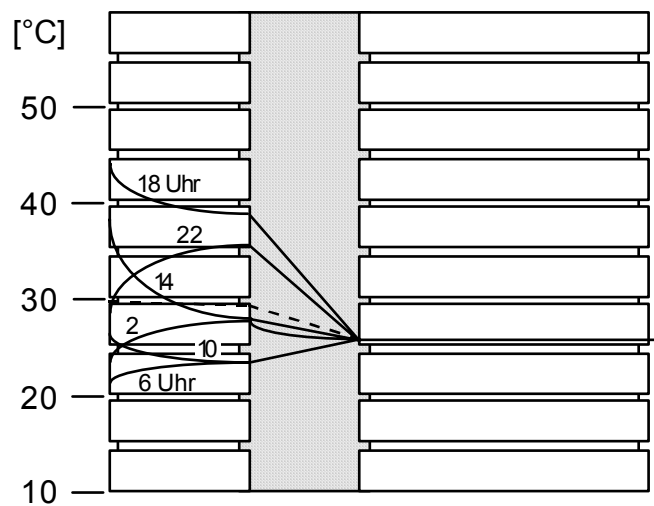


Bild 3.9: Temperaturverteilung während eines Hochsommertages.

4 Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit und des U-Wertes auf den Wärmeverlust

Der Wärmedurchgangskoeffizient wird hier mit k -Wert bezeichnet. Künftig wird das Formelzeichen U verwendet bzw. die Kurzform U -Wert.

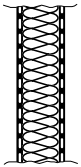
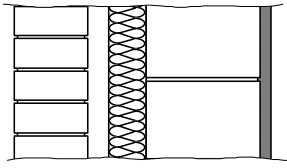
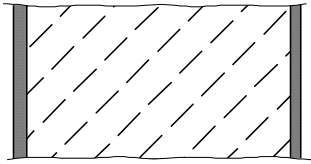
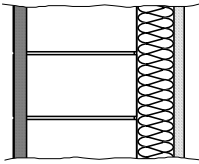
			k-Wert [W/(m ² K)]	Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	TAV [-]
I		0,1 cm Alu-Blech 6,0 cm Dämmschicht 0,1 cm Alu-Blech	0,53	21	0,80
II		11,5 cm Verblendschale 4,0 cm Luftschicht 5,5 cm Dämmschicht 17,5 cm Mauerwerk 1,5 cm Innenputz	0,53	510	0,02
III		2,0 cm Außenputz 40,0 cm Leichtbeton 1,5 cm Innenputz	0,53	298	0,03
IV		2,0 cm Außenputz 17,5 cm Mauerwerk 5,7 cm Dämmschicht 1,0 cm Gipskartonplatte	0,53	327	0,26

Bild 4.1: Verschiedene Außenwandkonstruktionen mit gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten und unterschiedlichen flächenbezogenen Massen und Temperatur- Amplitudenverhältnissen.

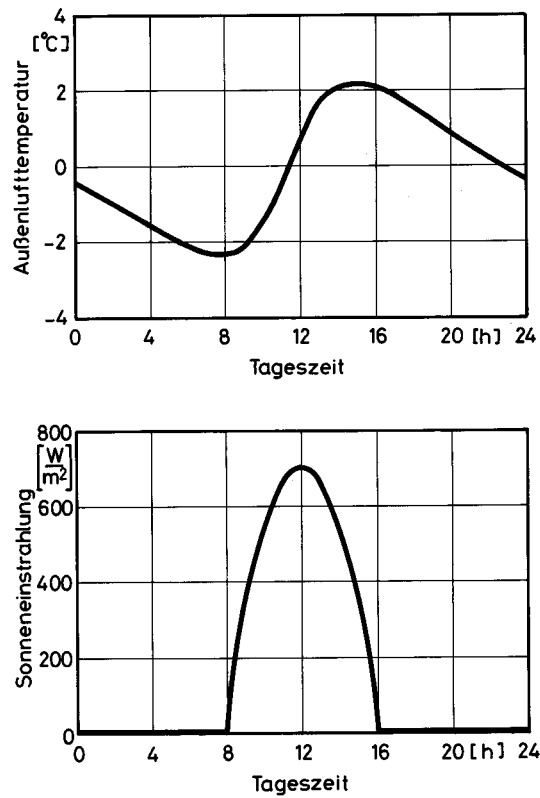


Bild 4.2: Tagesgang der Außenlufttemperatur und Strahlungsintensität an einem Wintertag.

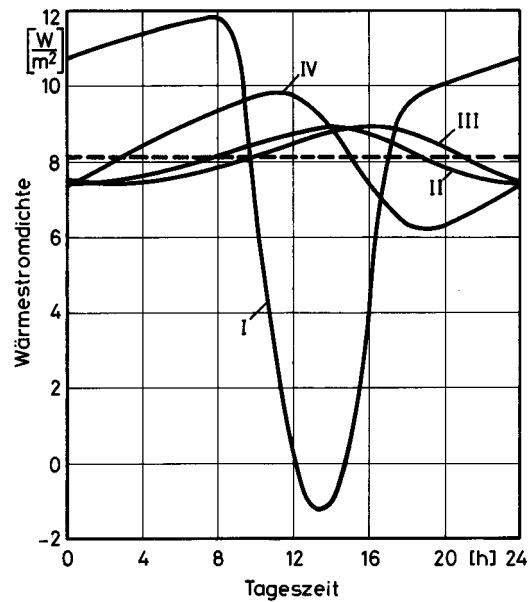


Bild 4.3: Verlauf der Wärmestromdichte über der Zeit für die verschiedenen Außenwandkonstruktionen aus Bild 4.1

5 Wirkung der Sonneneinstrahlung

5.1 Verglasungen

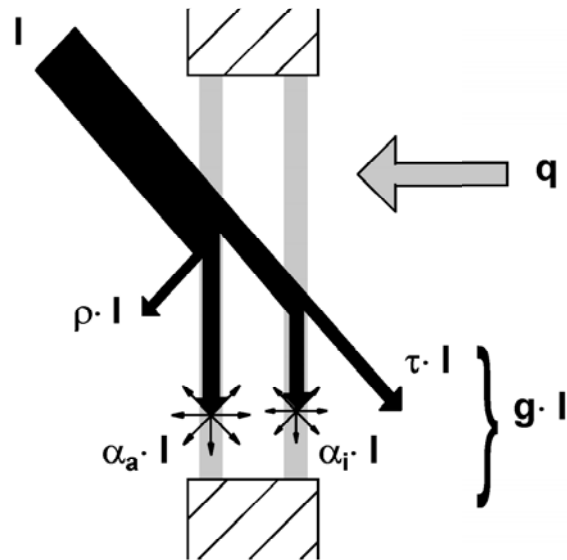


Bild 5.1: Schematische Darstellung der Strahlungsreflexion, -absorption und -transmission an einer Doppelverglasung.

5.2 Wände und Decken

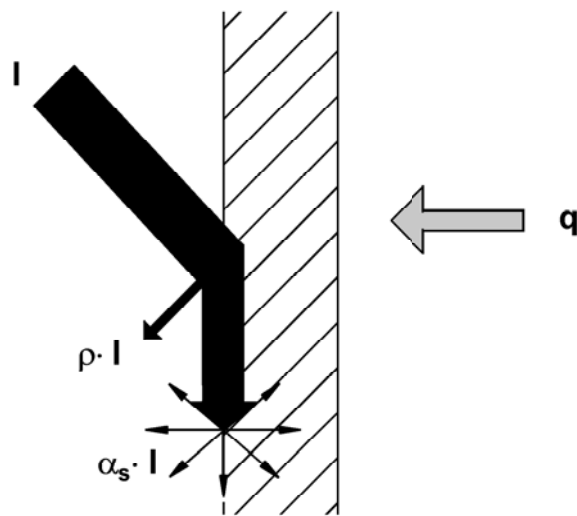


Bild 5.2: Schematische Darstellung der Strahlungsreflexion und -absorption an einer Außenwand.

5.3 Äquivalente k-Werte

Der Wärmedurchgangskoeffizient wird nachfolgend mit k-Wert bezeichnet. Künftig wird das Formelzeichen U verwendet bzw. die Kurzform U-Wert. Zu den anderen neuen Formelzeichen und Indizes siehe Nomenklatur!

5.3.1 Fenster

$$q = k \cdot (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}) - g \cdot I = k_{eq} \cdot (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La})$$

$$k_{eq} = k - g \cdot \frac{I}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}}$$

$$k_{eq} = k_F - g \cdot \frac{I \cdot (1-r) \cdot N}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}} \quad r \text{ [-] Rahmenanteil}$$

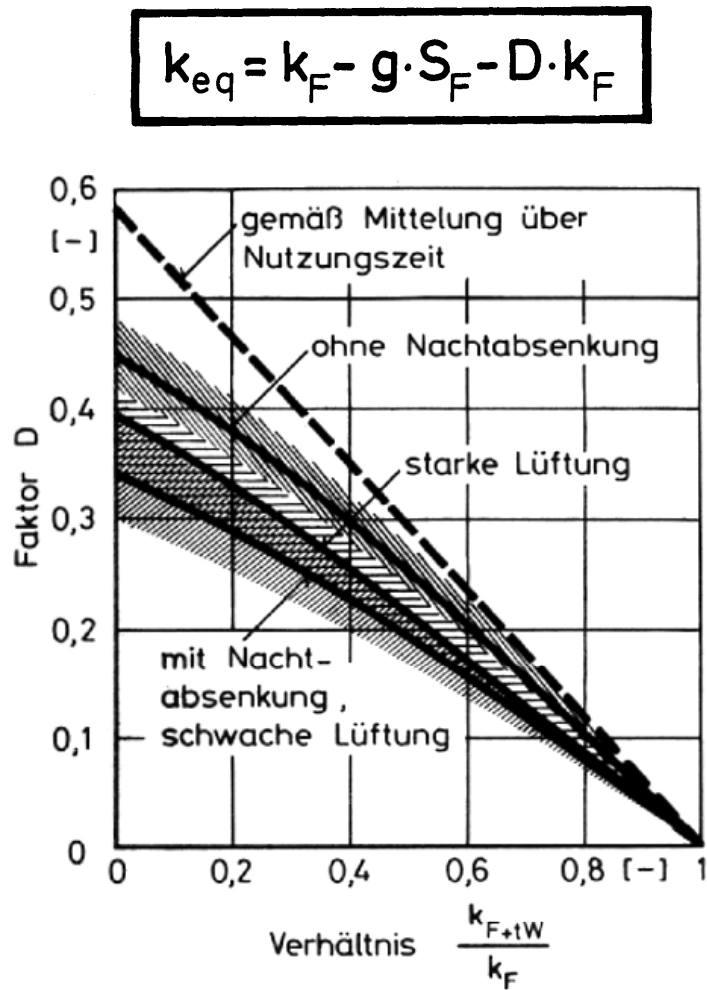
N [-] Strahlungsnutzungsfaktor

$$k_{eq} = k_F - g \cdot S_F$$

$$k_{eq,F} = k_F - g \cdot S_F$$

Strahlungsgewinnkoeffizient gemäß Wärmeschutzverordnung 1995:

Nord	$S_F=0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ost / West	$S_F=1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Süd	$S_F=2,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Beispiel:

Klarglas – Isolierverglasung: $k_F = 2,6 \text{ W / m}^2\text{K}$; $g = 0,75$

Temporärer Wärmeschutz : $k_{F+tW} = 0,5 \text{ W / m}^2\text{K}$

$$\frac{k_{F+tW}}{k_F} = \frac{0,5}{2,6} = 0,19 \quad D = 0,29 \text{ (mit Nachtabsenkung)}$$

Norden	$k_{eq} = 2,6 - 0,75 \cdot 0,95 - 0,29 \cdot 2,6 = 1,1$
Osten	$k_{eq} = \quad \cdot 1,65 \quad = 0,6$
Süden	$k_{eq} = \quad \cdot 2,4 \quad = 0,05$
Westen	$k_{eq} = \quad \cdot 1,65 \quad = 0,6$

Bild 5.3: Berücksichtigung der Wirkung eines temporären Wärmeschutzes (z.B. Rolladen) über den Deckelfaktor D .

5.3.2 Wände und Decken

$$q = k \cdot \left(\vartheta_{Li} - \vartheta_{La} - \frac{\alpha_s \cdot l}{\alpha_a} \right) = k_{eq} \cdot (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La})$$

$$k_{eq} = k \cdot \left(1 - \frac{\alpha_s \cdot l}{\alpha_a \cdot (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La})} \right)$$

$$k_{eq} = k \cdot S_w$$

S_w Strahlungsgewinnfaktor [-]

α Strahlungsabsorptionskoeffizient (auch mit a bezeichnet) [-]

Tabelle 5.1: Strahlungsabsorptionskoeffizient für Wände und Decken mit unterschiedlichen Orientierungen.

