

# Fassaden-U-Wert - mehr als nur Fläche

U-Werte von Fenstern und Fassaden sind ein wichtiges Kriterium bei der energetischen Betrachtung von Gebäuden. In der Berechnung gibt es aber einige Stolpersteine, welche zu beachten sind: Der U-Wert einer Fassade ( $U_{cw}$ ) ist mehr als nur die Summe der U-Werte von Profil, Glas und Paneel. Oft werden die linearen Zuschläge für Glas- und Paneel-Randverbund (Psi-Werte) zu wenig beachtet, obwohl sie das Ergebnis deutlich beeinflussen. Text und Grafiken: Susanne Gosztonyi und Thomas Wüest  
 MSc Ing. FHZ/SIA, wissenschaftlicher Mitarbeiter Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Institut für Bauingenieurwesen IBI, CC Gebäudehülle, Bild: Redaktion

**Aufgrund vielseitiger Anfragen möchten das Kompetenzzentrum** Gebäudehülle der Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Ausführende und Planer auf die Problematiken bei der Berechnung von U-Werten für Vorhangfassaden aufmerksam machen. Insbesondere in frühen Projektstadien werden U-Werte vereinfacht betrachtet und als ausreichend tief erachtet, die Überraschung folgt beim Nachweis, wenn das Fenster oder die Fassadenkonstruktion nicht die geforderten Werte erreicht.

Bei der vereinfachten U-Wert-Berechnung für Fenster und Fassaden kann das Ergebnis bei bekannten U-Werten für Glas, Paneel und Profil sowie den Flächenanteilen relativ schnell überschlagen werden. Bei grossformatigen Elementen mit einer Glasfüllung, also einem hohen Glasflächenanteil, liegt der gesamte U-Wert bekanntlich nahe an dem des Glases, möchte man meinen. Diese Annahme ist jedoch nur die halbe Wahrheit. Oftmals vernachlässigt man hierbei die linearen Zuschläge für den Glas-Randverbund (Psi-Wert oder  $\psi$ -Wert). Und wenn bei der Glasbestellung noch der günstige Aluminium-Abstandhalter gewählt wird, kann es bei einem späteren  $U_{cw}$ -Wert-Nachweis zu beachtenswerten Abweichungen der Annahme kommen.

## 1. Die Stolpersteine der $U_{cw}$ -Berechnung

Während bei Fenstern oftmals nur Profil und Glas zum Einsatz kommen, ist die Ausgangslage bei Vorhangfassaden, z. B. bei Pfosten-Riegel-(PR)-Fassaden, oft etwas komplexer. Aus diesem Grund unterscheidet man in SN EN ISO 10077 für Fenster (Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten) und in SN EN 12631 für Vorhangfassaden (Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten). Die häufigsten Stolpersteine sind unabhängig von Fenster oder Vorhangfassade:

- Richtiger Glas- $\psi$ -Wert
- Paneel- $\psi$ -Wert
- Linearer Zuschlag für die Verschraubung

### 1.1. Der richtige Psi-Wert des Glases

Der erste Stolperstein Glas-Psi-Wert scheint auf dem ersten Blick banal. Auf der Suche nach dem Abstandhalter-Produkt und dem entsprechenden Psi-Wert sind Tabellen beim Hersteller, Fachverband oder auf der Website des ift Rosenheim schnell gefunden. In erster Linie findet man dafür Tabellen für Fenster in Holz, Holz-Metall, Kunststoff und Metall mit wärmetechnischer Trennung, welche oft auch

für Pfosten-Riegel- oder gar Structural-Sealant Glazing (SSG)-Fassaden verwendet werden. Die geläufige Annahme, dass es sich dabei ja um dasselbe Glas und denselben Randverbund handelt und das schon passen wird, führt zu einem Irrtum mit Konsequenzen. Die Psi-Werte in Pfosten-Riegel-Fassaden sind naturgemäss höher, da die Wärmebrücke des Randverbundes geometrisch bedingt ausgeprägter ist.

