

Hauser, G. und Höttges, K.

## **Bauphysik in Kürze: U-Werte von Fenstern**

Der letzte Beitrag in der Reihe "Bauphysik in Kürze" behandelte den neuen Berechnungsansatz für den Wärmedurchgangskoeffizienten - jetzt U-Wert - von Bauteilen mit nebeneinanderliegenden Bereichen gem. EN ISO 6946 [1]. Im Zuge der europäischen Normung wird bei Fenstern der Wärmedurchgangskoeffizient nicht nur in U-Wert umbenannt, sondern auch nach einem modifizierten Ansatz bestimmt. Die entsprechende Norm prEN ISO 10077-1 [2] befindet sich noch in der Entwurfsphase. Die hier behandelten normativen Festlegungen beziehen sich auf den Schlußentwurf vom März 1999.

### **1 Historie**

Bisher werden im Teil 4 der DIN 4108 [3] Rechenwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern tabellarisch festgelegt. Dies erfolgt in Abhängigkeit vom k-Wert der Verglasung und der entsprechenden Rahmenausführung, welche in Rahmenmaterialgruppen zusammengefaßt sind.

Mit der Überarbeitung der Norm im Rahmen einer Vornorm [4] erfolgte 1998 lediglich eine Umbenennung des k-Wertes in den (internationalen) U-Wert. Die Indizierung der Formelzeichen orientierte sich jedoch weiterhin an der deutschen Schreibweise. Darüber hinaus wurden U-Werte der Verglasung kleiner  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  mit in die Tabelle aufgenommen.

### **2 Die neue Normung**

Zunächst muß sich der Anwender - mit Einführung der europäischen Normung und der hier behandelten prEN ISO 10077-1 - an eine neue Nomenklatur gewöhnen. Die Umstellung der Indizierung verwirrt v.a. bei der Verwendung des Buchstabens 'f' für Rahmen (frame statt Fenster) und 'W' für Fenster (window statt Wand).

Die inhaltlichen Neuerungen sind jedoch gravierender.

Neu bei der Berechnung ist die rechnerische Einbeziehung des Wärmebrückeneinflusses der Abstandhalter - d.h. des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (in DIN EN ISO 10211 [8] Wärmebrückenverlustkoeffizient genannt) infolge des kombinierten wärmetechnischen Einflusses von Abstandhalter, Glas und Rahmen - nicht jedoch der Wärmebrückenwirkungen im Bereich der Laibungen und Anschlüsse.

Der Anwendungsbereich der prEN ISO 10077-1 erstreckt sich u.a. auf

- unterschiedliche Verglasungsmaterialien (Glas oder Kunststoff) und -arten (Einfach- oder Mehrfachverglasung),
- Verglasung ohne oder mit Beschichtung (mit geringem Emissionsgrad) und mit Luft- oder anderen Gasfüllungen im Zwischenraum,
- unterschiedliche Rahmenmaterialien (Holz, Kunststoff, Metall mit und ohne Wärmedämmung).

Nicht behandelt werden Vorhang- und Glasfassaden - hierfür ist eine separate Norm in Bearbeitung -, Dachflächenfenster "wegen ihrer komplexen geometrischen Rahmenabschnitte" und belüftete Zwischenräume von Kasten- und Verbundfenstern.

### **3 Der alte und der neue Berechnungsansatz**

Der Wärmedurchgangskoeffizient k ergibt sich gem. DIN 4108-4 [3] Tabelle 3 bzw. DIN V 4108-4 [4] Tabelle 2 aus der flächenanteiligen Mittelung der k-Werte der Verglasung und des Rahmens. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens wird gem. der Einteilung in Rahmenmaterialgruppen an-

gesetzt, z.B. ergibt sich für Rahmenmaterialgruppe 1 ein k-Wert des Rahmens von 1,7 W/(m<sup>2</sup>K), für Rahmenmaterialgruppe 2 liegt der Wert zwischen 2,6 und 4,0 W/(m<sup>2</sup>K). Allgemein gilt

$$k_F = 0,7 \cdot k_V + 0,3 \cdot k_R$$

bei einem Flächenanteil des Rahmens von 30 %.

