

Wärmeübertragung durch Bauteile (k-Wert) nach ÖNORM EN ISO 6946

Copyright © 1999 LandesEnergieVerein, Burggasse 9, 8010 Graz

Autor: G. Bittersmann

Wärmeübertragung durch Bauteile (k-Wert) nach ÖNORM EN ISO 6946

Grundlage für die Wärmeübertragung durch Bauteile ist das grundsätzliche Bestreben nach Temperatenausgleich. Bei unterschiedlichen Temperaturbereichen kommt es immer zu einem Wärmefluß vom wärmeren zum kälteren Bereich. Dieser Wärmefluß kann in Form von Wärmestrahlung (z.B. Wärmeübertragung von der Sonne auf die Erde), Wärmefluß (Wärmeübertragung durch Körper in homogenen Aggregatzuständen) oder Konvektion (Wärmeübertragung zwischen verschiedenen Körpern unterschiedlicher Aggregatzustände) erfolgen.

Bei der Wärmeübertragung durch opake (nicht transparente) Bauteile treten vor allem der Wärmefluß durch feste Körper sowie die Konvektion beim Wärmeübergang vom Bauteil auf die umgebende Luft bzw. umgekehrt auf. In sehr geringem Maß tritt auch Wärmeübertragung durch Wärmestrahlung, z.B. durch Abstrahlung des warmen Bauteiles auf kältere Körper im Freien, auf.

Der Wärmedurchgangskoeffizient oder k-Wert, international als U-Value bezeichnet, ergibt sich als Kehrwert aus dem Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteiles R_T . Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. der Wärmedurchgangswiderstände und der Wärmeübergangswiderstände sind in der internationalen Norm EN ISO 6946 geregelt. Danach ergibt sich der Wärmedurchgangswiderstand durch einen homogen geschichteten Bauteil R_T aus der Summe der Wärmeübergangswiderstände innen R_{si} und außen R_{se} sowie der Wärmedurchlaßwiderstände der verschiedenen Schichten R_n des jeweiligen Bauteiles.

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

wobei

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

und

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

sind. „ d “ ist hierbei die Dicke der Schicht in Meter und „ λ “ die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes in [W/mK].

Wärmeübergangswiderstände

Die inneren und äußeren Wärmeübergangswiderstände sind ebenfalls in der EN ISO 6946 geregelt. Für unterschiedliche Richtungen des Wärmestromes sind dort folgende Werte angegeben.

	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{Si}	0,10	0,13	0,17
R_{Se}	0,04	0,04	0,04

R_{Si} steht hier für den inneren, R_{Se} für den äußeren Wärmeübergangswiderstand, jeweils in $[m^2K/W]$. Diese Werte gelten für ebene Oberflächen, wenn keine besonderen Angaben über besondere Randbedingungen vorliegen. Solche Randbedingungen können z.B. erhöhte Windgeschwindigkeiten sein. Die folgende Tabelle gibt Übergangswiderstände bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten an.

Windgeschwindigkeit [m/s]	R_{Se} [m^2K/W]
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

Die Wärmeübergangswiderstände können aber auch durch die Wärmestrahlung des Bauteiles, sofern dieser entsprechend dunkel bzw. schwarz ist, beeinflusst werden.

Wärmedurchlaßwiderstände von Luftschichten

Bei den Wärmedurchlaßwiderständen von Luftschichten werden in der Norm ruhende Luftschichten, schwach belüftete Luftschichten und stark belüftete Luftschichten unterschieden. Für ruhende Luftschichten werden, abhängig von der Richtung des Wärmestromes und der Dicke der Luftschicht folgende Werte angegeben:

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
Zwischenwerte können linear interpoliert werden.			

Für Luftschichten, die dicker als 0,3 m sind, soll kein einzelner Wärmedurchgangswiderstand berechnet werden. Solche Luftschichten sollen wie unbeheizte und unbelüftete Räume behandelt werden.

