

WDVS

Wärmeschutz

Begriffe und Maßeinheiten für den Wärmeschutz, „Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit“ für ausgewählte Baustoffe

Gebäude werden mehrere Monate im Jahr beheizt, um ein für die Menschen thermisch-behagliches Raumklima herzustellen. Die Außenwände müssen eine dieser Forderung entsprechende Schutzfunktion übernehmen und erfüllen.

Die hierzu erforderlichen wärmeschutztechnischen Maßnahmen richten sich jedoch nicht allein nach Erwartungen im Hinblick auf das Raumklima, sondern tragen auch zur Einsparung von fossilen Brennstoffen sowie der Reduzierung von klimaschäd-

lichen Emissionen, wie CO₂, bei. Das folgende Kapitel erklärt die notwendigen bauphysikalischen Grundlagen zum Verständnis der Wärmeschutz-Funktion der Brillux WDV-Systeme.

Relevante Begriffe und Maßeinheiten für den Wärmeschutz

Bedeutung	Formelzeichen	Einheiten
Temperatur	θ	°C, K
Temperaturdifferenz	$\Delta \theta$	K
Wärmemenge	Q	J; kWh
Wärmestrom	Φ	W
Wärmestromdichte	q	W/m ²
Wärmeleitfähigkeit (Bemessungswert)	λ	W/(m · K)
Wärmedurchlasskoeffizient	Λ	W/(m ² · K)
Wärmedurchlasswiderstand	R	m ² · K/W
Wärmeübergangskoeffizient	H	W/(m ² · K)
Wärmeübergangswiderstand innen	R _{si}	m ² · K/W
Wärmeübergangswiderstand außen	R _{se}	m ² · K/W
Wärmedurchgangskoeffizient	U	W/(m ² · K)
Wärmedurchgangswiderstand	R _T	m ² · K/W

Temperatur θ (Theta)

Allgemeines

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. 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. Wird Wärme als Bewegungsenergie aufgefasst, so ist am absoluten Nullpunkt die Bewegung der Teilchen zur Ruhe gekommen.

Maßeinheit

Temperatur: °C, K
Temperaturdifferenz: K

Wärme/Wärmemenge Q

Allgemeines

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.

Maßeinheit

J oder kWh

Wärmetransport

Es gibt drei Transportmechanismen, mit denen Wärme übertragen wird.

Strahlung

Wärmeaustausch zwischen zwei Körpern, die sich nicht berühren, durch elektro-magnetische Wellen.

Konvektion

Wärmeaustausch durch Strömung (Wind, Lüften) von Fluiden (Gase und Flüssigkeiten)

Transmission

Wärmeaustausch durch Wärmeleitung innerhalb von Stoffen. Dabei wird die Wärme von Molekül zu Molekül übertragen. Dies ist der maßgebliche Wärmetransportmechanismus durch Außenwände.

Wärmeleitfähigkeit λ (Klein Lambda)

Allgemeines

Unterschiedliche Temperaturen beidseits eines Baustoffes führen zu einem Wärmeabfluss, der durch die Wärmeleitung des Baustoffes beeinflusst wird. Es gibt Baustoffe, die Wärme gut leiten (z. B. Metalle) und Baustoffe mit geringer Wärmeleitung (z. B. EPS-Hartschaum). Dieses unterschiedliche Verhalten wird durch die Wärmeleitfähigkeit beschrieben.

Die Wärmeleitfähigkeit ist abhängig von

- der Art des Stoffes
- der Rohdichte des Stoffes
- der Art, Größe und Verteilung
- der Poren im Stoff
- der Dauerfeuchtigkeit und der mittleren Temperatur des Stoffes

Es ist darauf zu achten, dass bei Verwendung des Begriffes λ^d der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit gemäß DIN 4108-4, der etwas höher als der im Labor gemessene ist, eingesetzt wird. Nur der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ^d ist, nach DIN EN ISO6946, zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten zu verwenden.

