

## Vom k-Wert zum U-Wert

### **ISO = International Organization for Standardization, Genf**

Diese internationale Normungseinrichtung hat u.a. die beiden folgenden Normen eingeführt:

#### **ISO 6946: 1996**

Building components and buildings elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method

#### **ISO 10077-1: 2000**

Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance Part 1: Simplified method

### **CEN = Comité Européen de Normalisation, Brüssel**

Diese europäische Normungseinrichtung hat die obigen ISO-Normen als Europäische Norm (EN) im gleichen Jahr mit gleichem Titel übernommen:

**EN ISO 6946: 1996** gleicher Titel

**EN ISO 10077-1: 2000** gleicher Titel

### **DIN, UNI, ÖNORM = Nationale Normungs-Einrichtungen**

Die nationalen Normungseinrichtungen wiederum übernehmen - mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung - diese EN-Normen als Landesnormen (aus dem Englischen übersetzt):

#### **DIN EN ISO 6946: 1996-08**

Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand (als Ersatz für DIN 4108-5:1981) und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

#### **UNI EN ISO 6946: 09-1999**

Componenti e elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo

#### **DIN EN ISO 10077-1: 2000-11**

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren

#### **ÖNORM EN ISO 10077-1: 2001-02**

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren

Fest steht: Es gelten ausschließlich diese neuen Normen!! Eine k-Wert-Berechnung ist nicht mehr zulässig. Stattdessen ist eine U-Wert-Berechnung für opake und transparente Bauteile nach den Berechnungsverfahren der neuen Normen durchzuführen.

## **EN ISO 6946 (opake Bauteile) und EN ISO 10077-1 (transparente Bauteile) als Grundlagen der U-Wert-Berechnung**

Immer noch erfolgt die rechnerische Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten als k-Wert nach veralteten Normen, obwohl diese längst nicht mehr gültig sind. Europaweit gilt der U-Wert nicht nur als neue Bezeichnung, sondern basiert auch auf neuen, einheitlichen und komplexeren Berechnungsverfahren.

In die Berechnung der U-Werte gehen nun (bisher vernachlässigte) Wärmebrücken ein. Die Bauteilart (homogen/inhomogen) sowie Luftschichten werden differenzierter betrachtet. Außerdem wurde eine Änderung/Vereinfachung der Wärmeübergangswiderstände innen und außen vorgenommen.

Konsequenz: Der U-Wert wird i.d.R. um etwa 5% höher liegen als beim bisherigen k-Wert; bei Fenstern wird er sich um bis zu 30% erhöhen.

U.a. werden die Wärmedurchgangskoeffizienten folgender Konstruktionen deutlich anders als bisher berechnet:

### **Außenwände**

1. Mauerwerk mit Mauerankern oder ähnlichen Befestigungsteilen wie z.B. Dübeln, die als Wärmebrücken wirken (z.B. Kerndämmung).
2. Wände mit inhomogenen Schichten (z.B. Holzständer- und Holzrahmenwände).
3. Wände mit schwach oder stark belüfteten Luftschichten (z.B. Hinterlüftete Vorhangfassade).
4. Beliebige Kombinationen aus 1. – 3.

### **Dächer**

Geneigte Dachkonstruktionen werden überwiegend in Holz-Gefach-Bauweise errichtet und sind damit Bauteile mit inhomogenen Schichten. Zusätzlich berücksichtigt werden hier der Effekt eines Wärmestroms parallel zu den Oberflächen des Bauteils (Querleitung), die Art der Belüftung (schwach, stark), Luftspalten in der Konstruktion und nicht ebene Flächen:

1. Dächer mit inhomogenen Schichten
2. Konstruktionen mit Dämmkeilen

### **Fenster**

Zusätzlich neben der Verglasung und dem Rahmenmaterial wird nun auch der Übergangsbereich zwischen Glas und Rahmen berücksichtigt – der sog. Randverbund. Dazu wurde der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi$  (in W/mK) eingeführt:

1. Fenstergeometrie
2. Wärmebrücke Randverbund

## U-Wert von Außenwänden

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) eines opaken (nicht transparenten) Bauteils ermittelt sich aus dem Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T$ :

$$U = 1/R_T \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

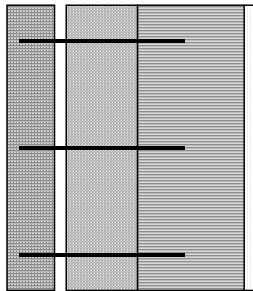
$$R_{1-n} = d/\lambda \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

Die R-Werte müssen auf 3 Dezimalstellen berechnet werden!

Die Indizes kommen aus dem Englischen: T = Transmission (Durchgang), si = surface interior (Innenoberfläche), se = surface exterior (Außenoberfläche).

### Beispiel: Bauteil aus homogenen Schichten, 2-schalig mit Kerndämmung

11,5 15 24 1,5



Wärmeübergangswiderstand innen	$R_{si} = 0,130 \text{ m}^2\text{K/W}$
1. 0,015 m Gipsputz	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
2. 0,240 m Hochlochziegel	$\lambda = 0,320 \text{ W/mK}$
3. 0,150 m Wärmedämmung	$\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
4. 0,010 m ruhende Luftschicht	$R = 0,150 \text{ m}^2\text{K/W}$
5. 0,115 m Ziegelmauerwerk	$\lambda = 0,870 \text{ W/mK}$
Wärmeübergangswiderstand außen	$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$R_T = 0,13 + 0,015/0,7 + 0,24/0,32 + 0,15/0,04 + 0,15 + 0,115/0,87 + 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,13 + 0,021 + 0,750 + 3,750 + 0,15 + 0,132 + 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} = 4,973 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = 1 / 4,973 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,201 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Nach EN ISO 6946 ist dieser Wert ggf. dann zu korrigieren, wenn die Gesamtkorrektur größer als 3% des errechneten U-Wertes ist:

$$U_c = U + \Delta U \quad \text{mit} \quad \Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

$\Delta U_g$  = Korrektur für Luftspalte

$\Delta U_f$  = Korrektur für mechanische Befestigungselemente

$\Delta U_r$  = Korrektur für Umkehrdächer (unbelüftetes Flachdach)

In diesem Beispiel ergibt sich als Grenzwert, der nicht überschritten werden darf:  $0,03 \times 0,201 = 0,006 \text{ W/m}^2\text{K}$

Zu berechnen ist  $\Delta U_f$ , da systembedingt zwischen den beiden Mauerschalen Drahtanker aus Edelstahl mit  $\lambda = 12,00 \text{ W/mK}$  angebracht werden müssen. Vorgesehen sind 6 Stück mit einem Durchmesser von 5 mm.

$$\text{Es gilt: } \Delta U_f = \alpha \times \lambda_f \times n_f \times A_f$$

$$\Delta U_f = 6 \text{ m}^{-1} \times 12 \text{ W/mK} \times 6 \text{ Stück/m}^2 \times 0,00002 \text{ m}^2 = 0,009 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Der Korrekturwert ist mit  $0,009 \text{ W/m}^2\text{K}$  größer als der maximal zulässige Wert von  $0,006 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Es ist eine Korrektur wegen des Wärmebrückeneinflusses der Maueranker vorzunehmen.

Zur Vermeidung von durchgehenden Fugen wird im Bereich der Wärmedämmung eine Ausführung gewählt, die der Stufe 0 entspricht, wodurch keine Korrektur notwendig ist.

Ergebnis des Beispiels:

$$U_c = 0,201 + 0,009 \text{ W/m}^2\text{K} = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$$

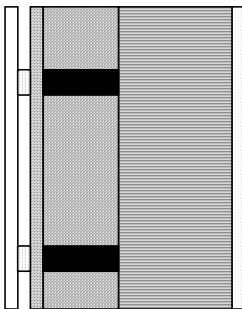
Der Wärmedurchgangskoeffizient ist auf 2 Dezimalstellen als Endergebnis zu runden!