Unter schwach belüfteten Luftschichten werden Schichten mit Belüftungsöffnungen verstanden, die für vertikale Luftschichten größer als 500 mm² und kleiner als 1500 mm² je Meter Länge der Luftschicht sind, bzw. die für horizontale Luftschichten größer als 500 mm² und kleiner als 1500 mm² je m² Oberfläche der Luftschicht sind. Für solche Luftschichten gilt jeweils der halbe Wert aus der oben angegebenen Tabelle, allerdings maximal ein Wert von 0,15 m²K/W.

Stark belüftete Luftschichten sind solche mit größeren Öffnungen als oben angegeben. Für solche Luftschichten sind der Durchlaßwiderstand der Luftschicht und der Durchgangswiderstand aller Schichten, die zwischen der Luftschicht und der Außenluft liegen auf 0 zu setzen. Für den äußeren Wärmeübergangswiderstand ist der gleiche Wert wie für den inneren Wärmeübergangswiderstand einzusetzen.

Für unbeheizte Dachräume, die zwischen beheizten Bauteilen und der Außenluft liegen können folgende Werte für die Wärmedurchlaßwiderstände eingesetzt werden.

Beschreibung des Daches		R_u m ² K/W
1	Ziegeldach ohne Pappe, Schalung o.ä.	0,06
2	Platten- oder Ziegeldach mit Pappe, Schalung o.ä. unter der Deckung	0,2
3	wie 2 mit Oberfläche mit geringem Emissionsgrad an der Unterseite des Daches (Aluverkleidung)	0,3
4	Dach mit Schalung und Pappe	0,3

Die Werte enthalten die Wärmeübergangswiderstände des belüfteten Raums und der Dachkonstruktion innen aber nicht den äußeren Wärmeübergangswiderstand des Daches.

Der Wärmedurchlaßwiderstand von sonstigen unbeheizten Räumen kann nach der untenstehenden Formel vereinfacht ermittelt werden. Der Raum wird dabei wie eine homogene Schicht eines Bauteiles behandelt.

$$R_u = 0,09 + 0,4 \frac{A_i}{A_e}$$

Dabei ist A_i die Gesamtfläche der Bauteile zwischen dem Beheizten Raum und dem unbeheizten Raum und A_e die Gesamtfläche der Bauteile zwischen dem unbeheizten Raum und der Außenluft.

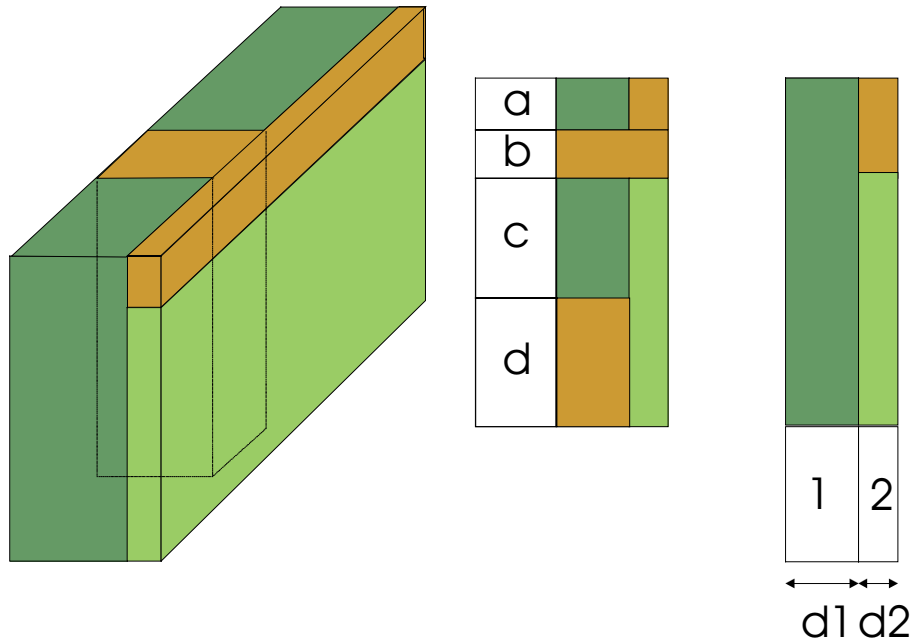
Solche unbeheizten Räume sind z.B. Garagen, Lagerräume oder Wintergärten. Allerdings sind für genauere Berechnungen z.B. für Wärmebilanzen unbeheizte Gebäudeteile nach anderen Normen z.B. der EN 832 zu berechnen.