Definition

Die Wärmeleitfähigkeit gibt die Wärmemenge an, die in einer Sekunde durch eine 1 m² große und 1 m dicke Schicht eines Stoffes hindurchgeleitet wird, wenn der Temperaturunterschied der beiden Oberflächen 1 K beträgt und durch die restlichen 4 Flächen kein Wärmeaustausch stattfindet.

Maßeinheit

W/(m · K)

Wärmedurchlasskoeffizient Λ (Groß Lambda)

Allgemeines

Der Wärmedurchlasskoeffizient wird normalerweise nicht als Beurteilungskriterium verwendet, sondern dessen Kehrwert: der Wärmedurchlasswiderstand R.

Definition

Der Wärmedurchlasskoeffizient gibt die Wärmemenge an, die in einer Sekunde durch eine 1 m² große Fläche eines Baustoffes von bestimmter Dicke d hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden Oberflächen 1 K beträgt (Wärmefluss senkrecht zur Oberfläche).

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d}$$

Maßeinheit

W/(m² · K)

Wärmedurchlasswiderstand R

Allgemeines

Das wesentliche Merkmal beim baulichen Wärmeschutz ist das Wärmedämmvermögen der Bauteile. Zur Beurteilung des Wärmedämmvermögens wird der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils gegenüber dem Wärmeabfluss herangezogen. Zur Ermittlung werden die Wärmeleitfähigkeit und die Schichtdicke jeder Bauteilschicht benötigt. Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen sind in der DIN 4108-2, Tabelle 3 verankert. Darin sind Mindestwerte der jeweiligen Wärmedurchlasswiderstände beschrieben (z. B. Außenwand $R \leq 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).

Definition

Der Wärmedurchlasswiderstand ist das Maß für den Widerstand eines Bauteils gegen das Durchströmen von Wärme und hängt von der Dicke und dem λ -Wert jeder einzelnen Bauteilschicht ab. Bei einem Bauteil mit n Schichten berechnet er sich wie folgt:

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{\Lambda_1} + \frac{1}{\Lambda_2} + \frac{1}{\Lambda_3} + \dots + \frac{1}{\Lambda_n} \\ &= \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \\ &= R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \end{aligned}$$

Maßeinheit

m² · K/W

Wärmeübergangskoeffizient h

Allgemeines

Der Wärmetransport innerhalb eines Bauteils findet überwiegend in Form von Transmission statt. Dieser Transportvorgang ist in Luft bzw. Raum- und Außenluft bedeutungslos. Der Wärmeaustausch zwischen Raumluft und Bauteil, danach zwischen Bauteil und Außenluft wird überwiegend durch Konvektion und Strahlung beeinflusst. Dieser Austausch wird mit dem Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben.

Definition

Der Wärmeübergangskoeffizient gibt die Wärmemenge an, die in einer Sekunde zwischen einer 1 m² großen Oberfläche und der angrenzenden Luft bei Dauerbeheizung ausgetauscht wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Luft 1 K beträgt.

Maßeinheit

W/(m² · K)

Wärmeübergangswiderstand R_{si} und R_{se}

Allgemeines

Der Wärmeübergangswiderstand stellt den Widerstand der angrenzenden Luftschicht beim Wärmeabfluss dar und ist der Kehrwert des Wärmeübergangskoeffizienten. Für Berechnungen des baulichen Wärmeschutzes sind Rechenwerte der Wärmeübergangswiderstände für die an Bauteile angrenzenden Luftschichten im Innen- sowie Außenbereich in der DIN EN ISO 6946, Tabelle 1 in Abhängigkeit der Richtung des Wärmestroms angegeben. Bei horizontalem Wärmestrom (z. B. Außenwand) werden für Wärmeschutznachweise folgende Werte verwendet:

Definition

Der Wärmeübergangswiderstand ist der Widerstand, den die Wärme bei Übergang zwischen Luft und Bauteil erfährt.

