

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 ψ -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- ψ -Wert
- Paneel- ψ -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:

- a) Psi-Werte für Holz-Metall-Fensterrahmen: 0.043 W/mK bzw. für Holz-Metall-PR-Fassade: 0.066 W/mK,
- b) 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-

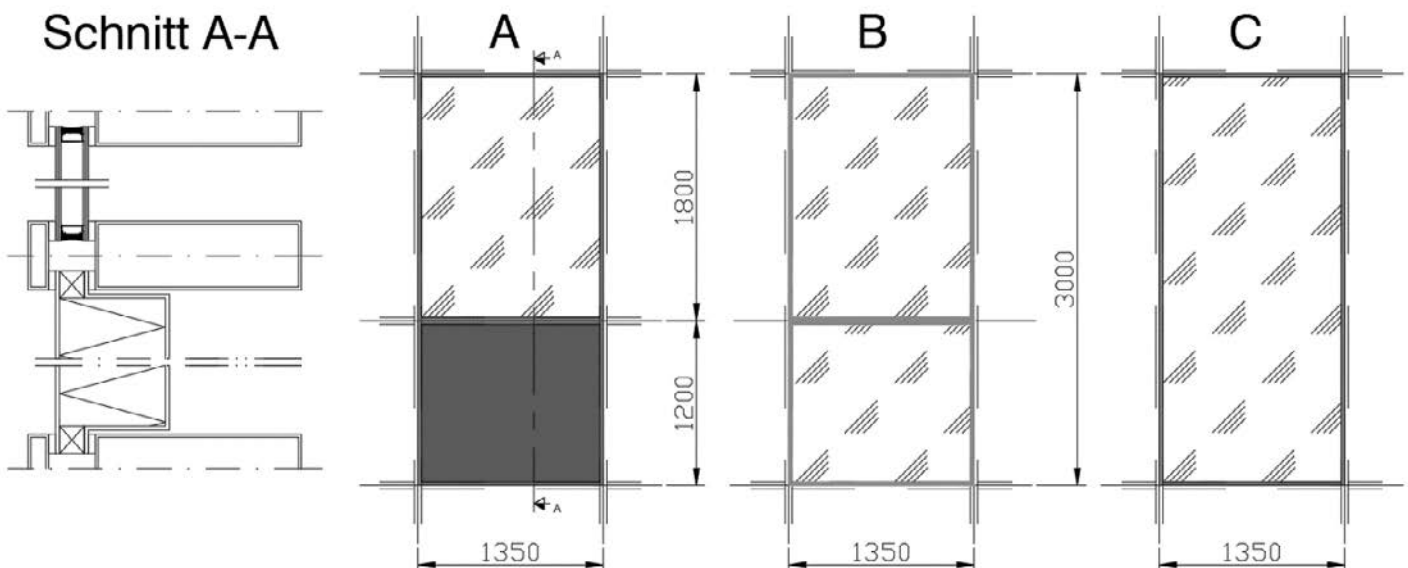


Abbildung 1: Schematischer Fassadenschnitt AA (links) und repräsentative Fassadenansichten A, B und C.



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 (ψ_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).

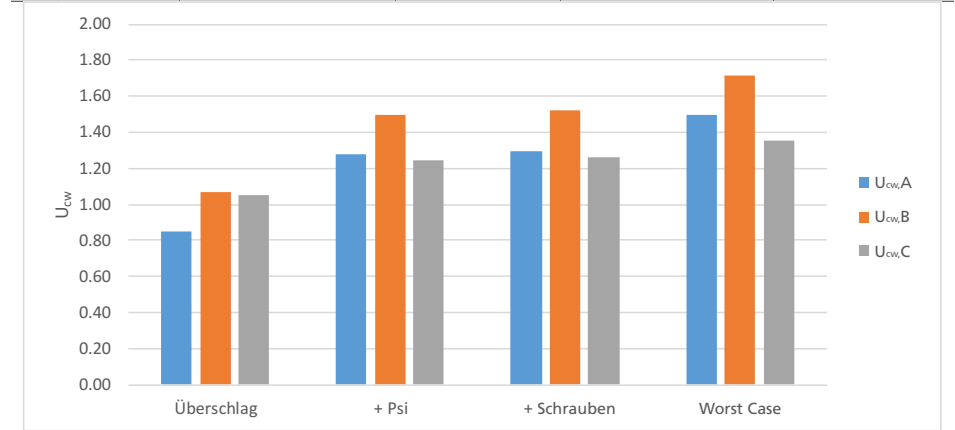
$U_{cw,B} = 1.52 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und $U_{cw,C} = 1.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