Orientierung	S_w -Werte
	Traditionelle Wand $\alpha_s=0,7$
Nord	0,96
Ost	0,95
Süd	0,92
West	0,95

6 Kennzeichnung der Außenlufttemperatur

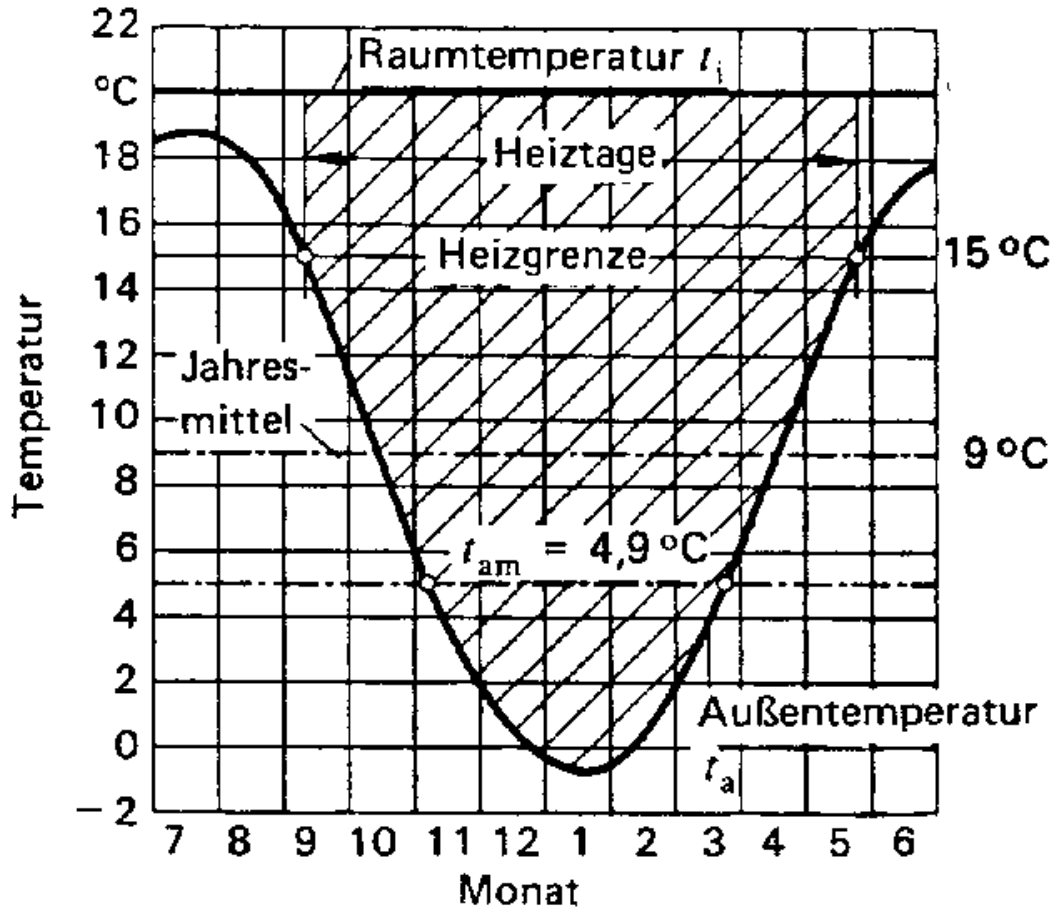


Bild 6.1: Darstellung der Heizperiode für Berlin-Dahlem

Gradtagzahl Gt [Kh/a]

$$Gt = \sum_1^z (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La,m}) \cdot 1h$$

z Zahl der Heiztage

$$\begin{aligned} \text{Mittelwert } Gt &= 84000 \text{ Kh/a} \\ &= 3500 \text{ Kd/a} \\ &= 84 \text{ kKh/a} \end{aligned}$$

7 Überschlägige Energiebedarfsberechnung infolge Transmission

Wärmebedarf

$$Q = A \cdot k_{\text{eq}} \cdot Gt$$

Energiebedarf

$$E = \frac{Q}{\eta} = e \cdot Q$$

Brennstoffbedarf

$$B = \frac{Q}{\eta \cdot H_u \cdot \rho_B}$$

η [-] Jahresnutzungsgrad des Heizsystems

H_u [kWh/kg] unterer Heizwert des Brennstoffes, Heizöl : 11,4 kWh/kg

ρ_B [kg/l] Rohdichte, Heizöl : 0,85 kg/l

mittlere Werte

$$B = \frac{A \cdot 84 \cdot k_{\text{eq}}}{0,85 \cdot 11,4 \cdot 0,85} \approx 10 \cdot A \cdot k_{\text{eq}}$$

8 Wärmeausdehnung

Körper dehnen sich im allgemeinen bei Erwärmung aus. Ein Stab verlängert sich bei Erwärmung um $\Delta\vartheta$ von der Länge l_0 um den Betrag Δl auf l .

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta\vartheta)$$

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta\vartheta$$

α : Längenausdehnungskoeffizient [K^{-1}]

Stahl oder Beton $\alpha = 0,000\ 012\ K^{-1}$

Kupfer $\alpha = 0,000\ 016\ K^{-1}$

Quecksilber $\alpha = 0,000\ 18\ K^{-1}$

Glas $\alpha = 0,000\ 012$ bis $0,000\ 000\ 5\ K^{-1}$

ε_t : Thermische Längenänderung

$$\varepsilon_t = \Delta l / l_0 = \alpha \Delta\vartheta$$

Das Volumen eines Körpers vergrößert sich analog:

$$V = V_0 (1 + 3 \alpha \Delta\vartheta)$$

Beispiel: Stahlbetondecke ($L = 20\ m$; $B = 10\ m$; $s = 0,2\ m$)

bei $5^\circ C$ verlegt dehnt sie sich bei Erwärmung auf $35^\circ C$ folgendermaßen

aus: $\Delta L = 20 \cdot 0,000\ 012 \cdot 30 = 0,007\ 2\ m = 7,2\ mm$

$$\Delta B = 10 \cdot 0,000\ 012 \cdot 30 = 0,003\ 6\ m = 3,6\ mm$$

$$\Delta s = 0,2 \cdot 0,000\ 012 \cdot 30 = 0,000\ 0721\ m = 0,072\ mm$$

folgt: $V = (20 + 0,007\ 2) \cdot (10 + 0,003\ 6) \cdot (0,2 + 0,000\ 072) = 40,043\ m^3$

oder

$$V = 20 \cdot 10 \cdot 0,2 (1 + 3 \cdot 0,000\ 012 \cdot 30) = 40 \cdot 1,001\ 1 = 40,043\ m^3$$

Hieraus können Zwangsspannungen oder Eigenspannungen resultieren.

9 Wärmeschutztechnische Vorschriften

Die wärmetechnischen Vorschriften im Hochbau wurden in den letzten Jahren wegen der ständig wachsender Bedeutung des Wärmeschutzes immer umfangreicher und schärfer. Sie lassen sich unterteilen in einen

- Mindestwärmeschutz,

der in DIN 4104 „Wärmeschutz und Energie-Einsparungen in Gebäuden“ behandelt wird, und in einen

- energiesparenden Wärmeschutz,

der in der Energie-Einsparverordnung festgelegt ist.

9.1 DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparungen in Gebäuden“

9.1.1 Wärmedurchlaßwiderstand nichttransparenter Bauteile

Nichttransparente Außenbauteile von Aufenthaltsräumen mit üblicher Innentemperatur ($\geq 19^\circ\text{C}$) und einer flächenbezogenen Gesamtmasse von mindestens 100 kg/m^2 müssen die in Tab 9.1 aufgeführten Mindestwärmedurchlaßwiderstände R einhalten.

Für Außenwände, Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Dächern mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von unter 100 kg/m^2 gelten erhöhte Anforderungen mit einem Mindestwert des Wärmedurchlaßwiderstandes $R \geq 1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Bei Rahmen- und Skelettbauarten gelten sie nur für den Gefachbereich. In diesen Fällen ist für das gesamte Bauteil zusätzlich im Mittel $R = 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ einzuhalten. Gleiches gilt für Rollladenkästen. Für den Deckel von Rollladenkästen ist der Wert von $R = 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ einzuhalten.

Die Rahmen nichttransparenter Ausfachungen dürfen höchstens einen Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmenmaterialgruppe 2.1 nach DIN V 4108-4 aufweisen.

Der nichttransparente Teil der Ausfachungen von Fensterwänden und Fenstertüren, die mehr als 50% der gesamten Ausfachungsfläche betragen, muß mindestens die Anforderungen nach Tabelle 9.1 erfüllen. Bei Flächenanteilen von weniger 50% muß der Wärmedurchlaßwiderstand $R \geq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ sein.

Für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen ($12^\circ\text{C} \leq \theta_i < 19^\circ\text{C}$) gelten die Werte nach Tabelle 9.1. Hiervon ausgenommen ist der Wärmedurchlaßwiderstand von Bauteilen nach Tabelle 9.1 Zeile 1. $R = 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ist der Mindestwert für den Wärmedurchlaßwiderstand. Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach sollten sinngemäß angewendet werden.

Tabelle 9.1 - Mindestwerte für Wärmedurchlaßwiderstände von Bauteilen [DIN 4108-2, Tabelle 3].

Spalte	1	2	
Zeile	Bauteile	Wärmedurchlaßwiderstand, R $m^2 \cdot K/W$	
1	Außenwände; Wände von Aufenthaltsräumen gegen Bodenräume, Durchfahrten, offene Hausflure, Garagen, Erdreich	1,2	
2	Wände zwischen fremdgenutzten Räumen; Wohntrennwände	0,07	
3	Treppenraumwände	zu Treppenräumen mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen (z.B. indirekt beheizte Treppenräume); Innentemperatur $\theta \leq 10^\circ C$, aber Treppenraum mindestens frostfrei	0,25
4		zu Treppenräumen mit Innentemperatur $\theta_i > 10^\circ C$ (z.B. Verwaltungsgebäude, Geschäftshäuser, Unterrichtsgebäude, Hotels, Gaststätten und Wohngebäude)	0,07
5	Wohnungstrenndecken, Decke zwischen fremden Arbeitsräumen; Decken unter Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen.	allgemein	0,35
6		in zentralbeheizten Büroräumen	0,17
7	Unter Abschluß nicht unterkellertes Aufenthaltsräume	unmittelbar an das Erdreich bis zur Raumtiefe von 5 m	0,90
8		übereinen nicht belüfteten Hohlraum an das Erdreich grenzend	
9	Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen; Decken unter bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen; Decken unter belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen, wärmegeprägten Dachschrägen		
10	Kellerdecken; Decken gegen abgeschlossenen, unbeheizte Hausflure u.ä.		
11	11.1	nach unten, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller ^a	1,75
	11.2	nach oben, z.B. Dächer nach DIN 18530, Decken unter Terrassen; Umkehrdächer nach 5.3.3 Für Umkehrdächer ist der besondere Wärmedurchgangskoeffizient U nach DIN EN ISO 6946 mit den Korrekturwerten nach Tabelle 4 um ΔU zu berechnen	1,2

^a Erhöhter Wärmedurchlaßwiderstand wegen Fußkälte.

9.1.2. Randbedingungen für die Berechnung

9.1.2.1. Wände

Der Mindestwärmeschutz muß an jeder Stelle vorhanden sein. Hierzu gehören u. a. auch Nischen unter Fenstern, Brüstungen von Fensterbauteilen, Fensterstürze, Wandbereich auf der Außenseite von Heizkörpern und Rohrkanälen, insbesondere für ausnahmsweise in Außenwänden angeordnete wasserführende Leitungen.

9.1.2.2. Außenschalen bei Bauteilen mit Luftschicht

Für die Berechnung von Wand- und Deckenkonstruktionen mit ruhenden oder belüfteten Luftschichten gilt:

9.1.2.2.1. Ruhende Luftschicht

Eine Luftschicht gilt als ruhend, wenn der Luftraum von der Umgebung abgeschlossen ist. In Tabelle 9.2 sind Bemessungswerte des Wärmedurchlaßwiderstandes angegeben. Die Werte unter „horizontal“ gelten für Richtungen des Wärmestromes von $\pm 30^\circ$ zur horizontalen Ebene.

Tabelle 9.2 - Wärmedurchlaßwiderstand in $m^2 \cdot K/W$, von ruhenden Luftschichten – Oberflächen mit hohem Emissionsgrad [DIN EN ISO 6946 Tabelle 2].

Dicke der Luftschicht mm	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

ANMERKUNG: Zwischenwerte können mittels linearer Interpolation ermittelt werden.

Eine Luftschicht mit kleinen Öffnungen zur Außenumgebung, die keine Dämmschicht zwischen sich und der Außenumgebung besitzen, ist auch als ruhende Luftschicht zu betrachten, wenn diese Öffnungen so angeordnet sind, daß ein Luftstrom durch die Schicht nicht möglich ist und die Öffnung

- 500 mm^2 je m Länge für vertikale Luftschichten;
- 500 mm^2 je m^2 Oberfläche für horizontale Luftschichten.¹⁾

nicht überschreiten.

¹⁾ Für vertikale Luftschichten wird der Bereich als Öffnungsfläche je m Länge ausgedrückt. Für horizontale Luftschichten wird er als Fläche der Öffnungen je m^2 Fläche ausgedrückt.

ANMERKUNG: Entwässerungsöffnungen (Drainageöffnungen) in Form von offenen vertikalen Fugen in der Außenschale eines zweischaligen Mauerwerks werden nicht als Lüftungsöffnungen angesehen.

9.1.2.2.2. Schwach belüftete Luftschicht gem. DIN EN ISO 6946

Schwach belüftet ist eine Luftschicht, wenn der Luftaustausch mit der Außenumgebung durch Öffnungen folgender Maße begrenzt wird:

- über 500 mm^2 bis 1500 mm^2 je m Länge für vertikale Luftschichten;
- über 500 mm^2 bis 1500 mm^2 je m^2 Oberfläche für horizontale Luftschichten.¹⁾

Der Bemessungswert des Wärmedurchlaßwiderstandes einer schwach belüfteten Luftschicht beträgt die Hälfte des entsprechenden Wertes nach Tabelle 9.2. Wenn der Wärmedurchlaßwiderstand der Schicht zwischen Luftschicht und Außenumgebung $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ überschreitet, muß mit einem Höchstwert von $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ gerechnet werden.