Es wird dringend geraten

- alle zugrundegelegten Eingangsdaten inkl. Zeichnung zu dokumentieren!
- spätere Veränderungen in der Bauphase fortzuschreiben!

**Beispiel: Bauteil aus inhomogenen Schichten, Hinterlüftete Fassade**

1,2 15 24 1,5



Wärmeübergangswiderstand innen	$R_{si} = 0,130 \text{ m}^2\text{K/W}$
1. 0,015 m Gipsputz	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
2. 0,240 m Hochlochziegel	$\lambda = 0,320 \text{ W/mK}$
3. 0,150 m Wärmedämmung	$\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
4. Bohlen 6/15, lichte Weite 0,54 m	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
5. 0,012 m OSB-Platte	$\lambda = 0,170 \text{ W/mK}$
Wärmeübergangswiderstand außen	$R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

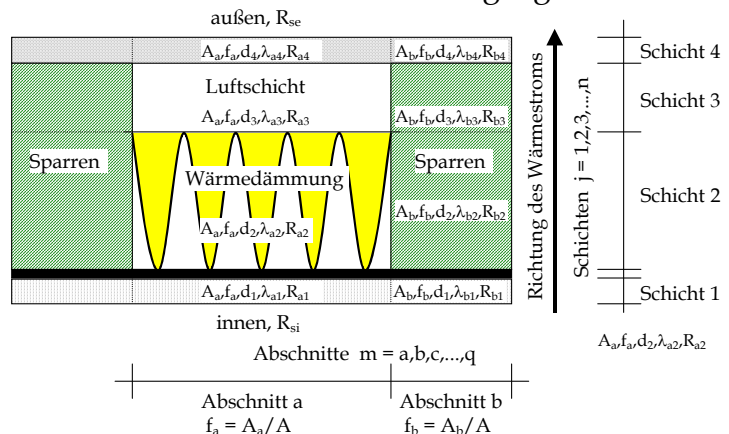
Bei derartigen „zusammengesetzten“ Bauteilen wurde bisher in Abhängigkeit der jeweiligen Flächenanteile ein mittlerer k-Wert für das ganze Bauteil berechnet. Es wurde vereinfachend angenommen, dass nur eine eindimensionale Wärmestromrichtung gegeben ist. Bei Bauteilen mit inhomogenen Schichten treten aber tatsächlich mehrdimensionale Wärmeströme auf.

Die EN ISO 6946 bietet dazu folgendes Rechenverfahren an: Berechnet wird das arithmetische Mittel aus dem Grenzwert des oberen Wärmedurchgangswiderstandes  $R'_T$  („altes“ Verfahren) und aus dem Grenzwert des unteren Wärmedurchgangswiderstandes  $R''_T$  (mittlere Wärmeleitfähigkeit der für die Summe der in der Fläche vorhandenen Bauteilschichten).

Berechnungsformel:

$$R_T = (R'_T + R''_T) / 2 \rightarrow U = 1/R_T$$

Dazu wird jedes Bauteil in Abschnitte (Bereiche) und Schichten, die jeweils thermisch homogen sind, aufgeteilt:



### Grenzwertberechnung des oberen Wärmedurchgangswiderstandes $R'_T$

**Abschnittsweise** werden die einzelnen Wärmedurchgangswiderstände ermittelt:

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

Im Beispiel gibt es 2 Abschnitte

Bereich a: Wärmedämmung zwischen den Bohlen  $f_a = 0,54/0,60 = 0,90$

$$\begin{aligned} R_{Ta} &= R_{si} + R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} + R_{a4} + R_{se} \\ &= 0,13 + 0,015/0,7 + 0,24/0,32 + 0,15/0,04 + 0,012/0,17 + 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \\ &= 0,13 + 0,021 + 0,750 + 3,750 + 0,071 + 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} = 4,852 \text{ m}^2\text{K/W} \end{aligned}$$