Der längenbezogene Zuschlag für den Glas-Randverbund in PR-Fassaden kann 30 bis 100% höher als jener für Fensterrahmen liegen (abhängig von Produkt und Rahmenmaterial). Anhand eines beispielhaften technischen Datenblattes für einen thermisch optimierten Randverbund wird dies schnell ersichtlich:

- Psi-Werte für Holz-Metall-Fensterrahmen: 0.043 W/mK bzw. für Holz-Metall-PR-Fassade: 0.066 W/mK,
- Psi-Werte für Metall-Fensterprofil mit wärmetechnischer Trennung: 0.048 W/mK bzw. für PR-Fassaden: 0.089-0.094 W/mK (abhängig von der Profiltiefe).

### 1.2. Paneel-Psi-Wert

Dass auch Paneele, welche meist nur aus zwei Blechen und Isolation bestehen, einen Psi-Wert besit-

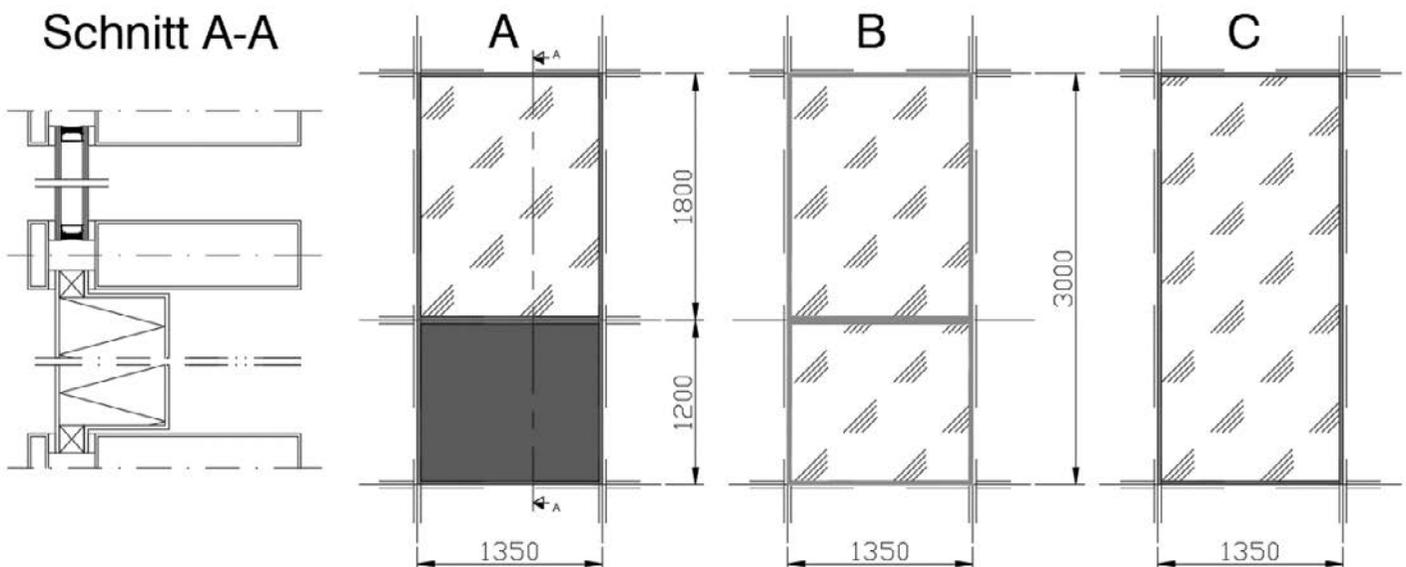


Abbildung 1: Schematischer Fassadenschnitt AA (links) und repräsentative Fassadenansichten A, B und C.



Diese Annahme, dass bei grossformatigen Elementen mit Glasfüllung der gesamte U-Wert nahe bei dem des Glases liegt, ist nur die halbe Wahrheit.

zen, wird oft vernachlässigt. Der Grund dafür liegt darin, dass bei der Berechnung des U-Wertes von Profilen nach SN EN ISO 10077-2 kein echtes Glas oder Paneel eingesetzt wird, sondern eine Maske mit definierter Wärmeleitfähigkeit. Dadurch führen bereits geringfügige Veränderungen, materialbezogene oder geometrische, zu zusätzlichen Wärmeströmen, welche dann oft nicht berücksichtigt werden und der entsprechende Psi-Wert nicht angewendet wird. Es ist auch zu bedenken, dass es selbst bei durchgängiger Isolation mit beidseitig flachen Aluminiumblechen zu Wechselwirkungen zwischen Profil und Füllung kommt.