9.1.2.2.3. Stark belüftete Luftschicht gem. DIN EN ISO 6946

Eine Luftschicht gilt als stark belüftet, wenn die Öffnungen zwischen Luftschichten und Außenumgebung :

- 1500 mm^2 je m Länge für vertikale Luftschichten,
- 1500 mm^2 je m^2 Oberfläche für horizontale Luftschichten ¹⁾

überschreiten.

Der Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteiles mit einer stark belüfteten Luftschicht ist zu bestimmen, indem der Wärmedurchlaßwiderstand der Luftschicht und aller anderen Schichten zwischen Luftschicht und Außenumgebung vernachlässigt wird und ein äußerer Wärmeübergangswiderstand verwendet wird, der dem bei ruhender Luft entspricht (d.h. gleich dem inneren Wärmeübergangswiderstand desselben Bauteiles ist).

¹⁾ Für vertikale Luftschichten wird der Bereich als Öffnungsfläche je m Länge ausgedrückt. Für horizontale Luftschichten wird er als Fläche der Öffnungen je m^2 Fläche ausgedrückt.

9.1.2.3. Unbeheizte Räume

Wenn die äußere Umfassungsfläche eines unbeheizten Raumes nicht gedämmt ist, können folgende vereinfachte Verfahren, die den unbeheizten Raum wie einen Wärmedurchlaßwiderstand behandeln, angewendet werden.

9.1.2.3.1. Dachräume

Für eine Dachkonstruktion mit ebener gedämmter Decke und einem Schrägdach kann der Dachraum so betrachtet werden, als wäre er eine wärmetechnisch homogene Schicht mit einem Wärmedurchlaßwiderstand nach Tabelle 9.3

Tabelle 9.3 - Wärmedurchlaßwiderstand. [DIN EN ISO 6946 Tabelle3].

Beschreibung des Daches		R_U $m^2 \cdot K/W$
1	Ziegeldach ohne Pappe, Schalung oder ähnlichem	0,06
2	Plattendach oder Ziegeldach mit Pappe oder Schalung oder ähnlichem unter den Ziegeln	0,2
3	Wie 2, jedoch mit Aluminiumverkleidung oder einer anderen Oberfläche mit geringem Emissionsgrad an der Dachunterseite	0,3
4	Dach mit Schalung und Pappe	0,3

ANMERKUNG: Die Werte in Tabelle 9.3. enthalten den Wärmedurchlaßwiderstand des belüfteten Raums und der (Schräg)- Dachkonstruktion. Sie enthalten nicht den äußeren Wärmeübergangswiderstand (R_{se}).

9.1.2.3.2. Andere Räume

Wenn das Gebäude einen kleinen, mit ihm verbundenen ungeheizten Raum besitzt, kann der Wärmedurchgangskoeffizient bestimmt werden, indem der unbeheizte Raum zusammen mit seinen Außenbauteilen so behandelt wird, als wäre er eine zusätzliche homogene Schicht mit einem Wärmedurchlaßwiderstand R_U , der sich ergibt nach:

$$R_U = 0,09 + 0,4 \frac{A_i}{A_e} \quad (1)$$

unter der Bedingung , daß $R_U \leq 0,5 m^2 \cdot K/W$.

Dabei ist:

- A_i Gesamtfläche aller Bauteile zwischen Innenraum und unbeheiztem Raum;
- A_e Gesamtfläche aller Bauteile zwischen unbeheiztem Raum und Außenumgebung.

ANMERKUNG 1: Kleine unbeheizte Räume sind z.B. Garagen, Lagerräume und Wintergärten.

ANMERKUNG 2: Befinden sich zwischen Innen- und unbeheiztem Raum mehr als ein Bauteil, sollte R_U in die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten jedes derartigen Bauteiles einbezogen werden.

9.1.2.4. Bauteile mit Abdichtung

Bei der Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes R werden nur die raumseitigen Schichten bis zur Bauwerksabdichtung bzw. der Dachabdichtung berücksichtigt.

Ausgenommen sind die Dämmsysteme folgender Konstruktionen:

- aus extrudergeschäumtem Polystyrolschaumstoff nach DIN 18164-1 und DIN V 4108-4, die mit einer Kiesschicht oder mit einem Betonplattenbelag (z.B. Gehwegplatten) in Kiesbettung oder auf Abstandhaltern abgedeckt sind. Bei der Berechnung eines Wärmedurchgangskoeffizienten eines Umkehrdaches ist der errechnete Wärmedurchgangskoeffizient U um einen Betrag ΔU in Abhängigkeit des prozentualen Anteils des Wärmedurchlaßwiderstandes unterhalb der Abdichtung am Gesamtwärmedurchlaßwiderstand nach Tabelle 9.4 zu erhöhen. Bei leichter Unterkonstruktion mit einer flächenbezogenen Masse unter 250 kg/m^2 muß der Wärmedurchlaßwiderstand unterhalb der Abdichtung mindestens $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ betragen.
- Wärmedämmsysteme als Perimeterdämmung (außen liegender Wärmedämmung erdberührender Gebäudeflächen außer unter Gebäudegründungen), unter Anwendung von Dämmstoffplatten aus extrudergeschäumtem Polystyrolschaumstoff und Schaumglas wenn die Perimeterdämmung nicht ständig im Grundwasser liegt. Langanhaltendes Stauwasser oder drückendes Wasser ist im Bereich der Dämmschicht zu vermeiden.

Tabelle 9.4 - Zuschlagswerte für Umkehrdächer [DIN 4108-2 Tabelle 4].

Anteil des Wärmedurchlaßwiderstandes raumseitig der Abdichtung am Gesamtwärmedurchlaßwiderstand %	Zuschlagswert ΔU $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
unter 10	0,05
von 10 bis 50	0,03
über 50	0

9.1.3. Wärmeübergangswiderstände

Für ebenen Oberflächen gelten die in Tabelle 9.5 angegebenen Werte, wenn keine besonderen Angaben über Randbedingungen vorliegen. Die Werte unter „horizontal“ gelten für Richtungen des Wärmestromes von $\pm 30^\circ$ zur horizontalen Ebene.

Tabelle 9.5 - Wärmeübergangswiderstände, in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ [DIN 6946 Tabelle 1].

	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

ANMERKUNG: Tabelle 9.5 enthält Bemessungswerte. Für die Angabe des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen und anderen Fällen, in denen von der Richtung des Wärmestromes unabhängige Werte gefordert werden, wird empfohlen, die Werte für horizontalen Wärmestrom zu verwenden.

9.1.4. Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung

Der Temperaturfaktor muß an der ungünstigen Stelle $f_{R_{si}} \geq 0,70$ erfüllen, d.h., bei den unten angegebenen Randbedingungen ist eine raumseitige Oberflächentemperatur von $\theta_{si} \geq 12,5^\circ\text{C}$ einzuhalten. Fenster sind davon ausgenommen .

Es liegen folgende Randbedingungen zu Grunde:

- Innenlufttemperatur $\theta_i = 20^\circ\text{C}$
- relative Luftfeuchtigkeit innen $\phi_i = 50\%$
- auf der sicheren Seite liegende kritische zugrunde gelegte Luftfeuchte nach E DIN EN ISO 13788 für Schimmelpilzbildung auf der Baustoffoberfläche $\phi_{si} = 80\%$
- Außenlufttemperatur $\theta_e = -5^\circ\text{C}$
- Wärmeübergangswiderstand, innen
- $R_{si} = 0,25\text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ (beheizte Räume);
- $R_{si} = 0,17\text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ (unbeheizte Räume);
- Wärmeübergangswiderstand, außen $R_{se} = 0,04\text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$.

9.1.5. Anforderungen an die Luftdichtheit

Bei Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes, insbesondere auch bei durchgehenden Fugen zwischen Fertigteilen oder zwischen Ausfachungen und dem Tragwerk, ist dafür Sorge zu trage, daß diese Fugen nach dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig abgedichtet sind.

Werden Messungen der Luftdichtheit von Gebäuden oder Gebäudeteilen durchgeführt, so darf der gemessene Luftvolumenstrom bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage:
 - bezogen auf das Raumlufvolumen 3 h^{-1} nicht überschreiten oder
 - bezogen auf die Netto-Grundfläche $7,8\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ nicht überschreiten
- bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen (auch Abluftanlagen)
 - bezogen auf das Raumlufvolumen $1,5\text{ h}^{-1}$ nicht überschreiten oder
 - bezogen auf die Netto-Grundfläche $3,9\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ nicht überschreiten

Die volumenbezogene Anforderung gilt allgemein. Bei Gebäuden oder Gebäudeteilen, deren lichte Geschoßhöhe 2,6 m oder weniger beträgt, darf alternativ die nettogrundflächenbezogene Anforderungsgröße benutzt werden.

Die Einhaltung der Anforderungen an die Luftdichtheit schließt lokale Fehlstellen, die zu Feuchteschäden infolge von Konvektion führen können, nicht aus.

Insbesondere bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist eine deutliche Unterschreitung des oben angegebenen Grenzwertes sinnvoll.

Zur Beurteilung der Gebäudehülle kann zusätzlich der hüllenflächenbezogene Leckagestrom q_{50} herangezogen werden, der einen Wert von $3,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ nicht überschreiten darf.

9.1.6. Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz

Damit zu Wohn- und ähnlichen Zwecken dienende Gebäude im Sommer möglichst ohne Anlagentechnik zur Kühlung auskommen und zumutbare Temperaturen nur selten überschritten werden, darf der raumbezogenen Sonneneintragskennwert den Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten. Liegt der Grundflächen bezogene Fensterflächenanteil unter den in Tabelle 9.6 angegebenen Grenzen, so kann auf einen Nachweis verzichtet werden.

Tabelle 9.6 - Zulässige Werte des Grundflächen bezogenen Fensterflächenanteils, unterhalb dessen auf einen sommerlichen Wärmeschutznachweis verzichtet werden kann [DIN 4108 -2 Tabelle 7].

Spalte	1	2	3
Zeile	Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster ^b	Grundflächen bezogener Fensterflächenanteil ^a $f_{AG} \%$
1	Über 60° bis 90°	Nord-West über Süd bis Nord-Ost	10
2		Alle anderen Nordorientierungen	15
3	von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7
ANMERKUNG: Den angegebenen Fensterflächenanteilen liegen Klimawerte der Region 8 nach DIN V 4108-6 zugrunde.			
^a Der Fensterflächenanteil f_{AG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zu der Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind beim betrachteten Raum bzw. der Raumgruppe mehrere Fassaden oder z.B. Erker vorhanden, ist f_{AG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.			
^b Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenstern vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{AG} bestimmend.			

Der Grundflächen bezogene Fensterflächenanteil wird nach Gleichung (2) berechnet.

$$f_{AG} = \frac{A_w}{A_G} \quad (2)$$

Dabei ist

A_w , die Fensterfläche in m^2

A_G die Nettogrundfläche des Raumes oder des Raumbereichs in m^2

9.1.6.1. Bestimmung des Sonneneintragskennwertes

Für den bezüglich sommerlicher Überhitzung zu untersuchenden Raum oder die Raumgruppe ist der Sonneneintragskennwert S nach Gleichung (3) zu ermitteln.

$$S = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{total,j})}{A_G} \quad (3)$$

Dabei ist

A_W die Fensterfläche in m^2

g_{total} der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung einschließlich Sonnenschutz berechnet nach Gleichung (4) bzw. nach E DIN EN 13363-1 oder angelehnt nach DIN EN 410 bzw. zugesicherten Herstellerangaben

A_G die Nettogrundfläche des Raumes oder des Raumbereichs in m^2

Die Summe erstreckt sich über alle Fenster des Raumes oder Raumbereiches.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g_{total} , einschließlich Sonnenschutz, kann vereinfacht nach Gleichung (4) berechnet werden. Alternativ kann das Berechnungsverfahren für g_{total} nach DIN 4108-6, Anhang B verwendet werden.

$$g_{total} = g \cdot F_C \quad (4)$$

Dabei ist

g der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung nach DIN EN 410;

F_C der Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen nach Tabelle 9.7

Tabelle 9.7 - Anhaltswert für Abminderungsfaktor F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen [DIN 4108 -2 Tabelle8].

Spalte	1	2
Zeile	Sonnenschutzvorrichtung ^a	Abminderungsfaktor F_C
1	Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,0
2	Innen liegend und zwischen den Scheiben ^b	
2.1	weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz ^c	0,75
2.2	helle Farben oder geringe Transparenz	0,80
2.3	dunkle Farben oder höhere Transparenz ^c	0,90
3	Außen liegend	
3.1	drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
3.2	Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz ^c , hinterlüftet	0,25
3.3	Jalousien, allgemein	0,40
3.4	Rollläden, Fensterläden	0,30
3.5	Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen ^d	0,50
3.6	Markisen ^d , oben und seitlich ventiliert	0,40
3.7	Markisen ^d , allgemein	0,50

^a Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.

^b Für innen und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen, da sich erheblich günstigere Werte ergeben können.

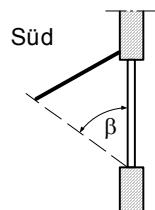
^c Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtungen unter 15 % gilt als gering.