Die Bestimmung des U-Wertes gem. prEN ISO 10077-1 [2] setzt diesen Ansatz fort, ohne die Flächenanteile im vorhinein festzulegen. Die Verglasung (Index g) und der Rahmen (Index f) werden flächenanteilig gemittelt. Ein zusätzlicher Term berücksichtigt den Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\Psi$  und die Umfangslänge der Abstandhalter  $\ell$  der Verglasung.

Sind auch opake Füllungen innerhalb der Konstruktion angeordnet, so werden diese mit Fläche und U-Wert sowie mit Umfangslänge und  $\Psi$ -Wert des Abstandhalters in die Mittelung einbezogen (Index p).

$$U_W = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + \ell_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f} = \underbrace{\frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f}{A_g + A_f}}_{\text{bisherige k-Wert-Mittelung}} + \underbrace{\frac{\ell_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f}}_{\text{Anteil Abstandhalter}}$$

mit

A	[m <sup>2</sup> ]	Fläche ( <u>A</u> rea)
U	[W/(m <sup>2</sup> K)]	Wärmedurchgangskoeffizient (früher k)
$\ell$	[m]	Länge Abstandhalter (Umfangslänge oder Perimeter)
$\Psi$	[W/(mK)]	Wärmebrückenverlustkoeffizient oder längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
Index W		Fenster ( <u>W</u> indow, früher F)
Index f		Rahmen ( <u>f</u> rame, früher R)
Index g		Verglasung ( <u>g</u> lazing, früher V)
Index p		opake Füllung ( <u>p</u> anel)

Die Definition der jeweiligen Flächen wird in Bild 1 erläutert. Sind die Projektionsflächen des Rahmens innen- und außenseitig unterschiedlich, so ist die größere der beiden Flächen  $A_f$  zu verwenden.

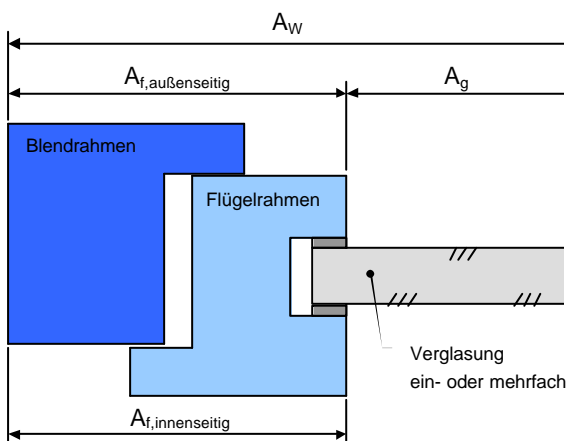


Bild 1: Darstellung eines einscheibenverglasteten Fensters (Verglasung ein- oder mehrfach).

#### 4 Größenordnungen

Die Verwendung der o.g. Bestimmungsgleichung für den U-Wert des Fensters setzt die Kenntnis der Einzelgrößen voraus. Im informativen Anhang der prEN ISO 10077-1 werden Richtwerte angegeben, die im folgenden zur quantitativen Einschätzung der Größenordnung herangezogen werden. Alternativ

zur rechnerischen Ermittlung ist der  $U_W$ -Wert auch tabellarisch angegeben, wobei sich durch die Festlegung der dort zugrunde gelegten Randbedingungen Einschränkungen in der Gültigkeit ergeben.