Zusätzlich werden oft druckfeste Materialien im Randbereich angeordnet, welche eine weitere Wärmebrücke verursachen können. In der Regel besitzen diese auch eine höhere Wärmeleitfähigkeit als das Isolationsmaterial und führen somit zu höheren Psi-Werten.

**1.3. Linearer Zuschlag für die Verschraubung**  
Punktförmige Wärmebrücken, wie z. B. Verschraubungen, werden in der Regel bei Fensterprofilen vernachlässigt und bei U-Wert-Nachweisen ausgeklammert. Es ist durchaus so, dass die Normen erlauben, gewisse Vereinfachungen zu treffen und lokale Unregelmäßigkeiten zu vernachlässigen (z. B. Klotzung, Beschlüge usw.). So werden diese im Teil 2 der SN EN ISO 10077-2 (Teil 2: Numerisches Ver-

fahren für Rahmen) explizit ausgeklammert. Im Fall von PR-Fassaden sind Wärmebrücken durch die Verschraubung systembedingt und regelmässig vorhanden, wodurch sie entsprechend zu berücksichtigen sind. Die SN EN ISO 12631 schliesst daher diese Lücke in der SN EN ISO 10077-2 und erklärt damit den eingangs erwähnten Unterschied in der Ausgangslage. Dazu kann entweder der Richtwert gemäss Anhang der SN EN ISO 12631 oder ein berechneter Wert aus einer thermischen Finite-Elemente (FE)-Berechnung eingesetzt werden.

Diese drei Faktoren sind am häufigsten für die Abweichungen des  $U_{cw}$ -Werts verantwortlich. Wie gross diese Abweichung sein kann, zeigt das folgende Fallbeispiel auf.

## 2. Fallbeispiel

Im Fallbeispiel werden drei PR-Fassadenkonstruktionen (A, B, C) gemäss **Abbildung 1** schrittweise analysiert und die Ergebnisse miteinander verglichen. Dabei werden folgende Eingaben verwendet, welche lediglich der exemplarischen Veranschaulichung dienen:

- U-Glas  $U_g = 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- U-Paneel  $U_p = 0.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- U-Rahmen  $U_r = 2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Die Achsmasse sind in **Abbildung 1** ersichtlich, die Pfosten- und Riegelprofile werden verein-

fachend als identisch betrachtet und mit einer Ansichtsbreite von 50 mm berücksichtigt.

Daraus ergeben sich folgende Flächen:

- Glasfläche für Element A,  $A_{g,A} = 2.28 \text{ m}^2$
- Glasfläche für Element B  $A_{g,B} = 3.78 \text{ m}^2$
- Glasfläche für Element C  $A_{g,C} = 3.84 \text{ m}^2$
- Paneelfläche für Element A,  $A_{p,A} = 1.5 \text{ m}^2$
- Rahmenflächen Element A & B,  $A_{r,AB} = 0.28 \text{ m}^2$
- Rahmenflächen Element C,  $A_{r,C} = 0.215 \text{ m}^2$

Die Berechnung des U-Wertes für Vorhangfassaden ( $U_{cw}$ ) erfolgt nach SN EN 12631 gemäss folgender Formel (s. **Abbildung A**).

Gemäss SN EN 12631 ist der  $U_{cw}$ -Wert mit «zwei signifikanten Ziffern» anzugeben. Dies bedeutet in der Regel auf eine Nachkommastelle zu runden, dadurch wird z. B. 0.85 zu 0.9 und 1.05 zu 1.1 gerundet. Um die Sensitivität besser aufzeigen zu können, werden in dieser Rechnung jedoch bewusst zwei Nachkommastellen angegeben.