^d Dabei muss näherungsweise sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist der Fall, wenn

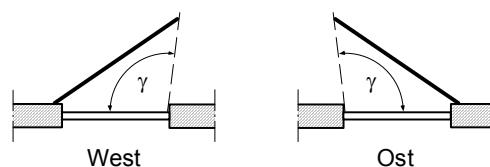
- bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50^\circ$ ist;
- bei Ost- Westorientierungen der Abdeckwinkel entweder $\beta \geq 85^\circ$ oder $\gamma \geq 115^\circ$ ist,

Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von $\pm 22,5^\circ$. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80^\circ$ erforderlich.

Vertikalschnitt durch Fassade



Horizontalschnitt durch Fassade



9.1.6.2. Anforderungen

Der Sonneneintragskennwert S darf den zulässigen Höchstwert S_{zul} nach Gleichung (5) nicht überschreiten, d.h.:

$$S \leq S_{zul} \quad (5)$$

Der Höchstwert wird als Summe der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x nach Gleichung (6) und Tabelle 9.8 ermittelt.

$$S_{zul} = \sum S_x \quad (6)$$

Dabei ist

S_x anteiliger Sonneneintragskennwert nach Tabelle 9.8.

Tabelle 9.8 – Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Höchstwertes des Sonneneintragskennwertes [DIN 4108 -2 Tabelle 9].

1	2	3	4
	Zeile	Gebäudelage bzw. Bauart, Fensterneigung und Orientierung	Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x
1		Klimaregion ^a :	
	1.1	Gebäude in Klimaregion A	0,04
	1.2	Gebäude in Klimaregion B	0,03
	1.3	Gebäude in Klimaregion C	0,015
2		Bauart ^b :	
	2.1	leichte Bauart: ohne Nachweis von C_{wirk} / A_G	$0,06 f_{gew}^c$
	2.2	mittlere Bauart: $50 \text{ Wh}/(\text{Km}^2) \leq C_{wirk} / A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{Km}^2)$	$0,10 f_{gew}^c$
	2.3	schwere Bauart: $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{Km}^2)$	$0,115 f_{gew}^c$
3		Erhöhte Nachtlüftung ^d während der zweiten Nachthälfte $n > 1,5 \text{ h}^{-1}$:	
	3.1	bei mittlerer ^b und leichter ^b Bauart	+ 0,02
	3.2	bei schwerer Bauart ^b	+ 0,03
4		Sonnenschutzverglasung ^e mit $g \leq 0,4$	+ 0,03
5		Fensterneigung: $0^\circ < \text{Neigung} < 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)	- $0,12 f_{neig}^f$
6		Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind.	+ $0,10 f_{nord}^g$

Tabelle 9.8 – Fortsetzung

a	Höchstwerte der mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen nach Tabelle 9.9;
b	Im Zweifelsfall kann nach DIN V 4108-6 die wirksame Wärmespeicherfähigkeit für den betrachteten Raum bzw. Raumbereich bestimmt werden um die Bauart einzuordnen; dabei ist folgende Einstufung vorzunehmen: - leichte Bauart liegt vor, wenn $C_{\text{wirk}} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{K m}^2)$ mit C_{wirk} wirksame Wärmespeicherfähigkeit A_G Nettogrundfläche - mittlere Bauart liegt vor, wenn $50 \text{ Wh}/(\text{K m}^2) \leq C_{\text{wirk}} / A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{K m}^2)$ - schwere Bauart liegt vor, wenn $C_{\text{wirk}} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{K m}^2)$
c	$f_{\text{gew}} = (A_W + 0,3 A_{AW} + 0,1 A_D) / A_G$ mit f_{gew} gewichtete Außenflächen bezogen auf die Nettogrundfläche; die Gewichtungsfaktoren berücksichtigen die Relation zwischen dem sommerlichen Wärmedurchgang üblicher Außenbauteile; A_W Fensterfläche (einschließlich Dachfenster); A_{AW} Außenwandfläche (Außenmaße); A_D wärmeübertragende Dach- oder Deckenfläche nach oben oder unten gegen Außenluft, Erdreich und unbeheizte Dach- und Kellerräume (Außenmaße); A_G Nettogrundfläche (lichte Maße)
d	Bei Ein- und Zweifamilienhäusern kann in der Regel von einer erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden;
e	Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, die die diffuse Strahlung permanent reduziert und deren $g_{\text{total}} < 0,4$ erreicht;
f	$f_{\text{neig}} = A_{W,\text{neig}} / A_G$ mit $A_{W,\text{neig}}$ geneigte Fensterfläche; A_G Nettogrundfläche;
g	$f_{\text{nord}} = A_{W,\text{nord}} / A_{W,\text{gesamt}}$ mit $A_{W,\text{nord}}$ Nord-, Nordost- und Nordwest- orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind; $A_{W,\text{gesamt}}$ gesamte Fensterfläche

Tabelle 9.9 – Zugrunde gelegte Grenzwerte der Innentemperaturen für die Sommer-Klimaregionen [DIN 4108 -2 Tabelle 6].

Sommer-Klimaregion	Merkmal der Region	Grenzwert der Innentemperatur in °C	Höchstwert der mittleren monatlichen Außentemperatur θ in °C
A	sommerkühl	25	$\theta \leq 16,5$
B	gemäßigt	26	$16,5 < \theta < 18$
C	sommerheiß	27	$\theta \geq 18$

ANMERKUNG: Eine unterschiedliche Festlegung des Grenzwertes der Innentemperatur ist wegen der Adaption des Menschen an das vorherrschende Außenklima gewählt. Würden in allen Regionen dieselben Anforderungen an das sommerliche Raumklima wie in der sommerkühlen Region gestellt, könnten in den wärmeren Klimaregionen keine für die Tageslichtbeleuchtung ausreichenden Fenstergrößen zugelassen werden.

9.2 Energieeinsparverordnung (EnEV)

10 Praktischer Wärmeschutz – Ausführungsbeispiele

10.1 Dächer

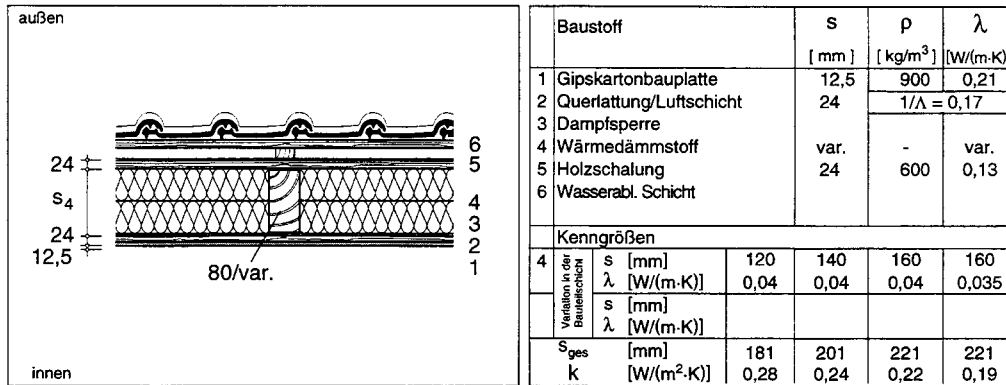


Bild 10.1: Steildach - Nichtbelüftetes Dach mit Dämmung zwischen den Sparren.

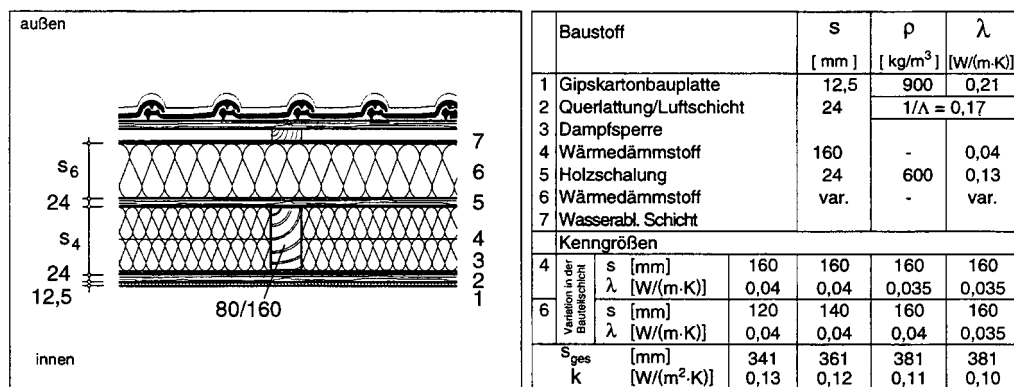


Bild 10.2: Steildach - Nichtbelüftetes Dach mit Dämmung über und zwischen den Sparren.

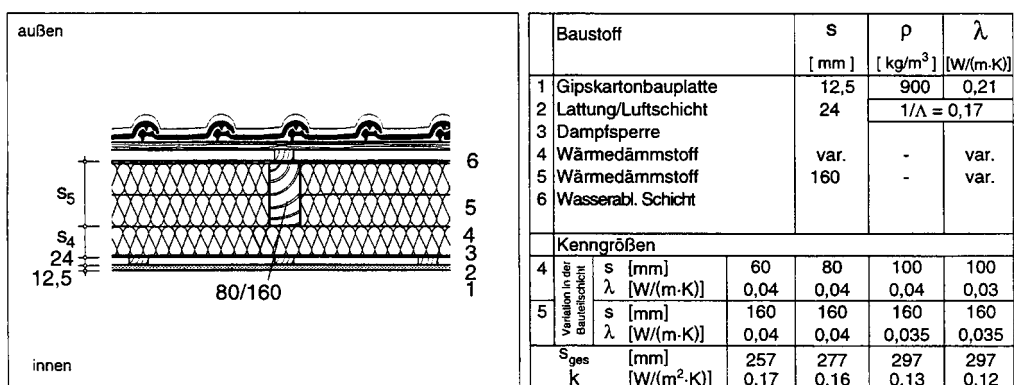


Bild 10.3: Steildach - Nichtbelüftetes Dach mit Dämmung zwischen und unter den Sparren.

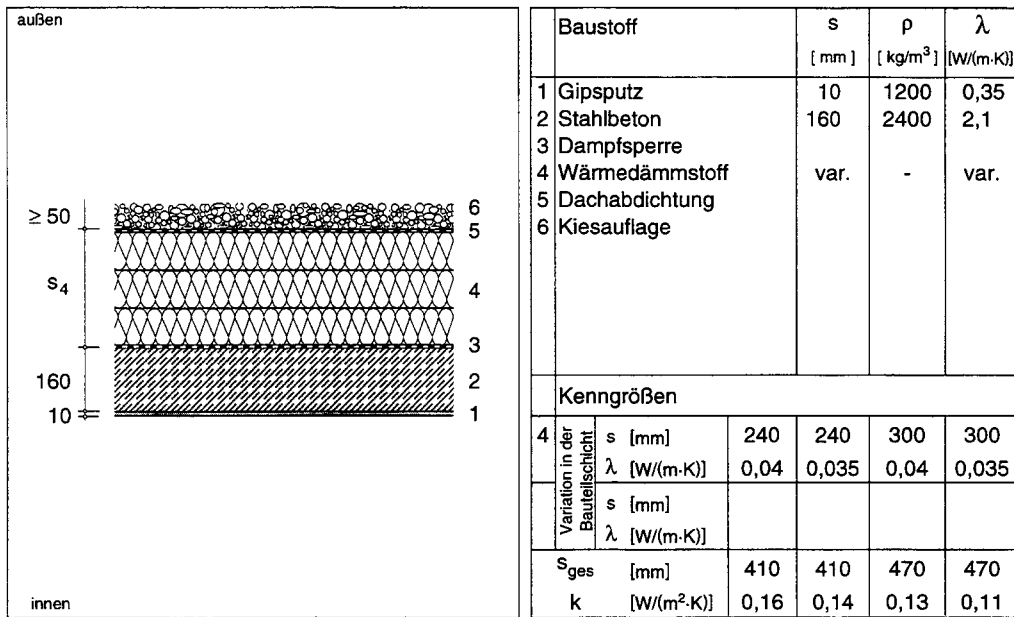


Bild 10.4: Flachdach - Stahlbeton.

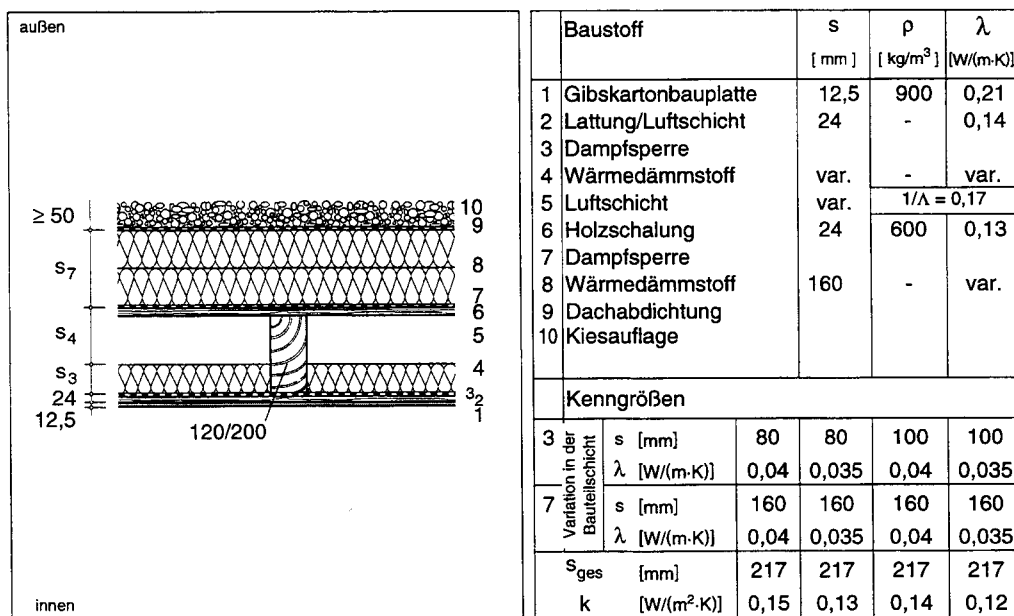


Bild 10.5: Flachdach - Holzbauart.