Bereich b: Holz im Bereich der Bohlen  $f_b = 0,06/0,60 = 0,10$

$$\begin{aligned} R_{Tb} &= R_{si} + R_{b1} + R_{b2} + R_{b3} + R_{b4} + R_{se} \\ &= 0,13 + 0,015/0,7 + 0,24/0,32 + 0,15/0,13 + 0,012/0,17 + 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \\ &= 0,13 + 0,021 + 0,750 + 1,154 + 0,071 + 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} = 2,256 \text{ m}^2\text{K/W} \end{aligned}$$

$$1/R'_T = f_a/R_{Ta} + f_b/R_{Tb} = 0,90/4,852 + 0,10/2,256 = 0,2298 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R'_T = 4,351 \text{ m}^2\text{K/W}$$

### Grenzwertberechnung des unteren Wärmedurchgangswiderstandes $R''_T$

Schichtweise werden die einzelnen Wärmedurchgangswiderstände unter der Annahme eines Wärmestroms senkrecht zu den Oberflächen ermittelt:

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

Im Beispiel gibt es 4 Schichten (Schichtebenen)

Schicht 1:

$$\begin{aligned} 1/R_1 &= f_a/R_{a1} + f_b/R_{b1} = 0,90/(0,015/0,7) + 0,10/(0,015/0,7) \\ &= 1/(0,015/0,7) = 46,667 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Schicht 2:

$$\begin{aligned} 1/R_2 &= f_a/R_{a2} + f_b/R_{b2} = 0,90/(0,24/0,32) + 0,10/(0,24/0,32) \\ &= 1/(0,24/0,32) = 1,333 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Schicht 3:

$$\begin{aligned} 1/R_3 &= f_a/R_{a3} + f_b/R_{b3} = 0,90/(0,15/0,04) + 0,10/(0,15/0,13) \\ &= 0,9/3,75 + 0,1/1,154 = 0,327 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Schicht 4:

$$\begin{aligned} 1/R_4 &= f_a/R_{a4} + f_b/R_{b4} = 0,90/(0,012/0,17) + 0,10/(0,012/0,17) \\ &= 1/(0,012/0,17) = 14,167 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R''_T &= R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se} \\ &= 0,13 + 1/46,667 + 1/1,333 + 1/0,327 + 1/14,167 + 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \end{aligned}$$

$$R''_T = 4,160 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Ergebnis des Beispiels:

$$R_T = (R'_T + R''_T) / 2 = (4,351 + 4,160) / 2 = 4,256 \text{ m}^2\text{K/W}$$

und

$$U = 1/R_T = 1/4,256 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,235 \text{ W/m}^2\text{K}$$

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

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist auf 2 Dezimalstellen als Endergebnis zu runden!  
 Zum Vergleich: Die Berechnung des k-Wertes nach bisheriger Methode hätte einen Wert von 0,232 bzw. 0,23 W/m<sup>2</sup>K ergeben (- 4,2 %).

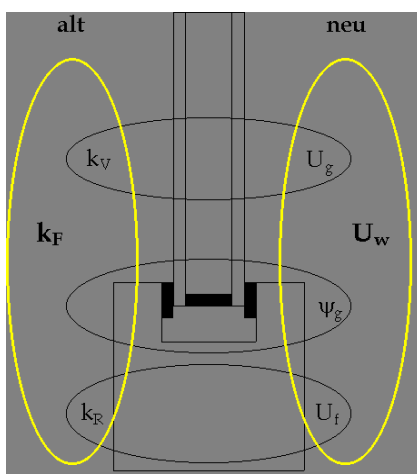
### Berechnung des U<sub>w</sub>-Wertes eines Fensters

	alt	neu
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	k <sub>F</sub>	U <sub>w</sub>
Wärmedurchgangskoeffizient Verglasung	k <sub>V</sub>	U <sub>g</sub>
Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen	k <sub>R</sub>	U <sub>f</sub>
Linearer Wärmedurchgangskoeffizient Glasrandbereich (Randverbund)	-	ψ <sub>g</sub>