Maßeinheit

$m^2 \cdot K/W$

Wärmeübergangswiderstand, in $m^2 \cdot K / W$

	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si} (innen)	0,10	0,13	0,17
R_{se} (außen)	0,40	0,04	0,04

Wärmedurchgangswiderstand R_T

Allgemeines

Der Wärmedurchgangswiderstand ist die Summe des Wärmedurchlasswiderstands und der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} .

Definition

Der Wärmedurchgangswiderstand gibt den Widerstand an, den das Bauteil der abfließenden Wärme entgegenhält, wenn hierbei das Temperaturgefälle zwischen der Raumluft und der Außenluft zur Oberfläche berücksichtigt wurde.

Er wird nach DIN EN ISO 6946 wie folgt ermittelt:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

Maßeinheit

$m^2 \cdot K/W$

Wärmedurchgangskoeffizient U

Allgemeines

Der U-Wert bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient ist die gängigste Größe, die den Wärmeschutz eines Bauteils angibt. Er berechnet sich aus dem Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands R_T .

Definition

Der U-Wert oder der Wärmedurchgangskoeffizient gibt die Wärmemenge an, die in einer Sekunde durch $1 m^2$ eines Bauteils bestimmter Dicke bei Dauerbeheizung hindurch- oder verloren geht, wenn der Temperaturunterschied zwischen der beiderseits angrenzenden Luft $1 K$ beträgt.

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Maßeinheit

$W/(m^2 \cdot K)$

Wärmestromdichte q

Allgemeines

Um Temperaturverläufe in einem Bauteil oder auf der Bauteiloberfläche bei einem bestimmten Temperaturzustand berechnen zu können, benötigt man die Wärmestromdichte.

Definition

Die Wärmestromdichte q gibt an, welcher Wärmestrom in Watt pro m^2 Außenbauteilfläche bei einer bestimmten Temperaturdifferenz in Kelvin zwischen Innen- und Außenluft verloren geht.

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_a)$$

Maßeinheit

W/m^2

Oberflächentemperatur

Die Oberflächentemperatur der Außenwand im Inneren für einen bestimmten Temperaturzustand ermittelt sich wie folgt:

$$\theta_{oi} = \theta_i - q \cdot R_{si}$$

Maßeinheit

°C

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.