10.2 Wände

Baustoff		s	ρ	λ
		[mm]	[kg/m ³]	[W/(m·K)]
1	Gipsputz	10	1200	0,35
2	Mauerwerk	var.	-	var.
3	Kalkzementputz	20	1800	0,87

Kenngroßen						
2	Variation in der Bauteilschicht	s [mm]	365	365	490	490
		λ [W/(m·K)]	0,15	0,12	0,15	0,12
3	Variation in der Bauteilschicht	s [mm]				
		λ [W/(m·K)]				
s_{ges} [mm]		395	395	520	520	
k [W/(m ² ·K)]		0,38	0,31	0,29	0,23	

Bild 10.6: Außenwand - Mauerwerk.

Baustoff		s	ρ	λ
		[mm]	[kg/m ³]	[W/(m·K)]
1	Gipsputz	10	1200	0,35
2	Mauerwerk	var.	-	var.
3	Wärmedämmstoff	var.	-	var.
4	Kunstharzputz	10	1800	0,70

Kenngroßen						
2	Variation in der Bauteilschicht	s [mm]	240	240	175	175
		λ [W/(m·K)]	0,56	0,12	0,99	0,56
3	Variation in der Bauteilschicht	s [mm]	120	150	120	150
		λ [W/(m·K)]	0,04	0,04	0,035	0,035
s_{ges} [mm]		380	410	315	345	
k [W/(m ² ·K)]		0,27	0,17	0,26	0,21	

Bild 10.7: Außenwand - Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem.

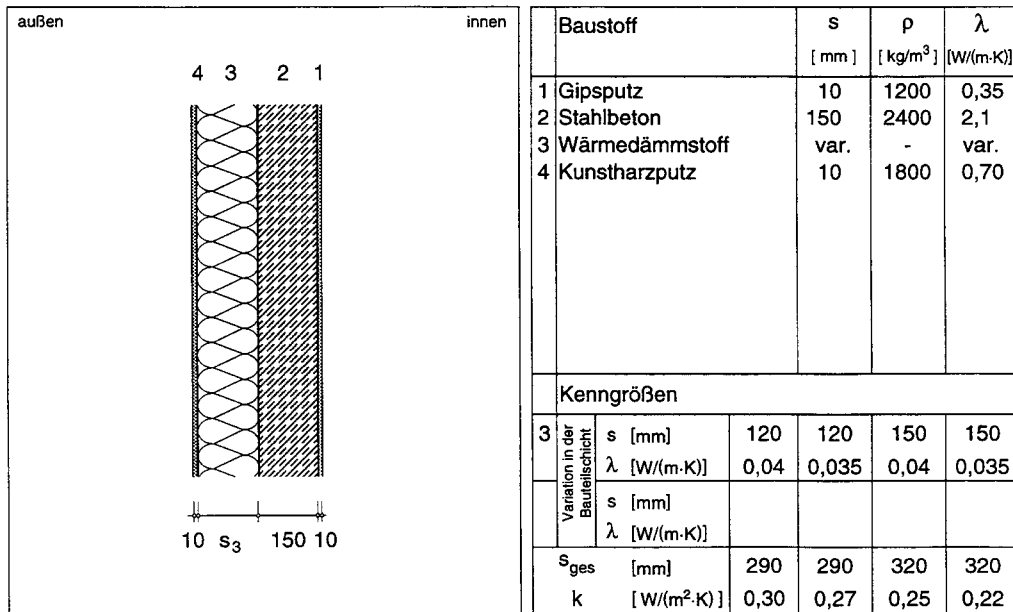


Bild 10.8: Außenwand - Beton mit Wärmedämmverbundsystem.

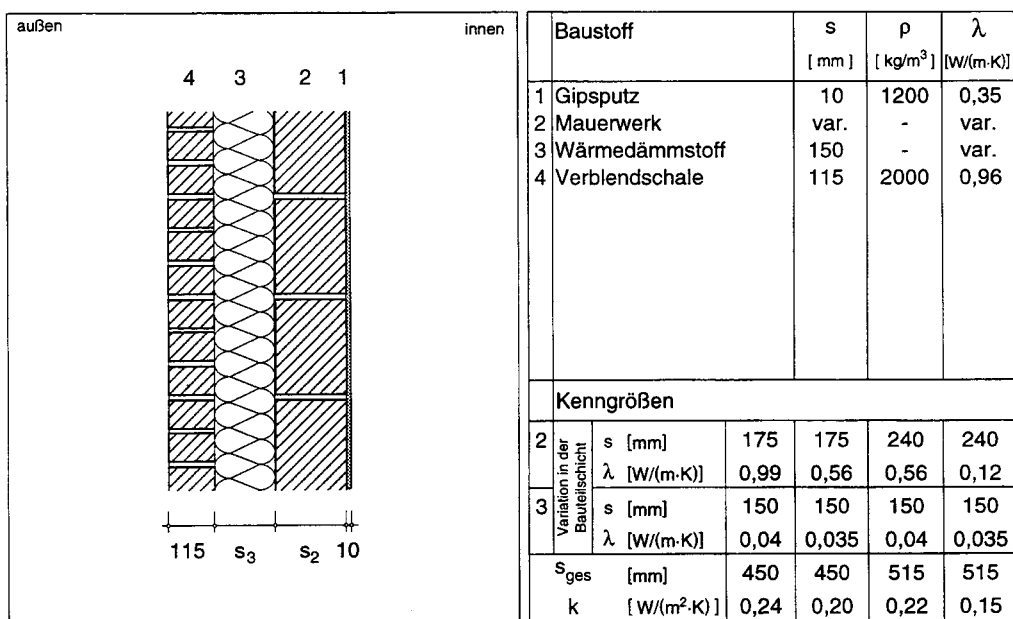


Bild 10.9: Außenwand - Zweischaliges Mauerwerk.

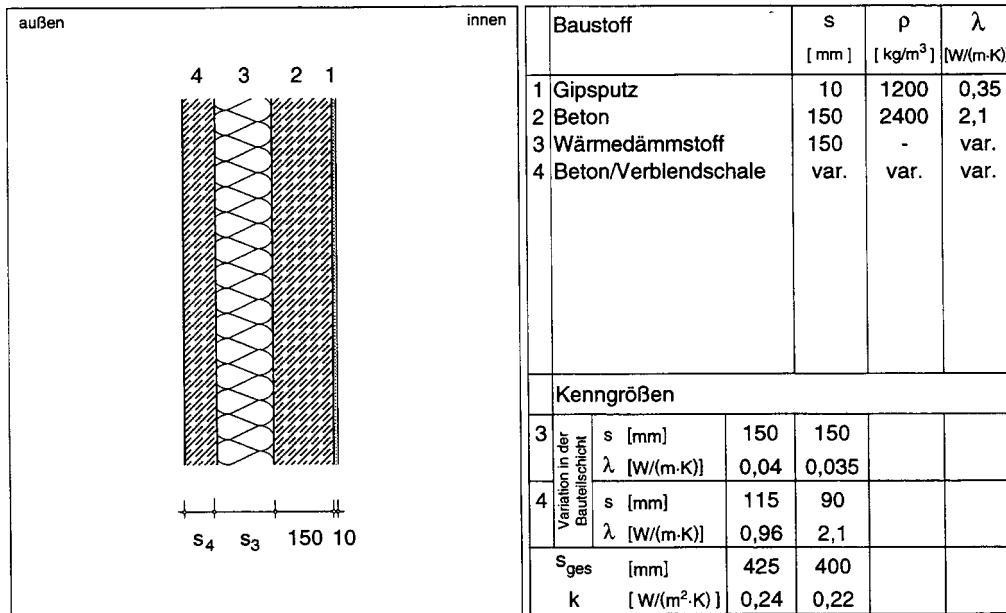


Bild 10.10: Außenwand - Beton, zweischalig.

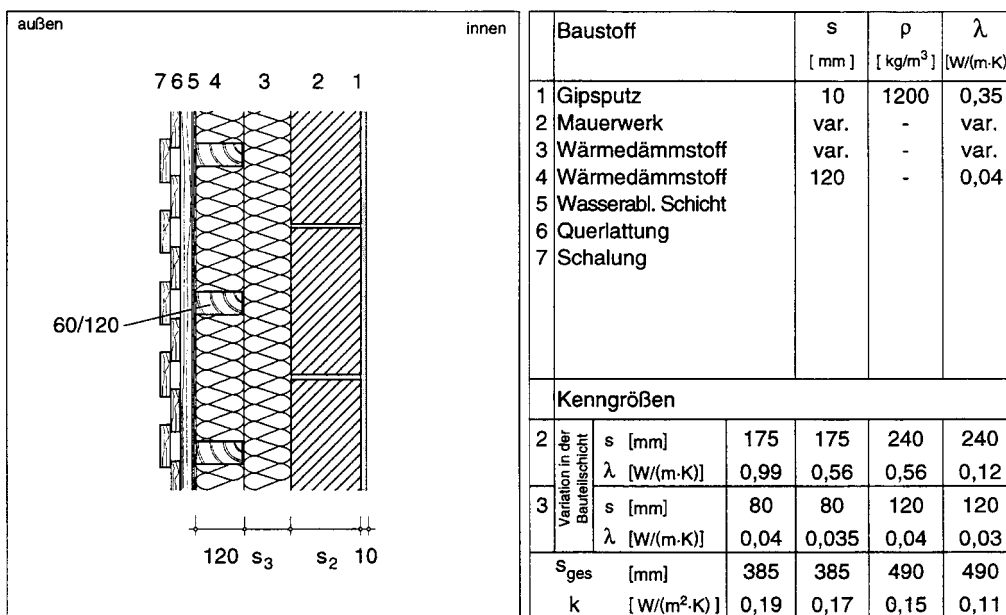


Bild 10.11: Außenwand - Mauerwerk mit Vorhangschale.

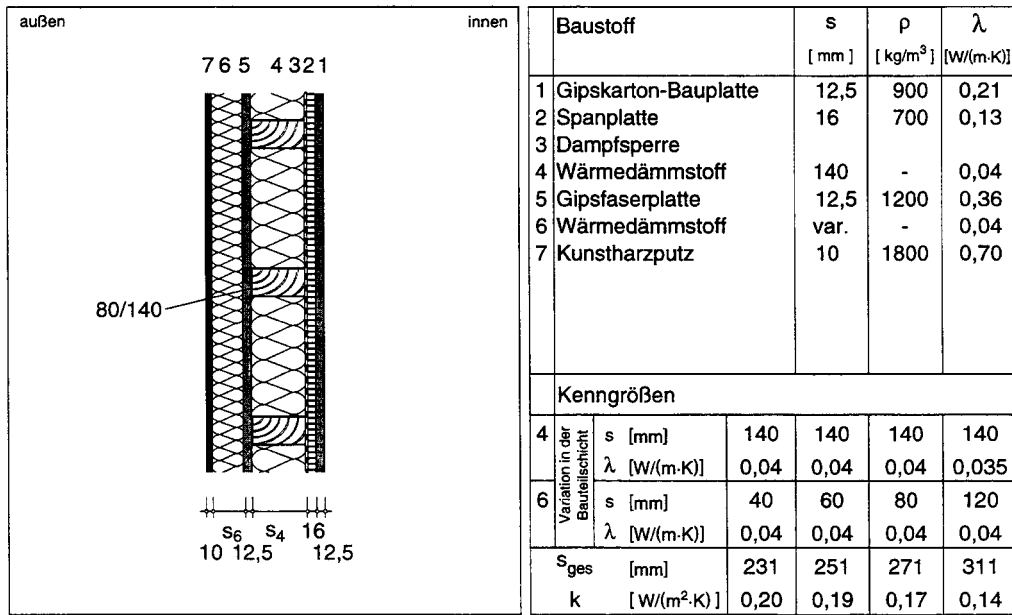


Bild 10.12: Außenwand - Holztafelbauart.

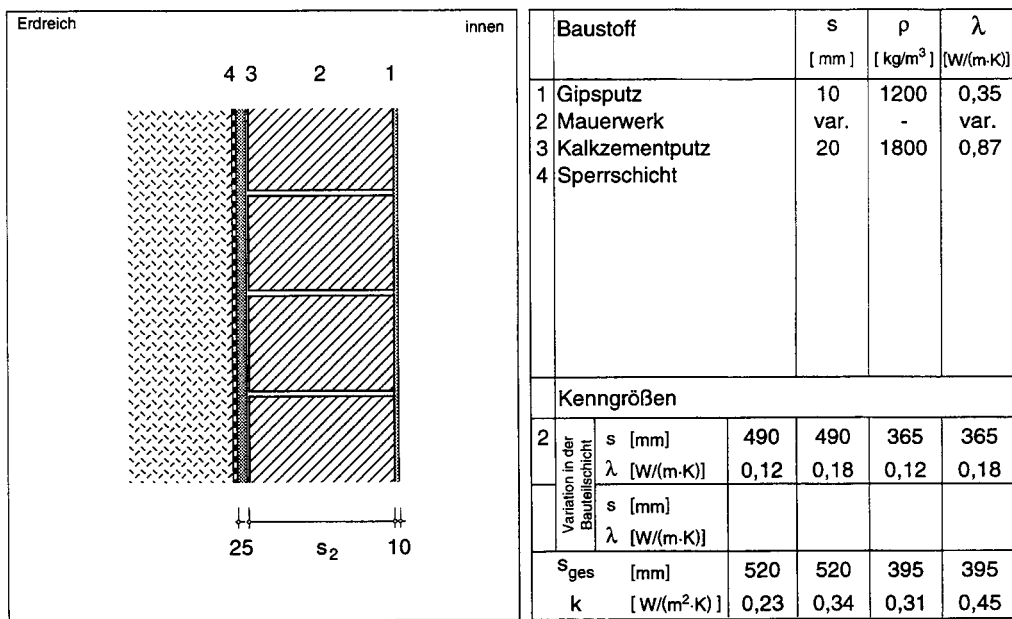


Bild 10.13: Kelleraußenwand - Mauerwerk.