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

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

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

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 $U_g = 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht mehr

ganz dem Stand der Technik entspricht, aber auch mit 3-fach-Isolierglas mit $U_g = 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 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».



Valeur U des façades : plus qu'une simple question de surface

Les valeurs U des fenêtres et façades sont un critère essentiel lorsqu'il est question d'économies d'énergie. Leur calcul nécessite néanmoins de tenir compte de certains points : La valeur U d'une façade (U_{cw}) représente bien plus que la somme des valeurs U des profilés, du verre et des panneaux. Souvent, les suppléments linéaires pour le joint périphérique au niveau du verre et des panneaux (valeurs Psi) sont négligés, malgré leur impact notable sur le résultat. Texte et graphiques : Susanne Gosztonyi et Thomas Wüest MSc Ing. FHZ/SIA, Collaborateur scientifique Haute école de technique et d'architecture de Lucerne, Institut de génie civil, Centre de compétences Enveloppe du bâtiment de l'IBI, Photo : rédaction.

Die deutsche Fassung erschien in der Ausgabe vom Mai 2019.

En raison de nombreuses demandes, le centre de compétences Enveloppe du bâtiment de la Haute école de technique et d'architecture de Lucerne souhaite attirer l'attention des exécutants et des planificateurs sur les problèmes rencontrés lors du calcul des valeurs U pour les façades-rideaux.

Durant les premiers stades d'un projet, les valeurs U sont étudiées de manière simplifiée et jugées amplement suffisantes ; la surprise est alors d'autant plus grande lorsqu'il apparaît finalement que la fenêtre ou les façades n'atteignent pas les valeurs requises.

Lors du calcul simplifié de la valeur U pour les fenêtres et façades, le résultat pour les valeurs U connues du verre, des panneaux et des profilés ainsi que des portions de surface, est rapidement appréciable. Dans le cas de grands éléments avec une part importante occupée par les surfaces vitrées, l'on serait tenté de penser que la valeur U totale est proche de celle du verre. Cette supposition est vraie, mais en partie seulement. En effet, les suppléments linéaires pour le joint périphérique du verre (valeur Psi ou valeur ψ) sont souvent

négligés. De plus, si l'on opte pour les écarteurs en aluminium lors de la commande du verre, la valeur U_{cw} calculée ultérieurement et la valeur théorique peuvent présenter un écart significatif.

1. Les difficultés rencontrées lors du calcul de U_{cw}

Tandis que les fenêtres se composent majoritairement de profilés et de verre, la situation de départ est souvent plus complexe dans le cas des façades-rideaux, p. ex. les façades poteaux-traverses (PT). C'est pourquoi on distingue la norme SN EN ISO 10077 pour fenêtres (Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique) de la norme SN EN 12631 pour façades-rideaux (Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique). Les principales difficultés ne dépendent pas de la fenêtre ou de la façade-rideau :

- valeur ψ correcte du verre
- valeur ψ du panneau
- supplément linéaire pour le vissage

