

Behaglichkeitsverhältnisse

Um die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen zu erhalten, muß seine Körpertemperatur in engen Grenzen gehalten werden. Bereits geringe Abweichungen von der mittleren Körpertemperatur von 37 [°C] sind lebensgefährlich und können zum Tode führen. Auf der Erde ist der Mensch großen Temperaturschwankungen ausgesetzt, so daß er sich durch eine künstliche Hülle, das Gebäude, vor diesem klimatischen Umwelteinfluß schützen muß.

Im Gebäudeinneren sollen möglichst konstante Klimaverhältnisse erzeugt werden, die für die thermische Behaglichkeit notwendig sind.

Der Zusammenhang zwischen Temperatur und relativer Feuchte der Luft im Raum ist in 3.2.1/1 dargestellt.

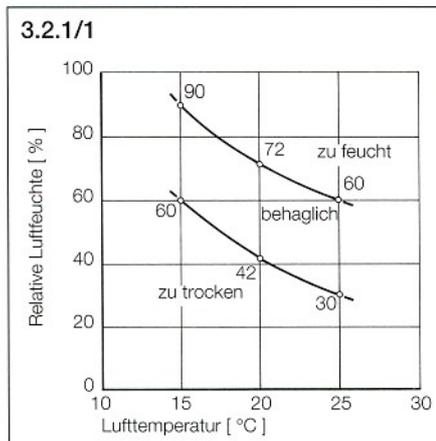
Infolge Abstrahlung der Körperwärme wird die Behaglichkeit ganz wesentlich durch die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen beeinflusst, → 3.2.1/2a; von besonderer Bedeutung ist die Oberflächentemperatur des Fußbodens, weil die entstehenden Wärmeverluste durch Wärmeleitung erhöht werden, → 3.2.1/2b.

Eine weiterer Behaglichkeitsparameter ist die Luftbewegung (Luftgeschwindigkeit), die zu unangenehm empfundener örtlicher Abkühlung des menschlichen Körpers führen kann, → 3.2.1/3.

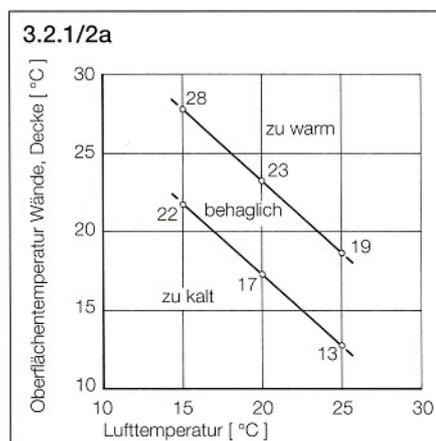
Das für das Wohlbefinden erforderliche Raumklima, insbesondere die Temperatur, muß durch die Außenbauteile des Gebäudes und durch technische Einrichtungen (Heizung, Lüftung) aufrecht erhalten werden; die Außenbauteile haben die Aufgabe, die Klimaschwankungen vom Raum weitestgehend fernzuhalten.

Die unterschiedlichen Temperaturen zwischen innen und außen führen im Winter zu einem Wärmeverlust, der durch Energiezufuhr (Heizen) ausgeglichen werden muß. Um diesen Energieverbrauch, vorrangig aus Gründen des Umweltschutzes, klein zu halten, müssen die Außenbauteile eine gute Wärmedämmfähigkeit besitzen.

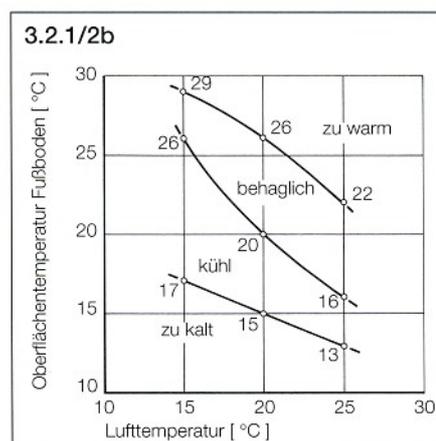
Im Sommer gelangt Wärme im wesentlichen durch die Fenster, aber auch durch die nicht transparenten Außenbauteile in das Gebäudeinnere. Durch Sonnenschutzvorrichtungen vor den Fenstern (Jalousien) und ein gutes Wärmespeichervermögen der nichttransparenten Außenbauteile muß eine allzu große Erwärmung des Raumes vermieden werden.