Wärmedurchgangswiderstand von Bauteilen mit homogenen und inhomogenen Schichten

Der Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteiles mit inhomogenen Schichten wird aus dem arithmetischen Mittel aus dem oberen und dem unteren Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes der Schicht berechnet.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

Dabei ist R'_T der obere Grenzwert des Wärmeübergangswiderstandes und R''_T der untere Grenzwert. Die Berechnung der Grenzwerte des Wärmeübergangswiderstandes muß durch Aufteilung des Bauteiles in Abschnitte und Schichten in der Weise erfolgen, daß jeder der Teile des Bauteiles thermisch homogen ist. (siehe Abbildung)



Jeder Abschnitt m senkrecht zu den Oberflächen des Bauteiles hat die Teilfläche f_m . Jede Schicht j parallel zu den Oberflächen des Bauteiles hat die Dicke d_j . Jeder Teil m_j hat die Wärmeleitfähigkeit λ_{mj} , die Dicke d , die Teilfläche f_m und den Wärmedurchlaßwiderstand R_{mj} . Die Teilfläche eines Abschnittes ist sein Anteil an der Gesamtfläche. Folglich ist $f_a + f_b + \dots + f_q = 1$

Der obere Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

Dabei sind:

R_{Ta} , R_{Tb} , ... R_{Tq} die Wärmedurchgangswiderstände von Bereich zu Bereich für jeden Abschnitt, berechnet nach der allgemeinen Formel für Wärmedurchgangswiderstände einschließlich der Wärmeübergangswiderstände.

f_a , f_b , ..., f_q sind die Teilflächen eines jeden Abschnittes.

Der untere Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes wird berechnet, indem für jede themisch inhomogene Schicht ein Wärmedurchlaßwiderstand nach folgender Gleichung ermittelt wird:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}}$$

Der untere Grenzwert ergibt sich sodann aus der Summe der Durchlaßwiderstände jeder Schicht und der Wärmeübergangswiderstände.

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Beispiel:

In diesem Beispiel wird entsprechend der oberen Skizze ein Bauteil mit einer Fläche von 1 m² angenommen. Der vertikale Holzriegel hat eine Stärke von 0,1 m mal 0,1 m, das heißt die Schicht d₁ ist 0,1 m dick. Die horizontale Holzlattung wird mit 0,1 mal 0,05 m angenommen, das heißt die Schicht d₂ ist 0,05 m dick. Der Bereich unter der horizontalen Latte ist 0,90 m hoch.

Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} + R_{se} werden nach der Norm mit 0,17 m²K/W angenommen.

Der Bauteil besteht aus 4 unterschiedlichen Bereichen a,b,c und d. Bereich a ist der Teil, der aus der Schicht Dämmstoff neben dem Holzriegel und der Schicht der horizontalen Latte besteht. Bereich b ist der Schnittpunkt des Holzriegels mit der horizontalen Latte. Der Bereich c besteht aus der Schicht Dämmstoff neben dem vertikalen Holzriegel und der Dämmstoff-Schicht, mit dem Wärmeleitwert 0,05 W/mK unter der horizontalen Latte. Der Bereich d schließlich ist der Bereich von vertikalem Holzriegel und der Dämmstoffschicht unter der horizontalen Latte.