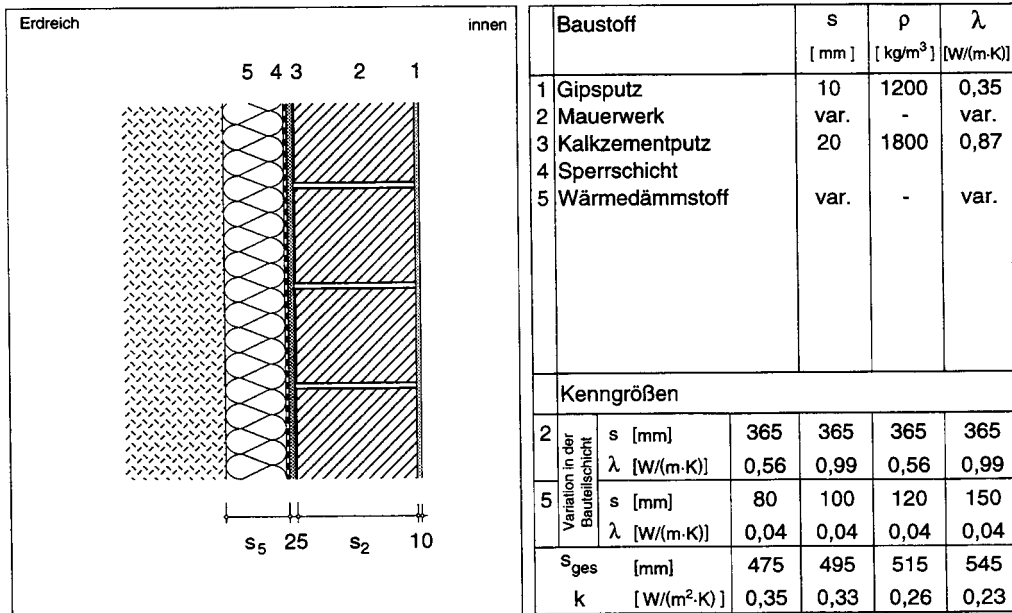


Bild 10.14: Kelleraußenwand - Mauerwerk mit Perimeterdämmung.

10.3 Kellerdecken/Bodenplatten

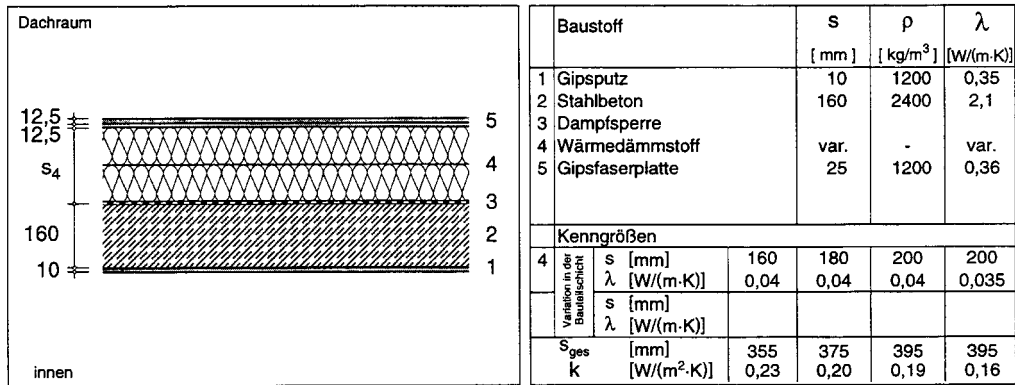


Bild 10.15: Decke unter unbeheiztem Dachraum - Stahlbeton.

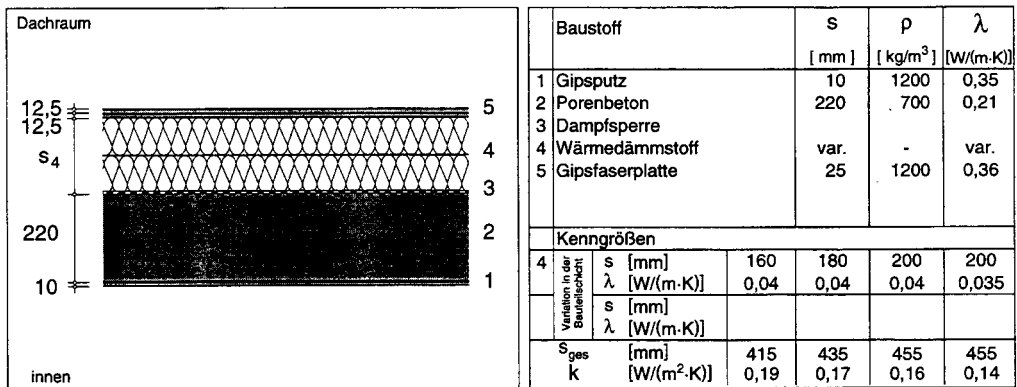


Bild 10.16: Decke unter unbeheiztem Dachraum - Porenbeton.

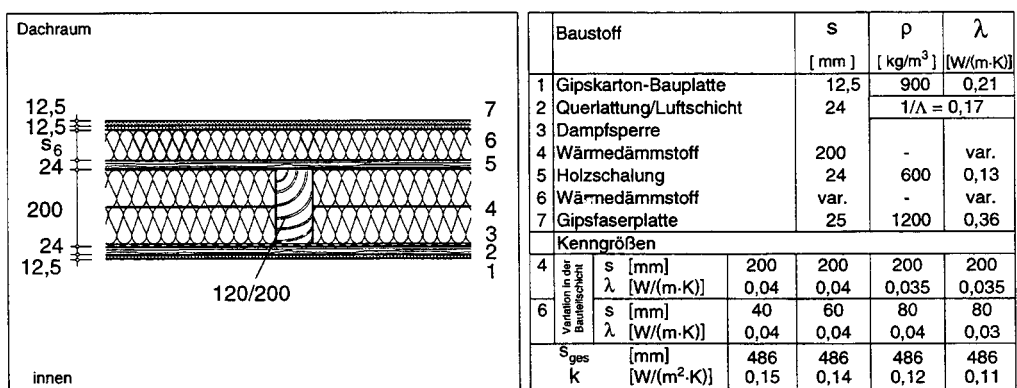


Bild 10.17: Decke unter unbeheiztem Dachraum - Holzbalkendecke.

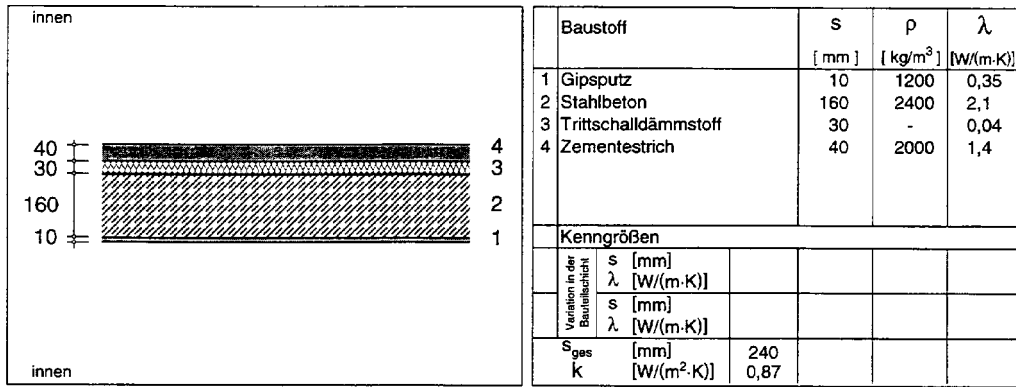


Bild 10.18: Geschoßdecke - Stahlbeton.

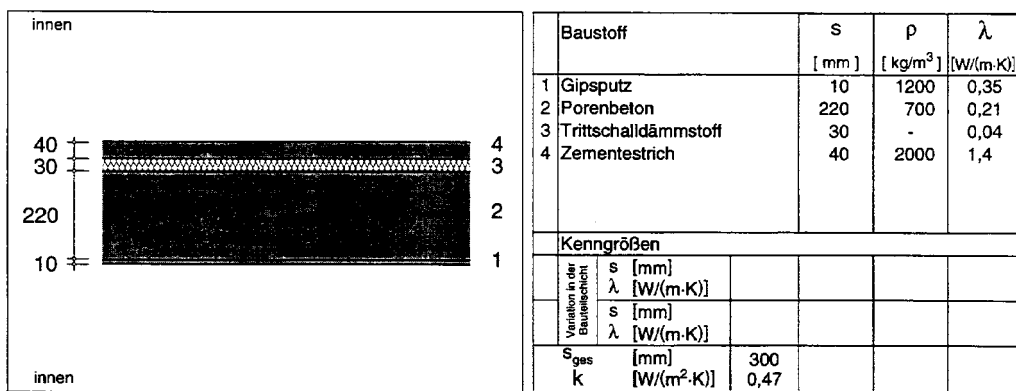


Bild 10.19: Geschoßdecke - Porenbeton.

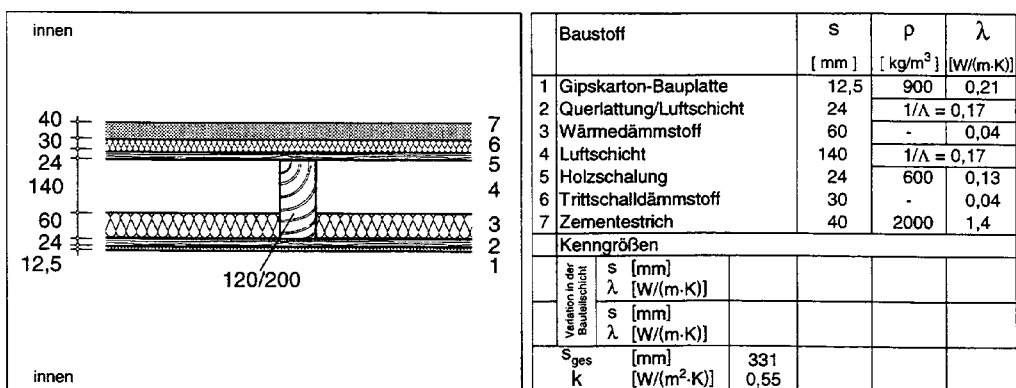


Bild 10.20: Geschoßdecke - Holzbalkendecke.

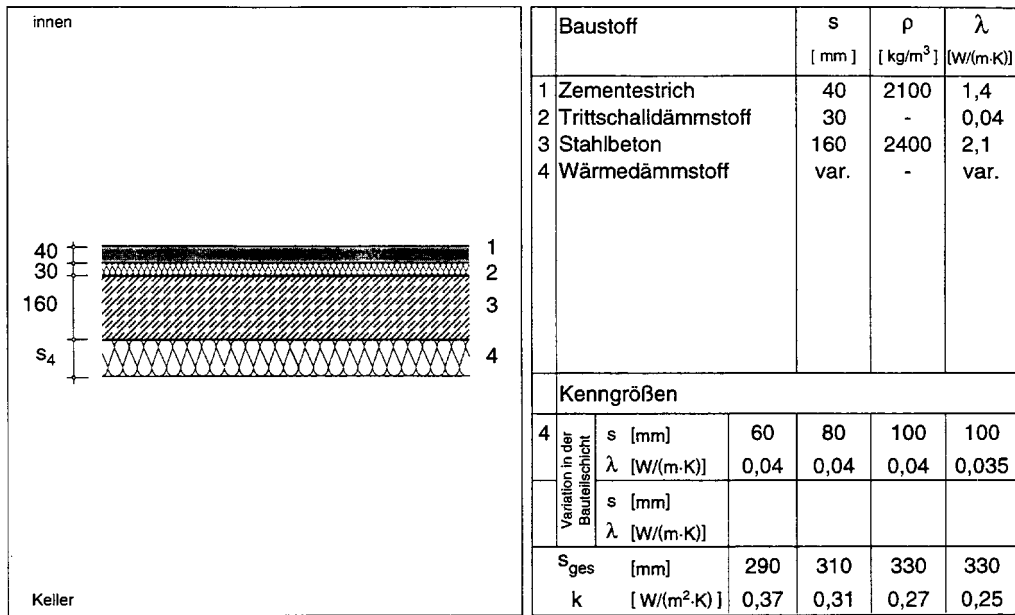


Bild 10.21: Decke über unbeheiztem Keller - Stahlbeton.