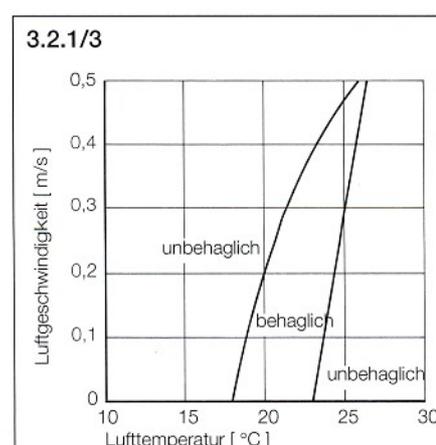
Behaglichkeitsbereich für die Parameter Lufttemperatur im Raum und relative Luftfeuchte im Raum



Behaglichkeitsbereich für die Parameter Lufttemperatur im Raum und Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen



Behaglichkeitsbereich für die Parameter Lufttemperatur im Raum und Oberflächentemperatur des Fußbodens



Behaglichkeitsbereich für die Parameter Lufttemperatur im Raum und Luftgeschwindigkeit im Raum

Wärme und Wärmetransport

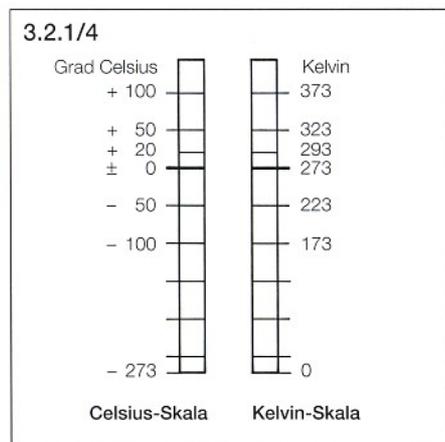
Wärme

Wärme ist eine Energieform, die aus der Eigenbewegung der Atome oder Moleküle in gasförmigen, flüssigen und festen Körpern herrührt. Eine Änderung des Bewegungszustandes der Teilchen ist gleichbedeutend mit der Änderung des Wärmezustandes des Körpers. Die Wärme (Wärmemenge) kann durch Umwandlung einer anderen Energieform (z.B. elektrische Energie) erzeugt werden.

Wärme (Wärmemenge)
 $Q [W \cdot s]$ oder $[J]$

Temperatur

Die Temperatur ist das Maß für den Wärmezustand eines Körpers. Sie ist eine physikalische Basisgröße, für deren zahlenmäßige Beschreibung zwei Temperaturskalen zur Verfügung stehen: die Celsius-Skala und die Kelvin-Skala, → □ 3.2.1/4.



Bei der Celsius-Skala ist der Nullpunkt identisch mit der Temperatur des schmelzenden Eises (Schmelzpunkt), bei der Kelvin-Skala fällt er mit dem absoluten Nullpunkt zusammen. Wenn man Wärme als Bewegungsenergie auffaßt, so ist an diesem absoluten Nullpunkt die Bewegung der Teilchen zur Ruhe gekommen.

Temperatur
 $\vartheta [^{\circ}C]$

Temperaturunterschied
 $\Delta\vartheta [K]$

Temperaturen werden üblicherweise in Grad Celsius, Temperaturunterschiede in Kelvin angegeben.

Wärmetransport

Bei Temperaturunterschieden innerhalb eines Körpers oder zwischen zwei Körpern hat Wärme immer das Bestreben, einen Temperaturengleich herbeizuführen. Die Wärme fließt dabei solange von warm nach kalt bis eine Temperaturengleichheit erreicht ist. Dieser Wärmetransport kann auf unterschiedliche Weise erfolgen; durch Wärmeleitung, Wärmemitführung (Konvektion) und Wärmestrahlung.

Wärmeleitung

Wärmeleitung ist die Übertragung von Bewegungsenergie (Wärme) von einem Molekül zum anderen. Sie ist also an das Vorhandensein von Materie gebunden und vom Gefüge des Stoffes abhängig. Die Wärmeverluste eines Gebäudes werden im wesentlichen durch den Vorgang der Wärmeleitung beeinflusst, → □ 3.2.1/5.

Wärmemitführung (Konvektion)

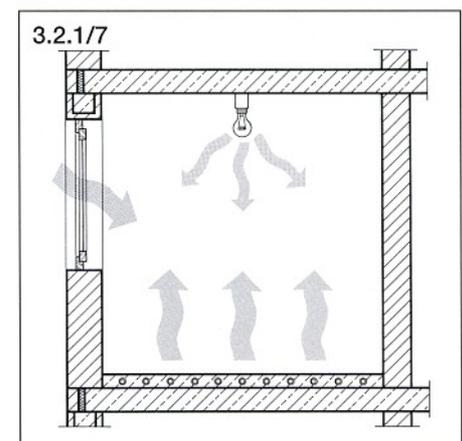
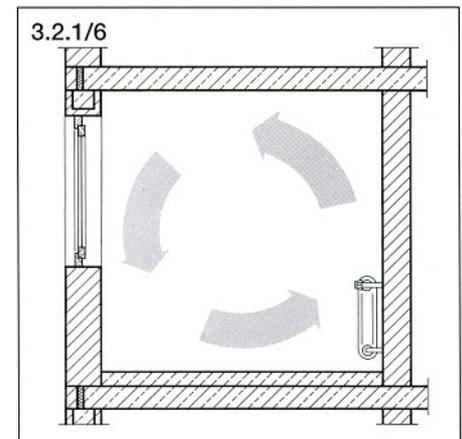
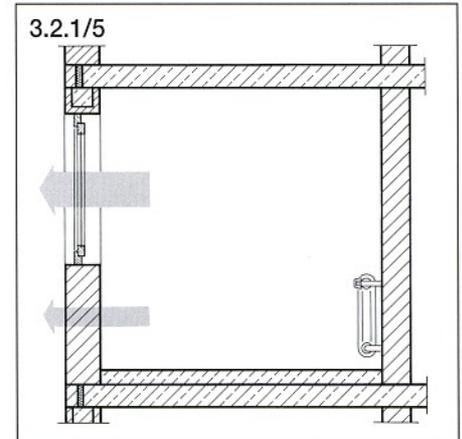
Konvektion ist der Wärmetransport infolge Strömung von Flüssigkeiten oder Gasen. Konvektion kann sich selbst durch ein örtliches Temperaturgefälle einstellen oder durch technische Hilfsmittel (Ventilatoren) erzeugt werden. Die Umwälzung der Luftmassen in einem Raum kommt durch Konvektion zustande, → □ 3.2.1/6.