Die Flächenanteile der einzelnen Bereiche sind:

Bezeichnung	Anteil [m ²]
f _a	0,090
f _b	0,010
f _c	0,810
f _d	0,090
Summe	1,000

Der obere Grenzwert R_T' ergibt sich folglich aus der Gleichung:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{0,09}{\frac{0,1}{0,04} + \frac{0,05}{0,15} + 0,17} + \frac{0,01}{\frac{0,15}{0,15} + 0,17} + \frac{0,81}{\frac{0,1}{0,04} + \frac{0,05}{0,05} + 0,17} + \frac{0,09}{\frac{0,1}{0,15} + \frac{0,05}{0,05} + 0,17} = 0,308 [W / m^2 K]$$

R_T' ist folglich 3,247 m²K/W.

Der untere Grenzwert ergibt sich sodann aus den Wärmedurchlaßwiderständen jeder einzelnen Schicht. diese wiederum errechnen sich aus den Widerständen der Flächenanteile der entsprechenden Flächen.

$$\frac{1}{R_1} = \frac{0,1}{0,1} + \frac{0,9}{0,15} = 0,510 [W / m^2 K]$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{0,1}{0,05} + \frac{0,9}{0,05} = 1,200 \text{ [W / m}^2 \text{ K]}$$

R_1 ist folglich 1,961 m²K/W und R_2 0,833 m²K/W

Daher ist:

$$R_T'' = 0,04 + 1,961 + 0,833 + 0,13 = 2,964 \text{ [m}^2 \text{ K / W]}$$

Der k-Wert ergibt sich für diesen inhomogenen Bauteil somit aus folgender Gleichung:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{3,247 + 2,964}{2}} = 0,322 \text{ [W / m}^2 \text{ K]}$$

Sonderfälle

Die EN ISO 6946 behandelt auch einige besondere Bauteilformen, wie Bauteile mit nicht ebenen Oberflächen bzw. Bauteile mit keilförmigen Schichten. Weiters wird auch noch der Wärmedurchlaßwiderstand von unbelüfteten Lufträumen behandelt. Diese Bauteile werden in der Praxis keine so große Bedeutung haben, wie Bauteile mit inhomogenen Schichten, die wir oben behandelt haben. Aus diesem Grund verweisen wir hier nur auf die Norm und gehen nicht weiter auf die einzelnen Berechnungsverfahren ein.

Korrekturen für Wärmedurchgangskoeffizienten

Wichtiger erscheinen uns die Korrektur von Wärmedurchgangskoeffizienten durch Luftspalten im Bauteil, durch Befestigungsteile, die Dämmschichten durchdringen und durch Niederschlag auf Umkehrdächern. Insbesondere die Luftspalten können sich bei der Leichtbauweise, die immer häufiger angewandt wird, negativ auswirken.

Die Korrektur der Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt durch Addition eines Korrekturterms ΔU , der sich aus der Addition der Korrekturwerte für die oben beschriebenen Fälle errechnet. Für unsere Betrachtung sind insbesondere die Verschlechterung der Bauteile durch Luftspalten von Relevanz. Die Korrekturwerte für Luftspalten ergeben sich aus den Werten je nach Stufe der Korrektur aus der unten stehenden Tabelle und der nachfolgenden Berechnungsformel:

Stufe	$\Delta U''$ [W/m ² K]	Beschreibung der Luftspalte
0	0,00	Die Dämmung ist so angebracht, daß keine Luftzirkulation auf der warmen Seite der Dämmung möglich ist. Keine die gesamte Dämmschicht durchdringende Luftspalte ist vorhanden.
1	0,01	Die Dämmung ist so angebracht, daß keine Luftzirkulation auf der warmen Seite der Dämmung möglich ist. Luftspalte können die Dämmschicht durchdringen.
2	0,04	Mögliche Luftzirkulation auf der warmen Seite der Dämmung Luftspalte können die Dämmschicht durchdringen..

Der Korrekturwert errechnet sich nach folgender Formel:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_l}{R_T} \right)^2$$

Dabei ist:

R_l : Wärmedurchlaßwiderstand der einen Spalt enthaltenden Schicht

R_T : Wärmedurchgangswiderstand des Bauteiles