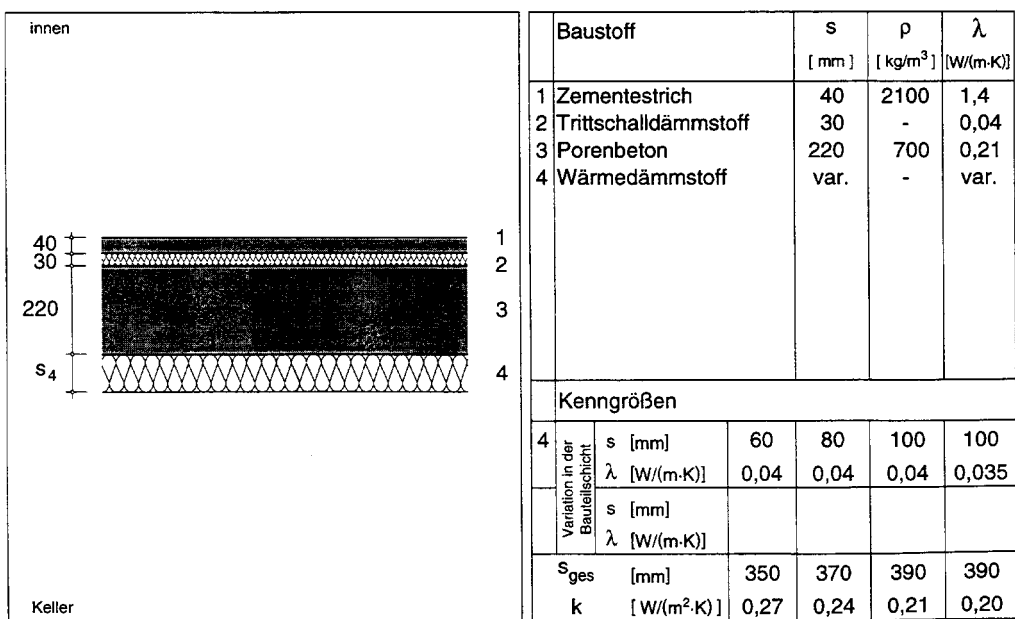


Bild 10.22: Decke über unbeheiztem Keller - Porenbeton.

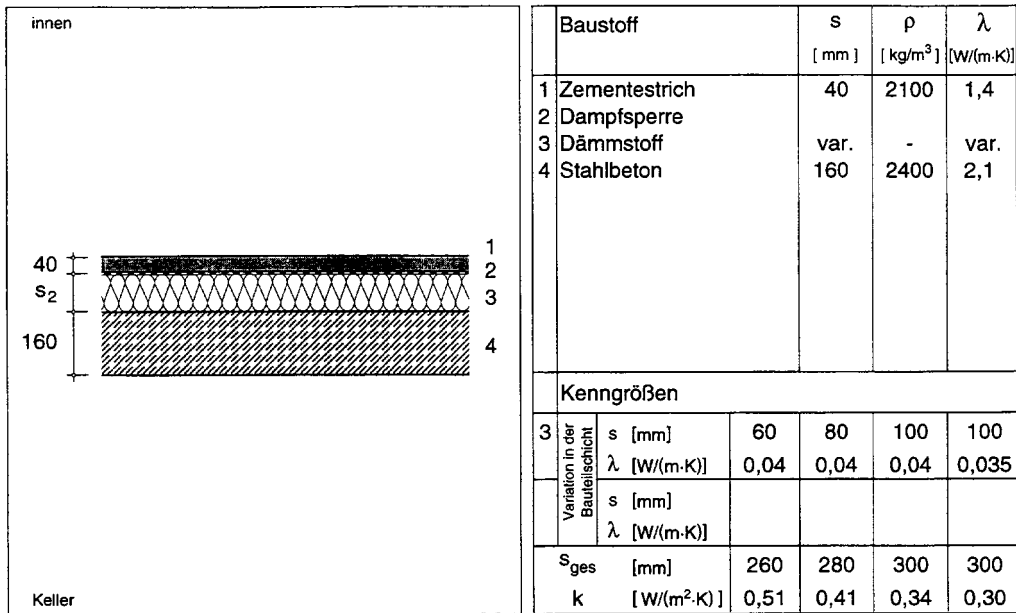


Bild 10.23: Geschoßdecke über unbeheiztem Keller - Stahlbeton.

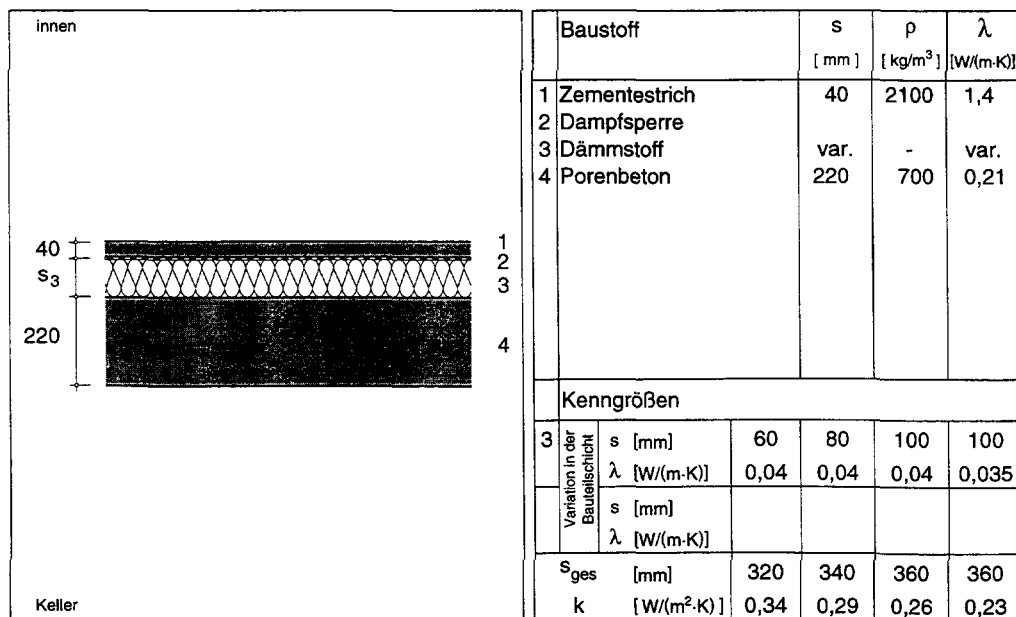


Bild 10.24: Geschoßdecke über unbeheiztem Keller - Porenbeton.

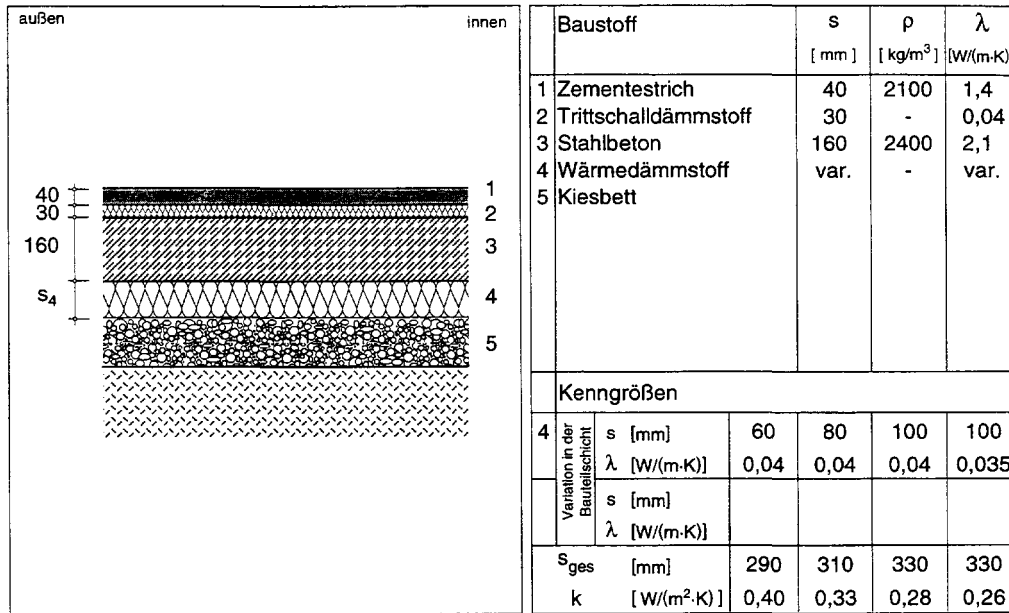


Bild 10.25: Bodenplatte - Dämmstoff unter der Bodenplatte.

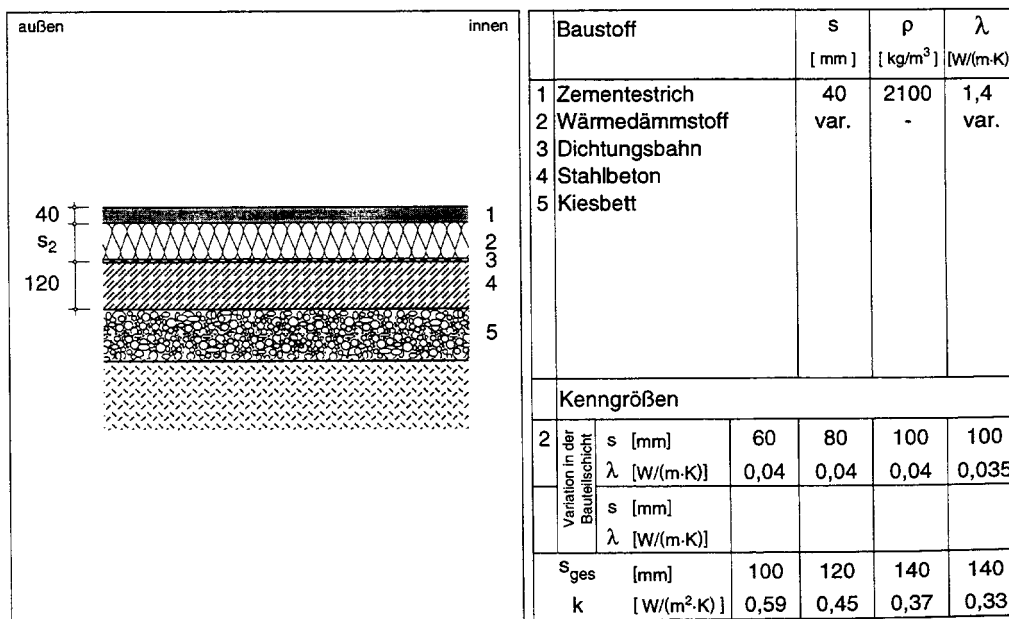
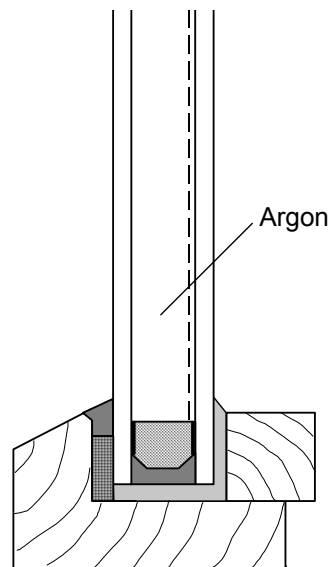


Bild 10.26: Bodenplatte - Dämmstoff auf der Bodenplatte.

10.4 Fenster



$$k_V = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_F = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

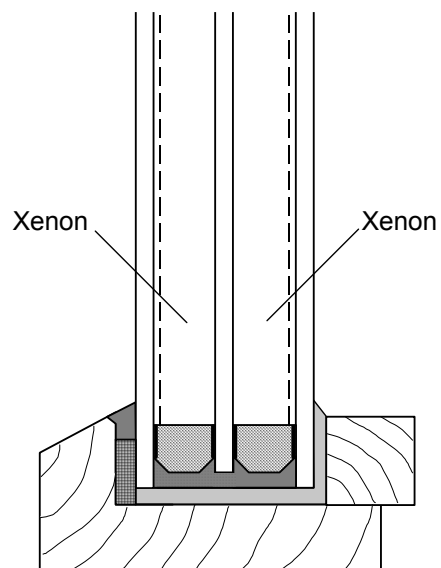
$$g_F = 0,62$$

$$k_{\text{eq,F,Nord}} = 0,81 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{eq,F,Ost/West}} = 0,38 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{eq,F,Süd}} = -0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Bild 10.27: Wärmeschutzverglasung.



$$k_V = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_F = 0,67 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$g_F = 0,42$$

$$k_{\text{eq,F,Nord}} = 0,27 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{eq,F,Ost/West}} = -0,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{eq,F,Süd}} = -0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Bild 10.28: Superglazing.

**Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung
- Wohngebäude - VEREINFACHTES VERFAHREN, Periodenbilanz -**

Objekt:

1. Gebäudedaten

1	Volumen (Außenmaß) [m³]	$V_e =$	
2	Nutzfläche [m²]	$A_N = 0,32 * V_e = 0,32 * \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$	
	A/V _e -Verhältnis [1/m]	$A / V_e = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} =$	

2. Wärmeverluste

2.1 Transmissionswärmeverlust [W/K]

5	Bauteil	Kurzbezeichnung	Fläche A _i [m²]	Wärmedurchgangskoeffizient U _i [W/(m²K)]	U _i * A _i [W/K]	Temperatur-Korrekturfaktor F _{xi} [-]	U _i * A _i * F _{xi} [W/K]
6	Außenwand	AW 1				1	
7		AW 2				1	
8		AW 3				1	
9		AW 4				1	
10	Fenster	W 1				1	
11		W 2				1	
12		W 3				1	
13		W 4				1	
14	Haustür	T 1				1	
15	Dach	D 1				1	
16		D 2				1	
17		D 3				1	
18	Oberste Geschoßdecke	D 4				0,8	
19		D 5				0,8	
20	Wand gegen Abseitenraum	AbW 1				0,8	
21		AbW 2				0,8	
22	Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	AB 1				0,5	
23		AB 2				0,5	
24	Kellerdecke/-wände zum unbeheizten Keller Fußboden auf Erdreich Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich	G 1				0,6	
25		G 2				0,6	
26		G 3				0,6	
27		G 4				0,6	
28		G 5				0,6	

29	$S A_i = A =$	Spezifischer Transmissionswärmeverlust $S U_i * A_i * F_{xi} =$
----	---------------	---

30	Transmissionswärmeverlust ¹ $H_T = \Sigma (U_i * A_i * F_{xi}) + \Delta U_{WB} * A$ $H_T = \underline{\hspace{2cm}} + 0,05 * \underline{\hspace{2cm}} \quad H_T =$
----	---

2.2 Lüftungswärmeverlust [W/K]

32	Lüftungswärmeverlust ohne Dichtheitsprüfung $H_V = 0,19 * V_e = 0,19 * \underline{\hspace{2cm}} \quad H_V =$
----	---

33	Lüftungswärmeverlust mit Dichtheitsprüfung $H_V = 0,163 * V_e = 0,163 * \underline{\hspace{2cm}} \quad H_V =$
----	--

¹⁾ Als Wärmebrückenkorrekturwert wird im vereinfachten Verfahren $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in Ansatz gebracht.

34	3. Wärmegewinne				
35	3.1 Solare Wärmegewinne Q_s [kWh/a]				
36	Orientierung	Solare Einstrahlung I_j [kWh/(m ² a)]	Fenster- Teilfläche $A_{W,i}$ [m ²]	Gesamtener- giedurchlaß- grad g_i [-]	$I_j * 0,567 * A_{W,i} * g_i$ [kWh/a]
37	Südost bis Südwest	270			
38					
39	Nordwest bis Nordost	100			
40					
41	übrige Richtungen	155			
42					
43	Dachflächenfenster mit Neigung < 30° ¹⁾	225			
44	Solare Wärmegewinne: $Q_s = \sum (I_j * 0,567 * A_{W,i} * g_i)$				$Q_s =$
45	3.2 Interne Wärmegewinne Q_i [kWh/a]				
46	Interne Wärmegewinne: $Q_i = 22 * A_N = 22 * \underline{\hspace{2cm}}$				$Q_i =$
47	4. Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]				
48	Jahres-Heizwärmebedarf: ²⁾ $Q_h = 66 * (H_T + H_V) - 0,95 * (Q_s + Q_i)$ $Q_h = 66 * \underline{\hspace{2cm}} - 0,95 * \underline{\hspace{2cm}}$				$Q_h =$
49	Flächenbezogener Jahres-Heizwärmebedarf: ³⁾ $Q_h'' = Q_h / A_N$ [kWh/(m ² a)] $Q_h'' = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}}$				$Q_h'' =$
50	5. Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]				
51	vorhandener spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust: $H_{T',vorh} = H_T / A = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}}$				$H_{T',vorh} =$
52	zulässiger spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust: $H_{T',max} = 1,05$ bei $A/V_e \leq 0,2$ $H_{T',max} = 0,3 + 0,15 / (A/V_e)$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $H_{T',max} = 0,44$ bei $A/V_e \geq 1,05$				$H_{T',max} =$
53	$H_{T',vorh} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq \underline{\hspace{2cm}} \text{ W/(m}^2\text{K)} = H_{T',max}$				
54	6. Ermittlung der Primärenergieaufwandszahl gemäß DIN 4701 - 10 Anhang A (Berechnungsblätter) oder Anhang C (Diagramme)				
55	Anlagenaufwandszahl (primärenergiebezogen): <i>Anlagentyp: Anlage 2 - Brennwertkessel mit gebäudezentraler Trinkwassererwärmung</i>				$e_p =$
56	7. Jahres-Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]				
57	vorhandener Jahres-Primärenergiebedarf: $Q_{P'',vorh} = e_p * (Q_h'' + 12,5)$ $Q_{P'',vorh} = \underline{\hspace{2cm}} * (\underline{\hspace{2cm}} + 12,5)$				$Q_{P'',vorh} =$
58	zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf:				
59	Wohngebäude (außer solche nach Zeile 60) $Q_{P'',max} = 66 + 2600 / (100 + A_N)$ bei $A/V_e < 0,2$ $Q_{P'',max} = 50,94 + 75,29 * A/V_e + 2600 / (100 + A_N)$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $Q_{P'',max} = 130 + 2600 / (100 + A_N)$ bei $A/V_e \geq 1,05$				$Q_{P'',max} =$
60	Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom: $Q_{P'',max} = 88$ bei $A/V_e < 0,2$ $Q_{P'',max} = 72,97 + 75,29 * A/V_e$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $Q_{P'',max} = 152$ bei $A/V_e \geq 1,05$				$Q_{P'',max} =$
61	$Q_{P'',vorh} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kWh/(m}^2\text{a)} \leq \underline{\hspace{2cm}} \text{ kWh/(m}^2\text{a)} = Q_{P'',max}$				

¹⁾ Dachflächenfenster mit Neigung $\geq 30^\circ$ sind hinsichtlich der Orientierung wie senkrechte Fenster zu behandeln.

²⁾ $f_{Gt} = 66 \text{ kWh/a}$

³⁾ Der flächenbezogene Bedarf wird allgemein mit Q'' oder mit q gekennzeichnet.

Nomenklatur Skript Wärmelehre

Im Zuge der Einführung europäischer Normen haben sich viele Bezeichnungen geändert (und ändern sich weiterhin ständig). Im praktischen Gebrauch tauchen jedoch die alten Bezeichnungen immer noch auf. Aus diesem Grunde werden hier (nach dem derzeitigen Stand) die alten und neuen Symbole aufgelistet. Auch im Skript tauchen in bestimmten Zusammenhängen die alten Bezeichnungen auf, in anderen die neuen. Die Nomenklatur soll deswegen als Hilfestellung dienen.

Bezeichnung	Symbol	altes Symbol	Einheit	Anmerkungen Kapitel im Skript/ Quelle/
Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen (infolge Verschattung)	F_C	z	[- -]	Kap. 9.2/ DIN 4108-6
Abminderungsfaktor infolge Rahmenanteil	F_F		[--]	DIN 4108-6
Deckelfaktor	D		[- -]	(Berücksichtigung von Rolläden etc.) Kap. 5.3.1
Temperaturfaktor	f	Q [gr. Theta]	[- -]	Kap. 2.3.3
Einstrahlzahl	$j_{i@j}$ [kl. Phi]			Kap. 1.2.3.2
Emissionsgrad	e [kl. Epsilon]		[- -]	Bei schwarzem Körper $\epsilon = 1$; Kap. 1.2.3.2
Energiebedarf	E		[W/K]	Kap. 7
Fensterflächenanteil	f		[- -]	Kap 9.2
Fläche (<u>A</u> rea)	A		[m ²]	Kap. 2.3.1
flächenbezogene Masse	m_i		[kg/m ²]	Kap. 9.1.2
Gesamtenergiedurchlaßgrad	g		[- -]	Kap. 5
Geschwindigkeit (<u>v</u> elocity)	v		[m/s]	Kap. 1.2.2.2.1
Gradtagzahl	Gt		[Kh/a]	Kap. 6
Höhe	H		[m]	
Länge	l oder L		[m]	Kap. 2.3.1
Längenänderung	Δl		[- -]	Kap. 8
längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient	Υ [gr. Psi]	WBV	[W/(mK)]	Kap. 2.3.1
Luftwechselrate	n		[h ⁻¹]	Kap. 1.2.2.1
Masse	m		[kg]	Kap. 1.1
Rohdichte	r [kl. Rho]		[kg/m ³]	Kap. 1.1
Schichtdicke	d	s	[m]	Kap. 2
spezifische Energie	q oder Q'		[KWh/(m ² a)]	
spezifische Wärmekapazität	c		[Wh/(kgK)]	Kap. 1.1/ DIN 4108-6
Strahlungsabsorptionsgrad	a [kl. Alpha] oder A		[- -]	Kap. 1.2.3.1/ DIN 4108-6
Strahlungsgewinnkoeffizient	S		[W/(m ² K)]	Kap. 5.3
Strahlungsintensität	I		[W/m ²]	Kap. 5/ DIN 4108-6

Bezeichnung	Symbol	altes Symbol	Einheit	Anmerkungen Kapitel im Skript/ Quelle/
Strahlungskonstante des schwarzen Körpers	C_s		[W/(m ² K ⁴)]	Kap. 1.2.3.2
Strahlungsreflexionsgrad	r [kl. Rho] oder R		[- -]	Kap. 1.2.3.1
Strahlungstransmissionsgrad	t [kl. Tau] oder T		[- -]	Kap. 1.2.3.1
Strömungsgeschwindigkeit	w		[m/h]	Kap. 1.2.2.1
Temperatur	T q [kl. Theta]	J [kl. Theta]	[K] [°C]	Kap. 1/ DIN 4108-6
Temperaturamplitudenverhältnis	TAV		[- -]	Kap. 4
Temperaturausdehnungskoeffizient	a [kl. Alpha]		[K ⁻¹]	Kap. 8
Temperaturkorrekturfaktor	F_x		[- -]	DIN 4108-6
thermische Längenänderung	e _t [kl. Epsilon]		[m]	Kap. 8
Transmissionswärmeverluste	F _T [gr. Phi]		[W]	Kap. 2.3.1
Volumen	V		[m ³]	Kap. 1.1
volumenbezogener Feuchtegehalt	n_v		[- -]	Kap. 1.2.1
Volumenstrom	ṽ		[m ³ /h]	Kap. 1.2.2.1
Wärmebrückenverlustkoeffizient für punktförmige Wärmebrücken	c [kl. Chi]	WBV_p	[W/K]	Kap. 2.3.1
Wärmedurchgangskoeffizient	U	k	[W/(m ² K)]	Kap. 2
Wärmedurchlaßkoeffizient	L [gr. Lambda]		[W/(m ² K)]	Kap. 2
Wärmedurchlaßwiderstand (<u>Resistance</u>)	R	1/L	[(m ² K)/W]	Kap. 2/ DIN 6946
Wärmekapazität	C		[Wh/K]	Kap. 1.1/ DIN 4108-6
Wärmeleitfähigkeit	l [kl. Lambda]		[W/(mK)]	Kap. 1.2.1/ DIN 6946
Wärmemenge	Q		[Wh] oder [kWh]	Kap. 1.1
Wärmestrom	F [gr. Phi]		[W]	Kap. 1.2.1
Wärmestromdichte	q		[W/m ²]	Kap. 1.2.1
Wärmeübergangskoeffizient	h	a [kl. Alpha]	[W/(m ² K)]	Kap. 1.2.2.1/ DIN 6946
Wärmeübergangswiderstand	R_s	1/a	[m ² K/W]	Kap. 9.1.2/ DIN 6946
Zeit (<i>time</i>)	t		[h]	Kap. 1.2.1

Häufig verwendete Indizees

Indizee steht für	Zeichen	altes Zeichen	abgeleitet aus dem Wort	Erläuterung / taucht häufig auf im Zusammenhang mit	Quelle
außen	e	a	<u>External</u>	$h/\alpha, q$	DIN 6946
außenmaßbezug	a			Ψ/WBV	
Außenwand	AW			F_x	DIN 4108-6 Tabelle 3
Dach	D			F_x	DIN 4108-6 Tabelle 3
equivalent	eq			U/k	
Fenster einschl. Rahmen	W	F	<u>window</u>	U/k	ISO 1077
feucht	f			m	
innen	i	i	<u>Internal</u>	$h/\alpha, q$	DIN 6946
innenmaßbezug	i			Ψ/WBV	
konvektiv	k			h/α	
Luft außen	e	Li	<u>external</u>	θ/ϑ	
Luft innen	i	La	<u>internal</u>	θ/ϑ	
oben	o			Ψ/WBV	
Oberfläche außen	se	Oa	<u>surface external</u>	$R_s, \theta/\vartheta$	DIN 6946
Oberfläche innen	si	Oi	<u>surface internal</u>	$R_s, \theta/\vartheta$	DIN 6946
opake Füllung	p		<u>panel</u>		ISO 1077
Rahmen	f	R	<u>frame</u>	U/k	ISO 1077
Rechenwert	R			λ	
Strahlung	s			$h/\alpha, q$	
Transmission	T			Φ	
trocken	t			m	
unbeheizter Raum	u				DIN 4108-6 Tabelle 3
unten	u			Ψ/WBV	
unterer Gebäudeabschluß	G			F_x	DIN 4108-6 Tabelle 3
Verglasung	g	V	<u>glazing</u>	U/k	ISO 1077
Wärmebrücke	WB			l	

Griechisches Alphabet

A a Alpha	B b Beta	G g Gamma	D d Delta	E e Epsilon	Z z Zeta	H h Eta	Q q (J) Theta
I i Jota	K k Kappa	L l Lambda	M m My	N n Ny	X x Xi	O o Omikron	P p Pi
R r Rho	S s Sigma	T t Tau	U u Ypsilon	F f Phi	C c Chi	Y y Psi	W w Omega