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

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

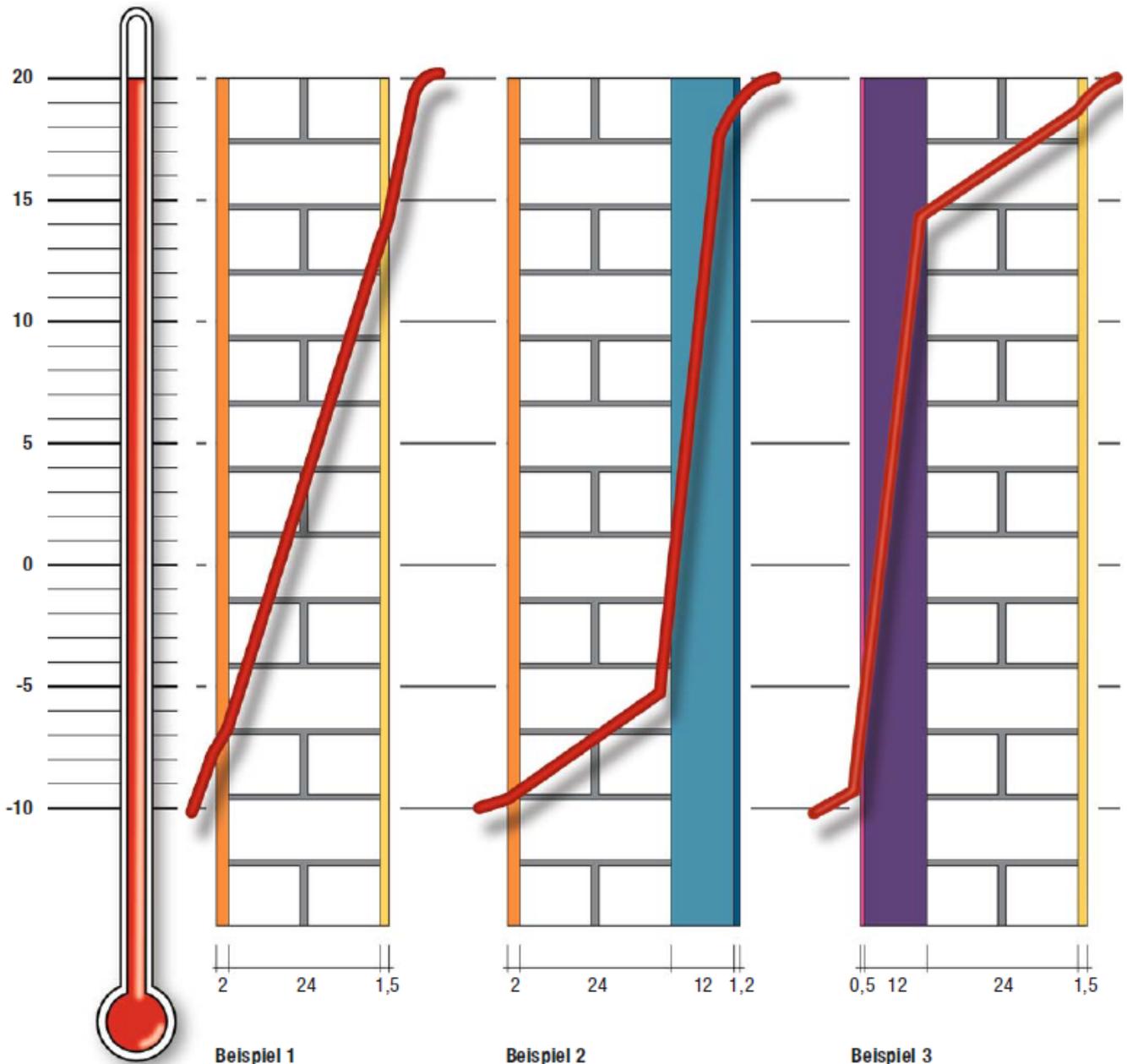
Der Temperaturverlauf ist abhängig von:

1. Lufttemperaturen beidseits des Bauteils
2. Wärmeleitfähigkeit und Dicke der Baustoffschichten
3. Wärmeübergangskoeffizienten der angrenzenden Luftschichten

Die Abhängigkeit der inneren Wandoberflächentemperatur zum U-Wert der Wand ist aus nachfolgender Tabelle zu entnehmen. Für die Berechnungen wurden +20 °C Raumlufttemperatur und -10 °C Außenlufttemperatur zugrunde gelegt. Aus der Bedingung, dass durch jede Schicht derselbe Wärmestrom fließt, lassen sich die Temperaturdifferenzen in den einzelnen Schichten und damit der Temperaturverlauf ermitteln.

Temperaturverlauf in der Außenwand

Schicht Nr.	Wandaufbau	d m	λ W/(m ² · K)	$R_{si}/R_n/R_{sa}$ m ² · K/W	$\Lambda\theta$ K	°C
Beispiel 1 ohne zusätzliche Dämmung						
1	Luftgrenzschicht, innen			0,130	4,36	20,00
2	Innenputz, Kalkgipsputz	0,015	0,70	0,021	0,91	14,36
3	Mauerwerk, Lochziegel	0,24	0,50	0,48	20,84	13,45
4	Außenputz, Kalkzementmörtel	0,02	1,0	0,02	0,87	-7,39
5	Luftgrenzschicht, außen			0,04	1,74	-8,26
						-10,00
Beispiel 2 Wärmedämmung innen						
1	Luftgrenzschicht, innen			0,130	0,94	20,00
2	Gipskartonplatte	0,012	0,25	0,048	0,35	19,06
3	EPS-Hartschaum	0,12	0,035	3,429	24,89	18,71
4	Mauerwerk, Lochziegel	0,24	0,5	0,48	3,48	-6,18
5	Außenputz	0,02	1,0	0,02	0,05	-9,66
6	Luftgrenzschicht, außen			0,040	0,29	-9,71
						-10,00
Beispiel 3 mit Brillux Wärmedämm-Verbundsystem						
1	Luftgrenzschicht, innen			0,130	0,95	20,00
2	Innenputz (Kalkgipsputz)	0,015	0,70	0,021	0,15	19,05
3	Mauerwerk, Lochziegel	0,24	0,50	0,48	3,50	18,90
4	Brillux Dämmplatte	0,12	0,035	3,429	25,00	15,40
5	Beschichtungsmörtel und Putzbeschichtung	0,005	0,25	0,02	0,11	-9,60
6	Luftgrenzschicht, außen			0,040	0,29	-9,71
						-10,00