#### 4.1 Verglasung

Anhang C der prEN ISO 10077-1 gibt Richtwerte für den Wärmedurchgangskoeffizient von Verglasungen. Tabellarisch können in Abhängigkeit vom Emissionsgrad der Beschichtung sowie von Art und Dicke der Luft- bzw. Gasfüllung  $U_g$ -Werte für Zwei- und Dreischeiben-Isolierverglasungen entnommen werden, die nach EN 673 [6] berechnet wurden. Die Werte liegen im Vergleich zur DIN 4108-4 (obwohl hier ein Vergleich nur eingeschränkt möglich ist) um 1 bis 2 Zehntel tiefer.

Für genauere Berechnungen kann die nachfolgende Gleichung verwendet werden, darüber hinaus wird auf EN 673 verwiesen.

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_j + R_{si}}$$

mit

R	[m <sup>2</sup> K/W]	Wärmedurchlaßwiderstand der Luftschicht ( <u>R</u> esistance, früher 1/Λ)
R <sub>si</sub> , R <sub>se</sub>	[m <sup>2</sup> K/W]	Wärmeübergangswiderstand innen und außen (früher 1/α <sub>i</sub> bzw. 1/α <sub>a</sub> )
d	[m]	Dicke der Verglasung oder der Beschichtung
λ	[W/(mK)]	Wärmeleitfähigkeit der Verglasung oder der Beschichtung

#### 4.2 Rahmen

Die Berechnung oder Messung des U-Wertes des Rahmens ist in prEN ISO 10077-1 nicht enthalten - hier wird auf DIN EN ISO 10077-2 [7] verwiesen -, es werden jedoch in Anhang D für einzelne Rahmenausführungen Richtwerte angegeben, die in Tabelle 1 zusammengefaßt sind.

Tabelle 1: Richtwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmen gem. prEN ISO 10077-1, Anhang D (informativ) [2]. Die Rahmendicke  $d_f$  entspricht bei üblichen Fenstern (einfacher Flügelrahmen) dem arithmetischen Mittel aus Flügel- und Blendrahmendicke.

<b>Kunststoffrahmen (Tabelle D.1)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rahmenmaterial PUR, mit Metallkern, Dicke PUR <math>\geq 5</math> mm</li> <li>• PVC-Hohlprofil (Profilinnenmaß <math>\geq 5</math> mm), 2 Hohlkammern</li> <li>• PVC-Hohlprofil (Profilinnenmaß <math>\geq 5</math> mm), 3 Hohlkammern</li> </ul>	$U_f = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
<b>Holzrahmen (Feuchtegehalt 12%, Bild D.2)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rahmendicke <math>d_f = 50</math> mm</li> <li>• Rahmendicke <math>d_f = 75</math> mm</li> <li>• Rahmendicke <math>d_f = 100</math> mm</li> <li>• Rahmendicke <math>d_f = 125</math> mm</li> <li>• Rahmendicke <math>d_f = 150</math> mm</li> </ul>	Hartholz $U_f = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Weichholz $U_f = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_f = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
<b>Metallrahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ohne thermische Trennung</li> <li>• mit thermischer Trennung abhängig von der Rahmengeometrie (Abstand der Metallschalen, außen- und innenseitige Projektions- und Abwicklungsfläche)</li> </ul>	$U_f = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	

### 4.3 Abstandhalter

Der Wärmebrückenverlustkoeffizient des Glas-Rahmen-Verbindungsbereichs beschreibt den zusätzlichen Wärmestrom aus den Wechselwirkungen von Rahmen, Glas und Abstandhalter. Richtwerte aus Anhang E sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Darüber hinaus wird auf DIN EN ISO 10077-2 [7] verwiesen, welche den Ansatz aus DIN EN ISO 10211-1 [8] übernommen hat, d.h. die Bestimmung über zweidimensionale numerische Verfahren.