Wärmestrahlung

Wärmestrahlung ist der Energietransport von einem Körper zu einem anderen, ohne daß sich diese Körper berühren. Beim Auftreffen auf feste Körper wird die Strahlungsenergie teilweise absorbiert, teilweise reflektiert. Dunkle Körper absorbieren viel Energie und erwärmen sich stärker als helle. Wärmestrahlung wird wirksam bei der Erwärmung eines Raumes infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster und interne Energiequellen, → □ 3.2.1/7.

Stationärer/Instationärer Transport

Werden Wärmemengen unter zeitlich konstanten Temperaturbedingungen bewegt, so spricht man von stationärem Wärmetransport. (Diese Bedingungen werden zugrunde gelegt für den Nachweis des winterlichen Wärmeschutzes). Instationärer Wärmetransport liegt vor, wenn Wärmemengen bei sich kurzzeitig ändernden Temperaturen bewegt werden. (Praktische Fälle: schwankende Innen- oder Außentemperaturen und Begehen von Fußböden mit unbedecktem Fuß).



Bauteilkenngrößen

Wärmedurchlaßkoeffizient

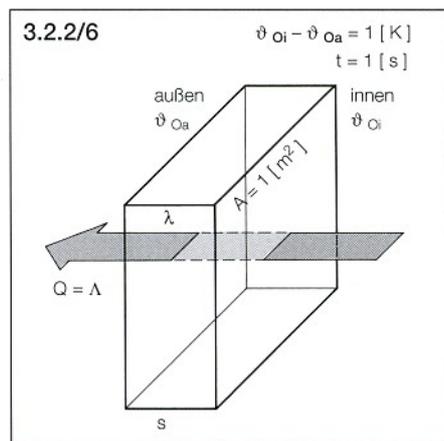
Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt stets den Wärmeabfluß durch eine 1 [m] dicke Baustoffschicht. Zur Beurteilung des Wärmeabflusses durch eine Bauteilschicht ist die Schichtdicke s [m] zu berücksichtigen. Die abfließende Wärmemenge ergibt sich zu

$$Q = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot \Delta\vartheta \cdot t$$

Der Quotient aus Wärmeleitfähigkeit und Schichtdicke wird als Wärmedurchlaßkoeffizient bezeichnet.

Wärmedurchlaßkoeffizient

$$\Lambda = \frac{\lambda}{s} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad \left[\frac{W \cdot s}{m^2 \cdot K \cdot s} \right]$$



Der Wärmedurchlaßkoeffizient gibt die Wärmemenge [W·s] an, die durch eine Bauteilschicht mit der Dicke s [m] bei folgenden Randbedingungen abfließt:
 $A = 1 [m^2]$ $\Delta\vartheta = 1 [K]$ $t = 1 [s]$

Damit läßt sich die abfließende Wärmemenge Q aus einem beheizten Volumen über die dieses Volumen umschließende Fläche (Hüllfläche) bestimmen.

$$Q = \Lambda \cdot A \cdot \Delta\vartheta \cdot t$$

Hierin bedeuten:

- Λ Wärmedurchlaßkoeffizient
- A Fläche (Hüllfläche)
- $\Delta\vartheta$ Temperaturunterschied
- t Zeit

Wärmedurchlaßwiderstand

Bauteilschichten

Zur Beurteilung des Wärmeschutzes von Außenbauteilen bedient man sich weniger des Wärmedurchlaßkoeffizienten, der die abfließende Wärmemenge angibt, als vielmehr des Widerstandes des Bauteiles gegenüber Wärmeabfluß. Dafür ist der Kehrwert des Wärmedurchlaßkoeffizienten geeignet, der Wärmedurchlaßwiderstand.

Wärmedurchlaßwiderstand einschichtige Bauteile

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{s}{\lambda} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Wärmedurchlaßwiderstand mehrschichtige Bauteile

$$\frac{1}{\Lambda} = \sum \frac{s_n}{\lambda_n} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Beispiele:

20 cm Normalbeton

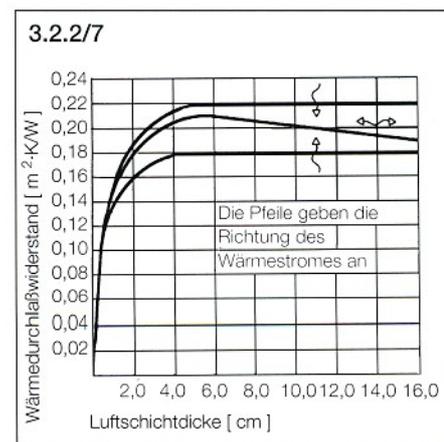
$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{s}{\lambda} = \frac{0,20}{2,10} = 0,095 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

6 cm Styropor-Hartschaum

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{s}{\lambda} = \frac{0,06}{0,040} = 1,5 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Luftschichten

Die Dämmwirkung von eingeschlossenen Luftschichten kann nicht alleine mit der Wärmeleitfähigkeit und der Luftschichtdicke ermittelt werden, da neben Wärmeleitung auch Konvektion eine Rolle spielt. Die Abhängigkeit zwischen Wärmedurchlaßwiderstand und Luftschichtdicke zeigt **3.2.2/7**.