Beispiele zum Temperaturverlauf

Beispiel 1

Temperaturverlauf ohne zusätzliche Dämmung:

Wärmedurchgangswiderstand
 $R_T = 0,63 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient
 $U = 1,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Beispiel 2

Temperaturverlauf mit Wärmedämmung innen:

Wärmedurchgangswiderstand
 $R_T = 4,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient
 $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Beispiel 1

Temperaturverlauf beim Brillux Wärmedämm-Verbundsystem:

Wärmedurchgangswiderstand
 $R_T = 4,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient
 $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

■ Innenputz
 ■ Gipskartonplatte

□ Mauerwerk
 ■ Außenputz

■ EPS-Hartschaum
 ■ Brillux Dämmplatte

■ Armierungsschicht und Putzbeschichtung

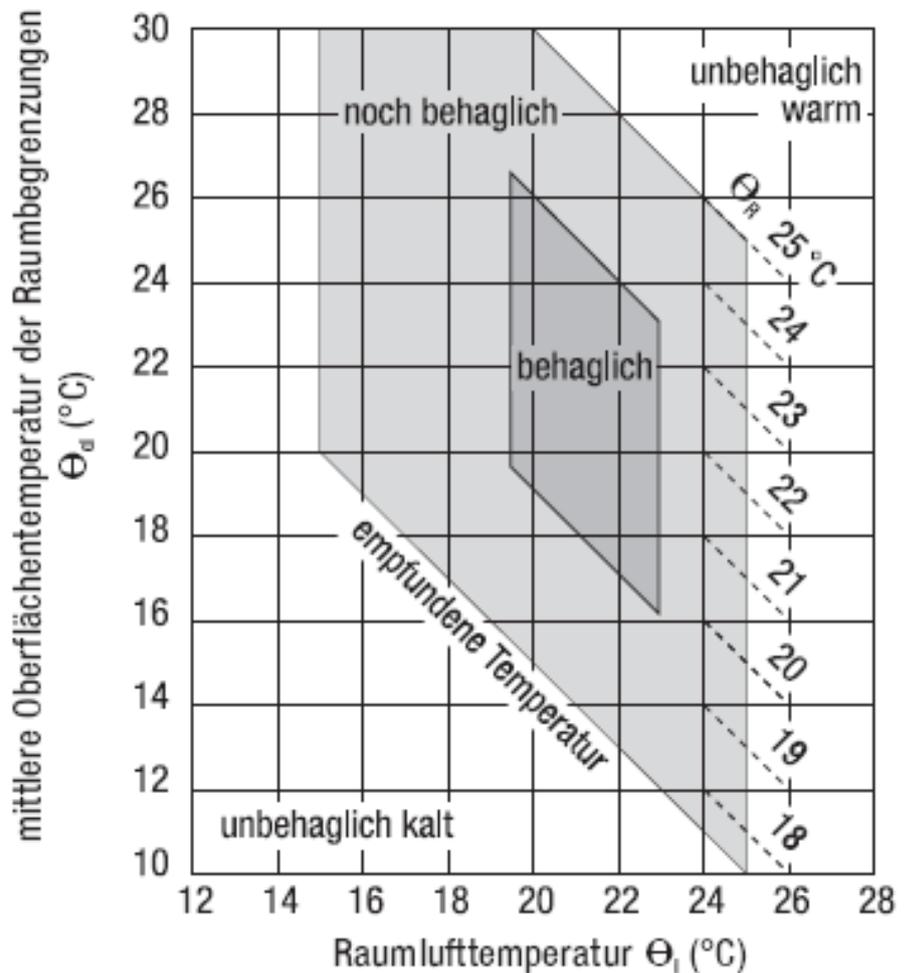
Behaglichkeit im Innenraum

Wir Menschen benötigen zum Wohlbefinden ein behagliches Raumklima. Hierzu sind folgende Bedingungen zu erfüllen: Die empfundene Raumlufttemperatur sollte ca. 19,5–23 °C betragen. Die innere Wandoberflächentemperatur sollte nur eine geringfügige Differenz zur Raumlufttemperatur (max. 3 °C) besitzen. Die Luftbewegung ist auf maximal 0,2 m/s begrenzt. Die relative Luftfeuchtigkeit sollte im Schnitt 50 % betragen.

Durch emporsteigende warme Luft, z. B. an Heizkörpern, und durch Abkühlen dieser Luft an den kalten Wänden entsteht in geschlossenen Räumen immer eine Luftbewegung. Ist die Geschwindigkeit dieser Luftbewegung kleiner als 0,2 m/s, wird sie nicht wahrgenommen. Bei höherer Geschwindigkeit hingegen wird sie jedoch als störende Zugluft empfunden. Eine höhere Geschwindigkeit tritt auf, wenn der Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Wandoberfläche mehr als 3 °C beträgt. Mit Brillux Wärmedämm-Verbundsystemen gedämmte Fassadenbauteile gewährleisten eine ausreichend hohe Wandoberflächentemperatur und somit eine geringe Geschwindigkeit der Luftbewegung (siehe vorhergehende Tabelle Wandoberflächentemperatur).