## 2.1. Schritt 1: Überschlagsrechnung

Zu Beginn wird die Überschlagsrechnung vorgestellt, wobei die längenbezogenen Psi-Werte ( $\psi_i$ ) vernachlässigt werden. Exemplarisch an Element A ergibt sich folgender  $U_{cw}$ -Wert (s. **Abbildung B**).

>

Abbildung A: 
$$U_{cw} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_i \cdot \psi_i}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_f}$$

Abbildung B: 
$$U_{cw,A} = \frac{2.28 \text{ m}^2 \cdot 1.0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K} + 1.5 \text{ m}^2 \cdot 0.4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K} + 0.28 \text{ m}^2 \cdot 2.0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}}{2.28 \text{ m}^2 + 1.5 \text{ m}^2 + 0.28 \text{ m}^2} = 0.85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

## FASSADENTECHNIK

> Für Element B und C ergeben sich nach demselben Vorgehen die Werte  $U_{cw,B} = 1.07 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und  $U_{cw,C} = 1.05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

### 2.2. Schritt 2: Zusätzliche, wärmetechnisch optimierte Abstandhalter

In diesem Schritt werden zusätzlich die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Psi-Wert) von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern für Glas und Paneel gemäss SN EN 12631 berücksichtigt. Der  $U_{cw}$ -Wert für Element A steigt damit an (s. Abbildung C).

Analog steigen die Ergebnisse auch für Elemente B und C:  $U_{cw,B} = 1.50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und  $U_{cw,C} = 1.25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

### 2.3. Schritt 3: Berücksichtigung von Verbindungsmitteln

Zur Berücksichtigung der Verbindungsmittel in PR Fassaden stellt die SN EN 12631 einen Zuschlag auf den Rahmen- $U_F$ -Wert von  $0.3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  bereit, wodurch sich die  $U_{cw}$ -Werte folgendermassen verändern (s. Abbildung D).

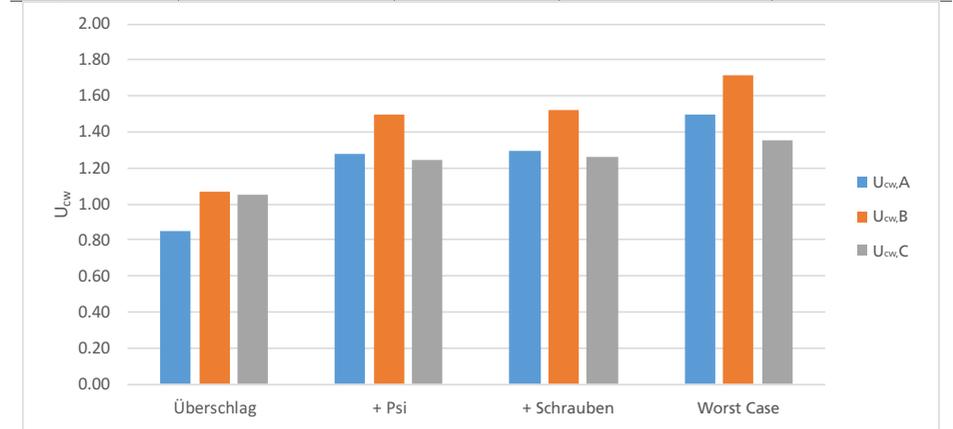
$U_{cw,B} = 1.52 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und  $U_{cw,C} = 1.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

### 2.4. Schritt 4: Thermisch, nicht verbesserte Abstandhalter (Worst Case)

Zum Schluss ersetzen wir die Psi-Werte für Glas und Paneel durch schlechtere Werte nach SN EN 12631, welche bei Glas üblichen Aluminium-Abstandhaltern und bei Paneelen in etwa zementgebundenen Randmaterialien entsprechen. Wobei dies lediglich den Worst Case für Konstruktionen abbildet, bei denen die Tabellen nach Norm anwendbar sind. Insbesondere bei SSG-Verglasungen oder Paneelen mit gekanteten Blechen können deutlich höhere Psi-Werte auftreten (s. Abbildung E).