Die Berechnung ergibt für übliche Glas-Rahmen- und Randverbund-Systeme  $\Psi$ -Werte von 0,04 bis 0,11  $\text{W}/(\text{mK})$  [8]. Weiterhin zeigt sich, daß für Zwei- und Dreifachverglasungen sowie für Holz- und Kunststoffrahmen nur geringe Unterschiede auftreten, bei Aluminiumrahmen die  $\Psi$ -Werte jedoch "signifikant höher liegen" [8].

Tabelle 2: Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$  für Abstandhalter aus Aluminium und Stahl (kein rostfreier Stahl). Gültig für: Zweischeiben-Isolierverglasung ( $U_g = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) oder Dreischeiben-Isolierverglasungen ( $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), Luft- oder Gaszwischenraum und Beschichtungen mit niedrigem Emissionsgrad (bei Dreischeiben-Isolierverglasung zwei Beschichtungen) [2].

Rahmenwerkstoff	Unbeschichtetes Glas $\Psi$ [ $\text{W}/(\text{mK})$ ]	Beschichtetes Glas $\Psi$ [ $\text{W}/(\text{mK})$ ]
Holz- und Kunststoffrahmen	0,04	0,06
Metallrahmen mit wärmetechnischer Trennung	0,06	0,08
Metallrahmen ohne wärmetechnische Trennung	0	0,02

Gläser [9] schlägt zur Vereinfachung der Berechnungen vor, daß sich die Fensterindustrie an den Zielgrößen  $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und  $U_g = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  orientieren solle, bei einer vergrößerten Falztiefe

von 25-30 mm, was zu einer Verringerung des Randeinflusses hin zu einer vernachlässigbaren Größe führen würde.

#### 4.4 Fenster

Für die Ermittlung des U-Wertes gem. oben beschriebenen Ansatz ist die Erfassung der Fenstergeometrie im Vergleich zum bisherigen Verfahren merklich aufwendiger. Der pauschale Ansatz, den Rahmenanteil auf 30 % festzulegen, ist hier nicht mehr vorgesehen. Darüber hinaus ist die Angabe des Rohbaumaßes nicht mehr ausreichend, da für die Umlauflänge der Abstandhalter der sichtbare Umfang der Glasscheibe anzugeben ist, die sich aus der Breite von Blend- und Flügelrahmen ergibt. Bei geteilten Fenstern und v.a. Sprossenfenstern wird der zusätzliche Rechenaufwand erst recht deutlich und wird darüber hinaus erschwert durch fehlende Angaben zur Fenstergeometrie.

Die Abhängigkeit des Wärmebrückeneinflusses von der Größe und den Seitenverhältnisse des Fensters ist in Bild 2 wiedergegeben.