Der Mensch empfindet entgegen der landläufigen Vorstellung nicht nur die Raumlufttemperatur, sondern das Mittel aus Raumluft- und innerer Wandoberflächentemperatur.

Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Raumluft- und Oberflächentemperatur (nach H. Reiher und W. Frank)



Beispiel

- Raumlufttemperatur 20 °C,
- Wandoberflächentemperatur 18 °C,
- empfundene Temperatur
= $\frac{1}{2} (20 \text{ °C} + 18 \text{ °C}) = 19 \text{ °C}$

Mit Brillux Wärmedämm-Verbundsystemen wird nicht nur durch einen niedrigeren U-Wert Energie eingespart, sondern auch dadurch, dass durch höhere Innenwandtemperaturen mit niedrigeren Raumlufttemperaturen geheizt werden kann.

Zusammenstellung einiger wärme- und feuchteschutztechnischer Bemessungswerte gemäß DIN V 4108-4 und DIN EN 12524

Stoff	Rohdichte (kg/m ²)	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m · K)]	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ
Kalk-, Kalkzementputz	1800	1,00	15/35
Zementputz	2000	1,60	15/35
Kalkgips-, Gipsputz	1400	0,70	10
Gipsputz ohne Zuschlag	1200	0,51	10
Kunstharzputz	1100	0,70	50/200
Normalbeton (armiert mit 1 % Stahl)	2300	2,30	80/130
Porenbeton-Bauplatten mit normaler Fugendicke	500	0,22	5/10
	800	0,29	5/10
Porenbeton-Bauplatten dünnfugig verlegt	500	0,16	5/10
	800	0,25	5/10
Vollklinker, Hochlochklinker	2000	0,96	50/100
Vollziegel, Lochziegel	1200	0,50	5/10
	1400	0,58	5/10
	1800	0,81	5/10
Hochlochziegel mit Lochung A und B nach DIN 105	600	0,33	5/10
	800	0,39	5/10
	1000	0,45	5/10
Kalksandsteine nach DIN 106	1600	0,79	15/25
	1800	0,99	15/25
	2000	1,10	15/25
Hohlblöcke nach DIN 18151	800	0,41	5/10
	1000	0,52	5/10
	1200	0,60	5/10
Vollblöcke (Leichtbeton) nach DIN 18152	600	0,22	5/10
	800	0,27	5/10
	1000	0,32	5/10
Konstruktionsholz	500	0,13	20/50
	700	0,18	50/200
Sperrholz	700	0,17	90/220
Spanplatte	600	0,14	15/50
OSB-Platte	650	0,13	30/50
Holzfaserverplatte, MDF	800	0,18	10/20
Gipskartonplatte nach DIN 18 180	900	0,25	8