$U_{cw,B} = 1.72 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und  $U_{cw,C} = 1.35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

	Überschlag	+ Psi	+ Schrauben	Worst Case
$U_{cw,A}$	0.85	1.28	1.30	1.49
$U_{cw,B}$	1.07	1.50	1.52	1.72
$U_{cw,C}$	1.05	1.25	1.26	1.35



### Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse.

#### 3. Zusammenfassung

Es zeigt sich in den Berechnungen deutlich, dass alle Elemente mit zunehmender Detailbetrachtung auch deutlich höhere  $U_{cw}$ -Werte aufweisen. In dem Beispiel liegt die Differenz zwischen Überschlagsrechnung und korrekter Berechnung mit wärmetechnisch optimierten Abstandhaltern und Schraubenanteil bei +20 bis +50%. Der Einfluss der längenbezogenen Psi-Werte zeigt sich deutlich an den Elementen B und C, welche im Schritt 1 noch fast identisch sind ( $1.05 / 1.07$ ) und ab Schritt 2 auseinander-

klaffen ( $1.50 / 1.25$ ). Werden die Randverbindungsdetails nicht nur bei der Berechnung, sondern auch in der Ausführung vernachlässigt, wird die Differenz zwischen Überschlagsrechnung und Worst-Case-Berechnung mit +30 bis +75% noch höher.

Nach SIA 380-1 *Thermische Energie im Hochbau* ist der Einzelbauteilnachweis für Vorhangfassaden nicht zulässig, da die lichten Masse nicht genau definiert sind. Bei Fenstern gilt, derzeit, ein Grenzwert von  $1.0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,

### Die Problematik der Psi-Werte ist nicht nur ein Thema bei Vorhangfassaden.

Abbildung C: 
$$U_{cw,A} = \frac{2.28m^2 \cdot 1.0 W/m^2K + 1.5m^2 \cdot 0.4 W/m^2K + 0.28m^2 \cdot 2.0 W/m^2K + 6m \cdot 0.13 W/mK + 4.8m \cdot 0.2 W/mK}{2.28m^2 + 1.5m^2 + 0.28m^2} = 1.28 W/m^2K$$

Abbildung D: 
$$U_{cw,A} = \frac{2.28m^2 \cdot 1.0 W/m^2K + 1.5m^2 \cdot 0.4 W/m^2K + 0.28m^2 \cdot 2.3 W/m^2K + 6m \cdot 0.13 W/mK + 4.8m \cdot 0.2 W/mK}{2.28m^2 + 1.5m^2 + 0.28m^2} = 1.30 W/m^2K$$

Abbildung E: 
$$U_{cw,A} = \frac{2.28m^2 \cdot 1.0 W/m^2K + 1.5m^2 \cdot 0.4 W/m^2K + 0.28m^2 \cdot 2.3 W/m^2K + 6m \cdot 0.19 W/mK + 4.8m \cdot 0.29 W/mK}{2.28m^2 + 1.5m^2 + 0.28m^2} = 1.49 W/m^2K$$

was zumindest auch einen Richtwert für Vorhangfassaden darstellt. Die Problematik der Psi-Werte ist jedoch nicht nur ein Thema bei Vorhangfassaden, auch bei «normalen» Fenstern können diese den gesamt U-Wert deutlich beeinflussen.

Man möge nun anführen, dass ein 2-fach-Isolierglas mit  $U_g = 1.0 W/(m^2K)$  nicht mehr

ganz dem Stand der Technik entspricht, aber auch mit 3-fach-Isolierglas mit  $U_g = 0.6 W/(m^2K)$  würden die  $U_{cw}$ -Werte im Bereich von 0.9-1.2 variieren. Zu bedenken ist auch, dass mit abnehmendem Format der Einfluss der Glasfläche gegenüber den Profilen und Psi-Werten abnimmt, was wiederum zu einer Verschlechterung des  $U_{cw}$ -Wertes führt. ■

Das Fachregelwerk Metallbauerhandwerk - Konstruktionstechnik enthält im Kap. 2.8 wichtige Informationen zum Thema «Warmfassaden».