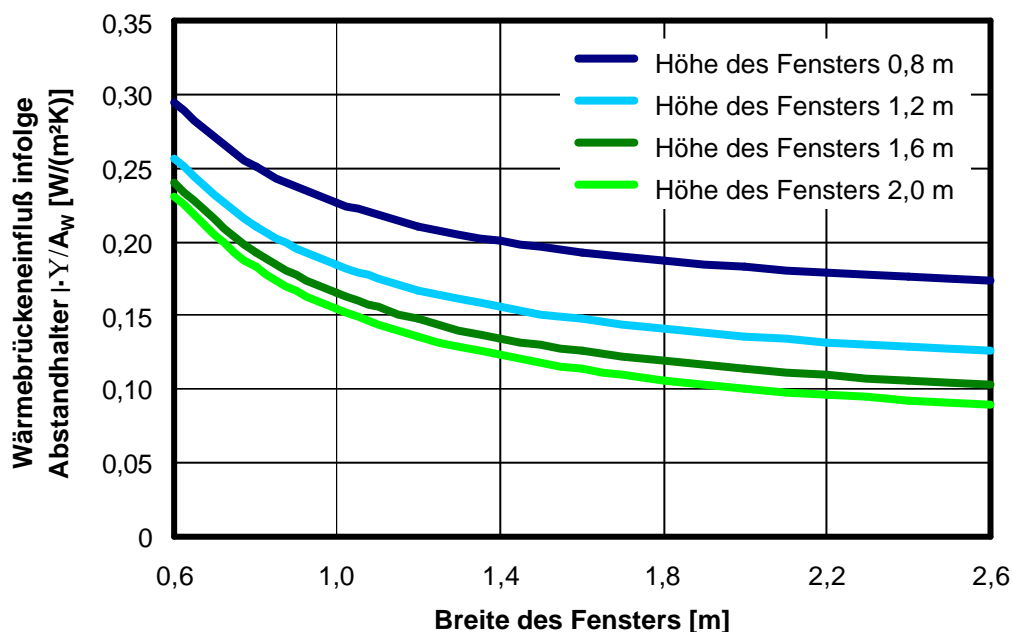


Bild 2: Wärmebrückenanteil in Abhängigkeit von der Fensterbreite für unterschiedliche Fensterhöhen. Rahmenanteil 30 %,  $\Psi$ -Wert des Abstandhalters 0,06 W/(mK).

Wie eingangs erwähnt, bietet prEN ISO 10077-1 über die Möglichkeit der Berechnung des  $U_w$ -Wertes aus den beschriebenen Einzelgrößen hinaus auch eine tabellarische Bestimmung der resultierenden Wärmedurchgangskoeffizienten. Wie in Tabelle 3 wiedergegeben, kann für einen Rahmenanteil von 30 % - eine weitere Tabelle bezieht sich auf einen Flächenanteil des Rahmens von 20 % - abhängig von den U-Werten von Verglasung und Rahmen direkt der  $U_w$ -Wert des Fensters entnommen werden, unabhängig von der Fenstergeometrie und dem  $\Psi$ -Wert des Abstandhalters.

Die Vernachlässigung der geometrischen Gegebenheiten vereinfacht die Bestimmung des resultierenden Wertes enorm, da die aufwendige Bestimmung der Umlauflänge der jeweiligen Fenstergröße und -aufteilung entfällt. Die Gültigkeit der U-Werte ist jedoch beschränkt auf den genannten Rahmenanteil sowie die Einschränkungen bei der Verwendung der  $\Psi$ -Werte gem. Tabelle 2.

Den Geometrieinfluss auf den rechnerisch ermittelten U-Wert gibt Tabelle 4 wieder.

Tabelle 3: Typische Werte für den Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern  $U_W$  unter Verwendung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten gem. Tabelle 2 für einen Flächenanteil des Rahmens von 30 % [2].

Art der Verglasung	$U_g$ W/(m <sup>2</sup> K)	$U_W$ W/(m <sup>2</sup> K)								
		$U_f$ W/(m <sup>2</sup> K)								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Einscheibenverglasung	<b>5,7</b>	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
Zweischeiben-Isolierverglasung	<b>3,3</b>	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4
	<b>3,1</b>	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	4,3
	<b>2,9</b>	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	4,1
	<b>2,7</b>	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0
	<b>2,5</b>	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9
	<b>2,3</b>	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8
	<b>2,1</b>	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,6
	<b>1,9</b>	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	<b>1,7</b>	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	<b>1,5</b>	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
Dreischeiben-Isolierverglasung	<b>1,3</b>	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	<b>2,3</b>	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,7
	<b>2,1</b>	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,6
	<b>1,9</b>	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4
	<b>1,7</b>	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	3,3
	<b>1,5</b>	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	<b>1,3</b>	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	<b>0,9</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
<b>0,7</b>	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6	
<b>0,5</b>	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5	

Tabelle 4: Rechenwerte für  $U_W$  für unterschiedliche Seitenverhältnisse des Fensters ( $A_W = 1 \text{ m}^2$ ) und verschiedene U-Werte für Verglasung, Rahmen und Abstandhalter. Rahmenanteil 30 %.