Die in Klammern gesetzten Zahlenwerte dienen nur zur Abschätzung. Sie besitzen keine wissenschaftlich gesicherte Zuordnung. Sind zwei Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ angegeben, so ist für den jeweiligen Anwendungsfall der ungünstigere Wert zu wählen.

Berechnungshilfe zur Ermittlung des U-Wertes

Berechnung des U-Wertes bei vorgegebenem Wandaufbau

Lfd. Nr.	Bauteilaufbau (von innen nach außen)	Dicke d	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmedurchlasswiderstand R_n d_n/λ_n
		m	$W/(m^2 \cdot K)$	$m^2 \cdot K/W$
0	Wärmedurchgangswiderstand innen R_{si}	-	-	① 0,13
1				②
2				③
3				④
4				⑤
5				⑥
6				⑦
7	Wärmedurchgangswiderstand außen R_{se}	-	-	⑧ 0,04
	Wärmedurchgangswiderstand vorhanden		Summe ① bis ⑧ →	⑨
	U-Wert vorhanden		$1 / [⑨ W/(m \cdot K)] \rightarrow$	

Berechnung der gewünschten Dämmplattenstärke bei vorgegebenem maximalen U-Wert und Dämmplattenart sowie des U-Wertes der ungedämmten Wand

Gewünschter U-Wert		$[W/(m^2 \cdot K)] \rightarrow$	⑪
Gewünschter Wärmedurchgangswiderstand		$1 / \underline{\text{⑪}} [W/(m^2 \cdot K)] \rightarrow$	⑫
Erforderlicher Wärmedurchgangswiderstand der gewünschten Dämmplatte		$\text{⑫} - \text{⑨} [W/(m^2 \cdot K)] \rightarrow$	⑬
Wärmeleitfähigkeit der gewünschten Dämmplatte		$\lambda = 0,041/0,040/0,036/0,035$ $0,032/0,028/0,027 \text{ oder } 0,026$ $[W/(m^2 \cdot K)] \rightarrow$	⑭
Erforderliche Dämmplattendicke		$\text{⑬} \cdot \text{⑭} [m] \rightarrow$	⑮
Gewählte Dämmplattendicke	⑮ aufrunden auf 2. Stelle hinter Komma	$[m] \rightarrow$	⑯
Erreichter Wärmedurchlasswiderstand		$\text{⑯} / \text{⑭} + \text{⑨} [m^2 \cdot K/W] \rightarrow$	⑰
Erreichter U-Wert		$1 / \text{⑰} W/(m^2 \cdot K) \rightarrow$	

Technische Beratung

Für weitere technische Auskünfte steht Ihnen der Brillux Beratungsdienst zur Verfügung.
Tel. +49 (0)251 7188-158
Tel. +49 (0)251 7188-8627
Fax +49 (0)251 7188-106
tb@brillux.de

Anmerkung

Der Inhalt dieser Technischen Info bekundet kein vertragliches Rechtsverhältnis. Der Verarbeiter/Käufer wird nicht davon entbunden, unsere Produkte auf ihre Eignung für die vorgesehene Anwendung in eigener Verantwortung zu prüfen. Darüber hinaus gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen.

Mit Erscheinen einer Neuauflage dieser Technischen Info mit neuem Stand verlieren die bisherigen Angaben ihre Gültigkeit.

Brillux
Postfach 16 40
48005 Münster
Tel. +49 (0)251 7188-0
Fax +49 (0)251 7188-105
www.brillux.de
info@brillux.de