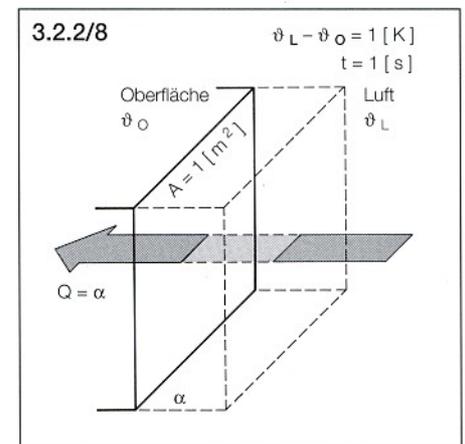


Wärmeübergangskoeffizient

Bevor der Wärmestrom von der Innenluft auf das Bauteil und danach vom Bauteil in die Außenluft übergeht, muß er die angrenzenden Luftschichten durchdringen. Der Wärmeaustausch, der dabei im wesentlichen durch Konvektion und Strahlung stattfindet, wird als Wärmeübergang bezeichnet und durch den Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben.

Wärmeübergangskoeffizient

$$\alpha \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad \left[\frac{W \cdot s}{m^2 \cdot K \cdot s} \right]$$



Der Wärmeübergangskoeffizient gibt die Wärmemenge [W·s] an, die über die an das Bauteil angrenzende Luftschicht bei folgenden Randbedingungen übertragen wird:

$$A = 1 [m^2] \quad \Delta\vartheta = 1 [K] \quad t = 1 [s]$$

Für die Wärmeübergangskoeffizienten der an der Innen- und Außenseite des Bauteils angrenzenden Luftschichten werden folgende Zeichen gewählt:

- α_i für innere Luftschicht
- α_a für äußere Luftschicht

Wärmeübergangswiderstand

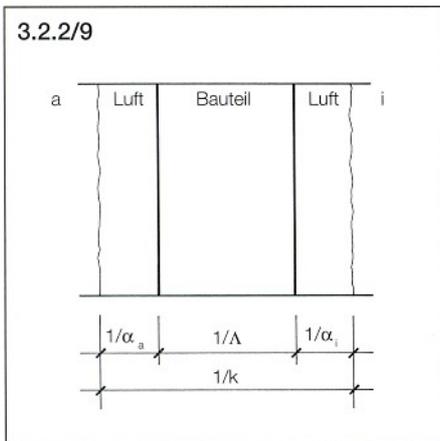
Der Wärmeübergangswiderstand ist der Kehrwert des Wärmeübergangskoeffizienten. Er stellt den Widerstand der angrenzenden Luftschicht beim Wärmeabfluß dar.

Für Berechnungen des baulichen Wärmeschutzes sind Rechenwerte der Wärmeübergangswiderstände für die an Bauteile angrenzenden Luftschichten in DIN 4108, Teil 4, angegeben.

Bauteilkenngrößen (Fortsetzung)

Wärmedurchgangswiderstand

Mit dem Begriff Wärmedurchgang durch ein Bauteil wird die Wärmeleitung in diesem und der Wärmeübergang in den angrenzenden Luftschichten zusammengefaßt. Demnach ergibt sich der Wärmedurchgangswiderstand aus der Summe von Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmeübergangswiderständen innen und außen, → □ 3.2.2/9.



Wärmedurchgangswiderstand

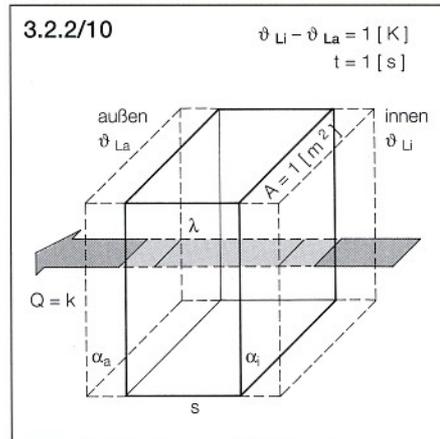
$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Wärmedurchgangskoeffizient

Den Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes bezeichnet man als Wärmedurchgangskoeffizient.