Bedeutung der neuen (engl.) Indizes:

F = Fenster w = window; V = Verglasung g = glass; R = Rahmen f = frame

Diese Grafik soll die Angaben dieser Tabelle nochmals veranschaulichen:



Berechnungsgrundlage für den Fenster-U-Wert ist die folgende Formel:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f}$$

A<sub>g</sub> und A<sub>f</sub> sind die Ansichtsflächen der Verglasung und des Rahmens. Der Einfluss des Randverbundes der Verglasung wird über den linearen Faktor ψ<sub>g</sub> berücksichtigt, wobei l<sub>g</sub> der sichtbare Umfang der Scheibe ist. Da in die Bestimmung des U<sub>w</sub>-Wertes der Wärmebrückeneffekt zwischen Glas und Rahmen einfließt, sind die Auswirkungen auch von der Glasrandlänge abhängig.

### **Beispiel einer $U_w$ -Berechnung:**

Geplant sei eine Fensteröffnung (Rohbaumaß) von  $1,948 \text{ m}^2$  (Höhe =  $1,21 \text{ m}$  ; Breite =  $1,61 \text{ m}$ ). Ein Holzfenster mit  $U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  und 30% Rahmenanteil an der Fensteröffnung sowie ein 2-Scheiben-Wärmeschutzglas mit dem Wert  $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  und einem  $\psi_g$  von  $0,06 \text{ W/mK}$  soll eingebaut werden:

Bei Einsetzen aller Werte in die obige Formel (bei Berechnung der Glasrandlänge auf  $6,74 \text{ m}$ ) ergibt sich  $U = 1,43 \text{ W/m}^2\text{K}$

Das gesamte Fenster erreicht unter den gegebenen Bedingungen einen  $U_w$ -Wert von knapp  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  - also nur etwa den Rahmenwert!

Der Rechenansatz macht deutlich, dass bei geometrisch unterschiedlichen Öffnungen bei sonst gleichen Stoffdaten für jedes Fenster ein  $U_w$ -Wert zu berechnen ist. Da bei Neubauten zum Zeitpunkt der Genehmigungsphase i.d.R. die Dimensionierung der Rahmen, die Öffnungsmaße usw. noch nicht bekannt sind, ergibt sich die Notwendigkeit einer Fortschreibung des jeweils geforderten Wärmeschutznachweises.

Für die Berechnung müssen für den speziellen Einzelfall neben den geometrischen Randdaten weitere Daten wie folgt ermittelt werden:

### **$U_g$ -Wert der Verglasung**

Die Berechnung wird gemäß EN ISO 673 vorgenommen. Orientierungswerte können aus prEN ISO 10077-1 entnommen werden und gelten für Emissionsgrade und gegebene Gaskonzentrationen. Für Einzelverglasungen kann sich der Emissionsgrad und/oder die Gaskonzentration mit der Zeit ändern. Deshalb soll nach prEN 1278-1 und prEN 1279-3 eine Korrektur vorgenommen werden, die ein Verfahren zur Bewertung des Einflusses der Alterung angeben.

### **$U_f$ -Wert des Rahmens**

Er kann alternativ nach drei Verfahren ermittelt werden:

- Messung
- Berechnung nach EN ISO 10077-2
- Tabellenwerte nach EN ISO 10077-1, Anh. D

Es werden für verschiedene Materialien wie Kunststoff, Kunststoff mit Metall, Metall und Holz (Hart- und Weichholz) die  $U_f$ -Werte angegeben.

### **$\Psi_g$ -Wert des Randverbundes**

Er kann entweder aus Tabellen im Anhang der EN ISO 10077-1 entnommen oder mit Hilfe eines Wärmebrückenprogramms berechnet werden. Drei Fälle werden differenziert:

- Randverbund aus Aluminium
- Randverbund aus Edelstahl
- Randverbund aus Kunststoff