$U_g$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	$U_f$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	$k_F$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	$U_W$ W/(m <sup>2</sup> K)								
			Wärmebrückenverlustkoeffizient Abstandhalter								
			$\Psi = 0,06 \text{ W/(mK)}$			$\Psi = 0,05 \text{ W/(mK)}$			$\Psi = 0,04 \text{ W/(mK)}$		
			Verhältnis Höhe / Breite ( $A_W = 1 \text{ m}^2$ )								
			1 : 1	1 : 1,5	1 : 2	1 : 1	1 : 1,5	1 : 2	1 : 1	1 : 1,5	1 : 2
1,4	1,66	1,48	1,68	1,68	1,70	1,65	1,65	1,66	1,61	1,62	1,62
1,2	1,66	1,34	1,54	1,54	1,56	1,51	1,51	1,52	1,47	1,48	1,48
1,1	1,66	1,27	1,47	1,47	1,49	1,44	1,44	1,45	1,40	1,41	1,41
1,0	1,66	1,20	1,40	1,40	1,42	1,37	1,37	1,38	1,33	1,34	1,34
0,8	1,3	0,95	1,15	1,16	1,17	1,12	1,12	1,13	1,08	1,09	1,10
0,7	1,3	0,88	1,08	1,09	1,10	1,05	1,05	1,06	1,01	1,02	1,03
0,6	1,3	0,81	1,01	1,02	1,03	0,98	0,98	0,99	0,94	0,95	0,96

## 5 Beispiel

Der o.g. Ansatz zur Bestimmung des  $U_W$ -Wertes von Fenstern wird im folgenden anhand eines Beispiels erläutert.

$$A_W = 1,23 \text{ m} \cdot 1,48 \text{ m} = 1,82 \text{ m}^2$$

$$A_g = 1,00 \text{ m} \cdot 1,22 \text{ m} = 1,22 \text{ m}^2$$

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

$$A_f = A_W - A_g = 1,82 \text{ m}^2 - 1,22 \text{ m}^2 = 0,60 \text{ m}^2$$

$$U_f = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

(entspricht einem Rahmenanteil von 33 %)

$$\ell = 2 \cdot 1,00 \text{ m} + 2 \cdot 1,22 \text{ m} = 4,44 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,06 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_W = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + \ell_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f} = \left( \frac{1,22 \cdot 1,3 + 0,60 \cdot 1,8 + 4,44 \cdot 0,06}{1,22 + 0,60} \right) \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} = 1,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Der Wärmebrückenanteil am resultierenden  $U_W$ -Wert entspricht in diesem Beispiel ca. 9 %. Aus Tabelle 3 ergibt sich mit den genannten U-Werten für Verglasung und Rahmen ein Wert von  $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , was einer guten Näherung entspricht. Zum Vergleich ergibt sich für  $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und  $U_f = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  eine  $U_W$ -Wert von  $1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , der Tabellenwert von  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  wäre hier nicht mehr zulässig.

## 6 Literatur

- [1] EN ISO 6946: Bauteile - Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren. November 1996.
- [2] prEN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren. Schlußentwurf März 1999.
- [3] DIN 4108-4: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 4: Wärme- und Feuchteschutztechnische Kennwerte. November 1991.
- [4] DIN V 4108-4: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 4: Wärme- und Feuchteschutztechnische Kennwerte. März 1998.
- [5] DIN EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. November 1995.
- [6] EN 673: Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Berechnungsverfahren. Januar 1999.
- [7] DIN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen. Entwurf Februar 1999.
- [8] *Feldmeier, F.*: Thermische Bewertung des Isolierglasverbundes. GFF - Zeitschrift für Glas, Fenster, Fassade, H. 2/2000, S. 16-19.
- [9] *Gläser, J.*: Anmerkungen zum Wärmeverlust am Rande von Isolierscheiben bei Fenstern. GFF - Zeitschrift für Glas, Fenster, Fassade, H. 9/1999, S. 16-22.