Wärmedurchgangskoeffizient

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$



Der Wärmedurchgangskoeffizient gibt die Wärmemenge [W · s] an, die durch ein Bauteil unter Berücksichtigung der angrenzenden Luftschichten bei folgenden Randbedingungen abfließt:

$$A = 1 \text{ [m}^2\text{]} \quad \Delta\vartheta = 1 \text{ [K]} \quad t = 1 \text{ [s]}$$

Damit läßt sich die abfließende Wärmemenge Q aus einem beheizten Volumen über die dieses Volumen umschließende Fläche (Hüllfläche) unter Berücksichtigung der angrenzenden Luftschichten bestimmen:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta \cdot t$$

Hierin bedeuten:

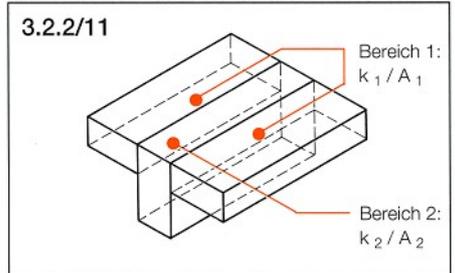
k Wärmedurchgangskoeffizient

A Fläche (Hüllfläche)

Δϑ Temperaturunterschied

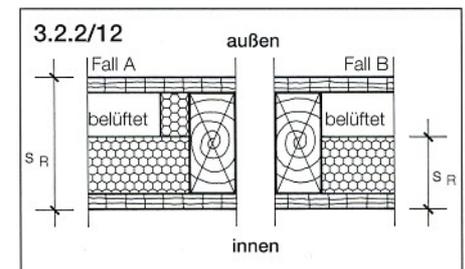
t Zeit

Der **mittlere Wärmedurchgangskoeffizient** k_m für ein Bauteil aus nebeneinanderliegenden Bereichen mit verschiedenen Wärmedurchgangskoeffizienten k_n , wird mit Rücksicht auf ihre Flächenanteile A_n an der Gesamtfläche $A = \sum A_n$ berechnet, → □ 3.2.2/11.

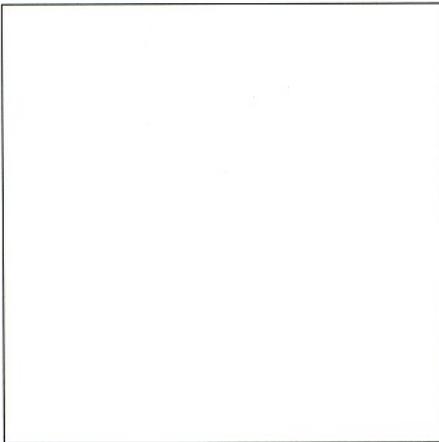


$$k_m = \frac{k_1 \cdot A_1 + k_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} \dots \dots \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Bei hinterlüfteten Konstruktionen sind die in □ 3.2.2/12 angegebenen Bauteildicken s_R im Rippenbereich anzusetzen.



Tabellarische Ermittlung von Wärmedurchlaßwiderstand, Wärmedurchgangskoeffizient und Flächenmasse



Bereich	Schicht n		$s_n [m]$	$\lambda_n \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$	$1/\lambda_n$	$\rho_n \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	$\rho_n \cdot s_n$	$1/\lambda_n \cdot 1/\alpha$
1	a	i	$\alpha =$					
		i	a	$\alpha =$				
	Σ			vorh $1/\lambda =$		vorh $m' =$		
							vorh $k =$	
2	a	i	$\alpha =$					
		i	a	$\alpha =$				
	Σ			vorh $1/\lambda =$		vorh $m' =$		
							vorh $k =$	

Anforderungen

Allgemeines

Für ein Bauwerk hat die Gebäudehülle eine Reihe von Aufgaben zu übernehmen. Dabei kommt dem winterlichen Wärmeschutz eine besondere Bedeutung zu. Die Außenbauteile müssen so ausgebildet werden, daß der Wärmeabfluß in vertretbaren Grenzen bleibt. Konstruktive Anhaltspunkte hierfür liefert die DIN 4108 und die WSV (Wärmeschutzverordnung). Die angegebenen Zahlenwerte sind baukonstruktive Mindestanforderungen und Festlegungen mit Rücksicht auf die notwendige Energieeinsparung.

Im folgenden werden die Aussagen der DIN 4108 und der WSVO zusammenfassend und Zahlenwerte auszugsweise - mit Rücksicht auf die Zahlenbeispiele in diesen ARBEITSBLÄTTERN - wiedergegeben. Dabei werden Gebäude mit normalen Innentemperaturen (≥ 19 °C) zugrunde gelegt.

Verfahren

Die WSVO bietet für den Nachweis des winterlichen Wärmeschutzes zwei Verfahren an:

Verfahren 1: Gebäudeverfahren

Verfahren 2: Bauteilverfahren

In Verbindung mit DIN 4108 ergeben sich folgende Einzelnachweise:

3.2.3/1	
Verfahren 1: Gebäudeverfahren	
1. Alle nichttransparenten Bauteile	$\text{vorh } \frac{1}{\Lambda} \geq \min \frac{1}{\Lambda}$
2. Fenster und Fenstertüren	$\text{vorh } k_F \leq \max k_F$
3. Außenwände einschl. Fensterbauteile bei Reihenhäusern mit 2 Trennwänden	$\text{vorh } k_{m(W+F)} \leq \max k_{m(W+F)}$
4. Gebäude	$\text{vorh } k_m \leq \max k_m$
Verfahren 2: Bauteilverfahren	
1. Alle nichttransparenten Bauteile	$\text{vorh } k \leq \max k$
2. Fenster und Fenstertüren	$\text{vorh } k_F \leq \max k_F$
3. Außenwände einschl. Fensterbauteile	$\text{vorh } k_{m(W+F)} \leq \max k_{m(W+F)}$

Grenzwerte für das Gebäudeverfahren

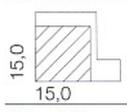
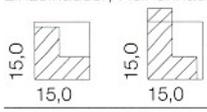
3.2.3/2		
Minimale Wärmedurchlaßwiderstände für Bauteile		
Bauteil	$\min \frac{1}{\Lambda} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$	Kennzeichnung
Außenwände (Wände gegen Außenluft)	0,55	W
Wände gegen unbeheizte Räume	0,25	AB
Wände gegen Erdreich	0,55	G
Decken gegen Erdreich	0,90	G
Decken gegen Außenluft von unten	1,75	DL
Decken gegen Außenluft von oben, Dächer	1,10	D

3.2.3/3			
Minimale Wärmedurchlaßwiderstände für leichte Außenbauteile			
Bauteil	$\text{m}^3 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$	$\min \frac{1}{\Lambda} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$	Kennzeichnung
Außenwände (Wände gegen Außenluft) und Dächer	0	1,75	W bzw. D
	50	1,10	
	150	0,65	
	300	0,55	

3.2.3/4			
Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten			
Bauteil bzw. Gebäude		$\max k \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$	Kennzeichnung
Fenster und Fenstertüren		3,10	F
Außenwände einschl. Fensterbauteile bei Reihenhäusern mit 2 Trennwänden		$\max k_{m(W+F)}$	
		1,60	
Gebäude	$\frac{A}{V} \left[\frac{1}{\text{m}} \right]$	km	
	$\leq 0,22$	1,20	
	0,50	0,78	
	0,80	0,66	
	$\geq 1,10$	0,60	

Grenzwerte für das Bauteilverfahren

3.2.3/5		
Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten		
Bauteil	$\max k \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$	Kennzeichnung
Außenwände <u>ohne</u> Hinterlüftung	1,39	W
	mit Hinterlüftung	
Wände gegen unbeheizte Räume	0,55	AB
Wand gegen Erdreich	0,55	G
Decken gegen Erdreich	0,55	G
Decken gegen Außenluft von unten	0,30	DL
Decken gegen Außenluft von oben, Dächer	0,30	D
Fenster und Fenstertüren	3,10	F
Außenwände einschließlich Fensterbauteile	$\max k_{m(W+F)}$	
Einzelhäuser, Reihenhäuser mit 1 Trennwand	1,20	
Einzelhäuser, Reihenhäuser mit 1 Trennwand	1,50	
Reihenhäuser mit 2 Trennwänden	1,50	



Berechnung

Berechnungsformeln

Wärmedurchlaßwiderstand für Bauteile

$$\text{vorh } \frac{1}{\Lambda} = \sum \frac{s_n}{\lambda_n} = \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots$$

Wärmedurchgangskoeffizient für Bauteile

$$\text{vorh } k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

Wärmedurchgangskoeffizient für Fenster

vorh k_F siehe Daten, Prospekte

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände einschl. Fensterbauteile

$$\text{vorh } k_{m(W+F)} = \frac{k_F \cdot A_F + k_W \cdot A_W}{A_F + A_W}$$

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für das Gebäude

$$\text{vorh } k_m = \frac{k_F \cdot A_F + k_W \cdot A_W + 0,8 \cdot k_D \cdot A_D + 0,5 \cdot k_G \cdot A_G + k_{DL} \cdot A_{DL} + 0,5 \cdot k_{AB} \cdot A_{AB}}{A_F + A_W + A_D + A_G + A_{DL} + A_{AB}}$$

Die Indizes bedeuten:

- F = Fensterbauteile
- W = Wandbauteile (gegen Außenluft)
- D = Dachbauteile
- G = Grundbauteile
- DL = Decke gegen Außenluft von unten
- AB = Abgrenzende Bauteile

Quotient A/V

$$\frac{A}{V} = \frac{\text{wärmeübertragende Umfassungsfläche}}{\text{beheiztes Volumen}}$$

Der Berechnung sind zugrunde zu legen:
 Außenmaße
 Stockwerkshöhen
 Lichte Rohbaumaße bei Fensterbauteilen

Daten

3.2.3/6		
Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte für Baustoffe		
Baustoff	$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	$\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$
Lochziegel (DIN 105)	1200	0,50
	1400	0,58
Kalksandsteine (DIN 106)	1200	0,56
	1400	0,70
Gipskartonplatten (DIN 18180)	900	0,21
Normalbeton (DIN 1045)	2400	2,10
Kalkzementputz	1800	0,87
Kalkgipsputz	1400	0,70
Anhydritestrich	2100	1,20
Zementestrich	2000	1,40
Stahl	7850	60
Flachglas	2500	0,80
Nadelholz (Fichte, Kiefer, Tanne)	600	0,13
Spanplatten (Flachpreßplatten)	700	0,13
Dachdichtungsbahnen	1200	0,17
Styropor-Hartschaum	30	0,040

3.2.3/7			
Wärmedurchlaßwiderstände von Luftschichten			
Kennzeichnung der Luftschicht			$\frac{1}{\Lambda} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$
Lage	Wärmestrom	Dicke s [cm]	
waagrecht	von oben nach unten	1,0 ≤ s ≤ 5,0	0,17
		2,0 < s ≤ 5,0	0,17
senkrecht		1,0 ≤ s ≤ 2,0	0,14
waagrecht	von unten nach oben	1,0 ≤ s ≤ 5,0	0,17

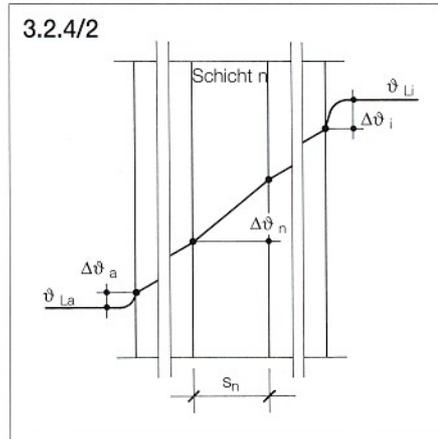
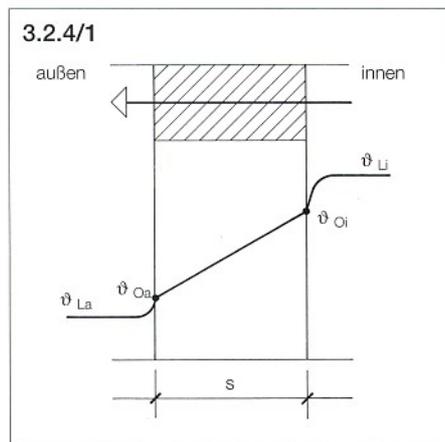
3.2.3/8				
Wärmeübergangskoeffizienten und Wärmeübergangswiderstände				
Bauteil	$\alpha_i \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$	$\frac{1}{\alpha_i} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$	$\alpha_a \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$	$\frac{1}{\alpha_a} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$
Außenwände ohne Hinterlüftung	8	0,13	23	0,04
			mit Hinterlüftung	12
Wände gegen unbeheizte Räume	8	0,13	8	0,13
Wände gegen Erdreich	8	0,13	∞	0
Decken gegen Erdreich	6	0,17	∞	0
Decken gegen Außenluft von unten	6	0,17	23	0,04
Decken gegen Außenluft von oben, Dächer	8	0,13	23	0,04

3.2.3/9				
Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster und Fenstertüren				
Normalglas in Rahmen aus Holz und Kunststoff				
Verglasung	Beschreibung	$k_v \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$	$k_F \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$	
			Rahmenanteil	
			≤ 5%	> 5%
Einfachverglasung		5,8	5,8	5,2
Isolierverglasung mit 2 Scheiben	Luftschicht	8 < s ≤ 10	3,2	2,8
			10 < s ≤ 16	3,0

Temperaturverlauf und seine Bedeutung

Aufgrund unterschiedlicher Lufttemperaturen im Raum und im Außenbereich fließt durch das trennende Bauteil eine konstant bleibende Wärmemenge, wenn die Temperaturen an jedem Punkt zeitlich unverändert bleiben. Zu diesem stationären Wärmetransport stellen sich am und im Bauteil ganz bestimmte Temperaturen ein, die einen Temperaturverlauf im Bauteil ergeben,
 → □ 3.2.4/1.

Berechnung des Temperaturverlaufs



Die Kenntnis des Temperaturverlaufes ist für folgende bauphysikalische Untersuchungen von Bedeutung:

- Temperatur an der Innenoberfläche des Bauteils
- Tauwasserbildung auf der Innenoberfläche oder im Innern des Bauteils
- Temperaturschwankungen im Bauteil bzw. in einzelnen Bauteilschichten.

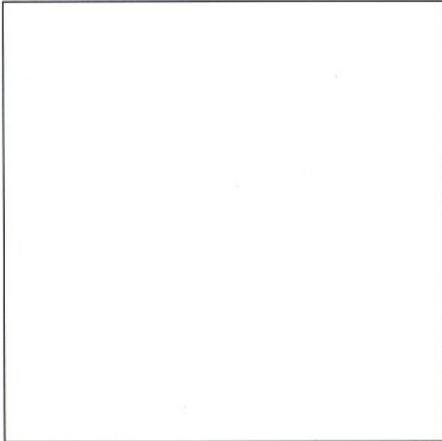
- Der Temperaturverlauf ist abhängig von:
1. Lufttemperaturen beidseits des Bauteils
 2. Wärmeleitfähigkeit und Dicke der Baustoffschichten
 3. Wärmeübergangskoeffizienten der angrenzenden Luftschichten.

Aus der Bedingung, daß durch jede Schicht die gleiche Wärmemenge fließen muß, lassen sich die Temperaturdifferenzen in den einzelnen Schichten und damit der Temperaturverlauf ermitteln. Der Rechengang ist mit □ 3.2.4/2 in □ 3.2.4/3 dargestellt.

3.2.4/3

Dicken	s_n [m]
Wärmeleitfähigkeiten	$\lambda_n \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
Wärmedurchlaßwiderstände	$\frac{1}{\Lambda_n} = \frac{s_n}{\lambda_n}$
Wärmedurchlaßwiderstand	$\frac{1}{\Lambda} = \sum \frac{1}{\Lambda_n} = \sum \frac{s_n}{\lambda_n}$
Wärmeübergangswiderstände	$\frac{1}{\alpha_i} ; \frac{1}{\alpha_a}$
Wärmedurchgangskoeffizient	$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i}}$
Temperaturdifferenzen	
innen	$\Delta\vartheta_i = k \cdot \frac{1}{\alpha_i} (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La})$
im Bauteil	$\Delta\vartheta_n = k \cdot \frac{1}{\Lambda_n} (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La})$
außen	$\Delta\vartheta_a = k \cdot \frac{1}{\alpha_a} (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La})$

Tabellarische Ermittlung des Temperaturverlaufs



				Winter		Sommer	
Schicht n	$s_n [m]$	$\lambda_n \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$	$1/\Lambda_n \quad 1/\alpha$	$\Delta \vartheta_n$	$\vartheta [^{\circ}C]$	$\Delta \vartheta_n$	$\vartheta [^{\circ}C]$
a	i	$\alpha =$					
i	a	$\alpha =$					
Σ	$1/k =$						
	$k =$			(Kontrolle)		(Kontrolle)	

Kenngrößen, Wärmespeicherung

Instationäre Wärmebewegungen werden durch zeitlich schwankende Temperaturen beidseits eines Bauteiles oder beim kurzzeitigen Kontakt zweier Körper mit unterschiedlichen Temperaturen hervorgerufen. Von instationären Verhältnissen, d.h. von zeitlich nicht konstanten Temperaturen, ist bei der Beurteilung folgender Probleme auszugehen:

- Schwankende Innentemperaturen durch periodisches Heizen im Winter
- Schwankende Außentemperaturen durch wechselnde Sonneneinstrahlung im Sommer
- Begehen von Fußböden mit unbedecktem Fuß.

Diese Vorgänge werden im wesentlichen durch die Wärmespeicherung der Baustoffe bzw. der Bauteile beeinflusst und mit folgenden Größen bei der rechnerischen Behandlung der einzelnen Fragestellungen berücksichtigt.

Baustoffkenngrößen

Wärmespeicherfähigkeit

$$S = c \cdot \rho \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right]$$

Wärmeeindringkoeffizient

$$b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot s} \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{0,5}} \right]$$

Bauteilkenngrößen

Wärmespeichervermögen

$$W = c \cdot \rho \cdot s \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Wärmedurchlaßkoeffizient

$$\Lambda = \frac{\lambda}{s} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \text{ oder } \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}} \right]$$

Zur Orientierung sind Zahlenwerte für die Wärmespeicherfähigkeit und den Wärmeeindringkoeffizienten einiger (Bau-) Stoffe in **3.2.5/1** angegeben.

3.2.5/1

(Bau-) Stoff	c $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	$\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	S $\left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right]$	b $\left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{0,5}} \right]$
Stahl	400	7800	60	$310 \cdot 10^4$	13680
Beton	1000	2500	2	$250 \cdot 10^4$	2235
Glas	800	2500	0,8	$200 \cdot 10^4$	1265
Mauersteine	2100	1000	0,5	$210 \cdot 10^4$	1025
Holz	2100	600	0,2	$125 \cdot 10^4$	500
Styropor-Hartplatten	1500	30	0,04	$5 \cdot 10^4$	40
Wasser	4200	1000	0,6	$420 \cdot 10^4$	1590
Luft	1000	1	(0,02)	$0,1 \cdot 10^4$	(4)

Wird bei winterlichen Verhältnissen ein Raum mit Außenlufttemperatur ϑ_{La} auf übliche Innentemperatur ϑ_{Li} aufgeheizt bis sich ein stationärer Wärmezustand einstellt, dann sind in den Außenbauteilen mit unterschiedlichem Wärmespeichervermögen unterschiedliche Wärmemengen gespeichert.

Die **gespeicherte Wärmemenge** in einer Schicht ergibt sich mit den Bezeichnungen aus **3.2.5/2** zu

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot s \cdot (\vartheta_M - \vartheta_{La}) \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right]$$

oder

$$Q_s = S \cdot s \cdot (\vartheta_M - \vartheta_{La}) \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right]$$

oder

$$Q_s = W \cdot (\vartheta_M - \vartheta_{La}) \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right]$$

Danach wird in einer Ziegelwand eine größere Wärmemenge gespeichert sein als in einem - im wesentlichen aus Wärmedämmmaterial bestehenden - geneigten Dach.

Wird die Ziegelwand einmal mit einer außenliegenden und einmal mit einer innenliegenden Wärmedämmung versehen, so ist die gespeicherte Wärmemenge bei innenliegender Wärmedämmung geringer. Bei gleicher Flächenmasse kann also in einem mehrschichtigen Bauteil die gespeicherte Wärmemenge sehr verschieden sein.

3.2.5/2