1.1. La valeur Psi correcte du verre

La première difficulté, à savoir la valeur Psi du verre, semble de prime abord banale. Lorsque l'on recherche un écarteur et une valeur Psi correcte, les tableaux correspondants sont disponibles auprès du fabricant, de l'association professionnelle ou sur le site web de l'ift Rosenheim. Ces tableaux concernent principalement les fenêtres en bois, en bois-métal, en plastique et en métal avec séparation thermique, souvent utilisées pour les façades PT ou de type Structural Sealant Glazing (SSG). L'hypothèse courante selon laquelle le verre et le joint périphérique demeurent inchangés pour une compatibilité en toutes circonstances est fautive et a des conséquences. Les valeurs Psi pour les façades PT sont naturellement plus élevées, les ponts thermiques du joint périphérique étant plus importants du fait de la géométrie. Le supplément linéique pour le joint périphérique du verre dans les façades PT peut être 30 à 100 % plus élevé que celui des encadrements de fenêtres (selon le produit et le matériau de l'encadrement).

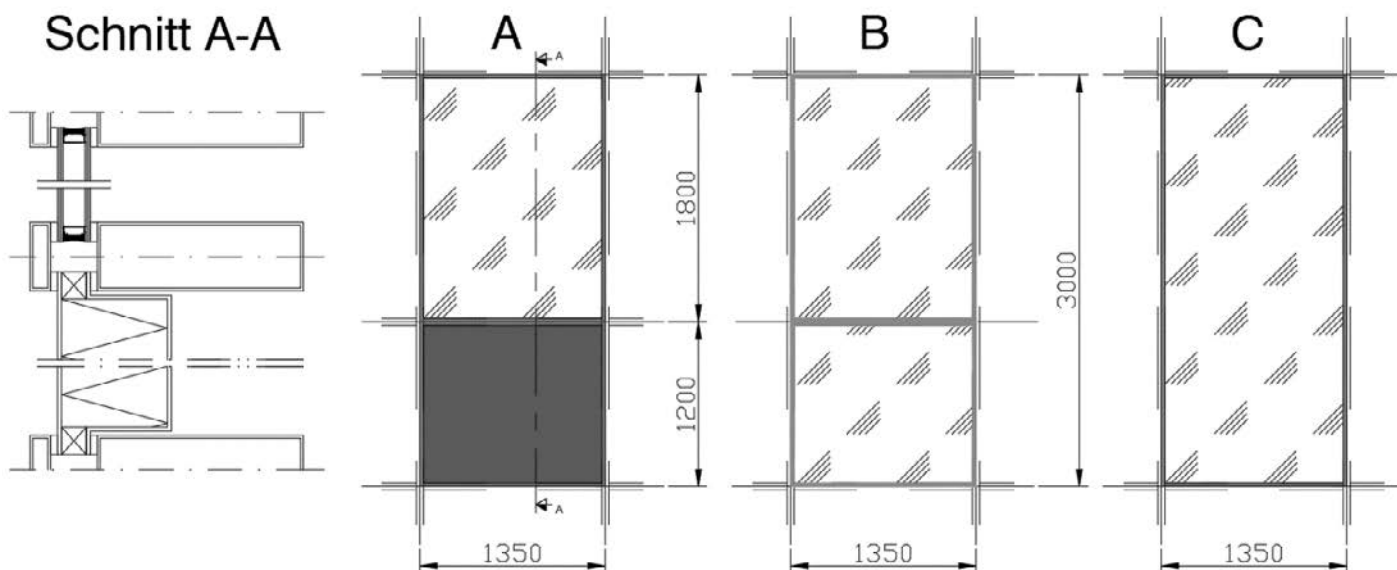


Illustration 1: Coupe schématique de la façade AA (gauche) et vues représentatives des façades A, B et C.



La supposition selon laquelle la valeur U globale des grands éléments avec remplissage en verre est quasiment identique à celle du verre est vraie, mais en partie seulement.

Un exemple de fiche technique pour joint périphérique thermiquement optimisé atteste de cet écart :

- a) valeurs Psi pour encadrements de fenêtres bois-métal : 0,043 W/mK ou pour bois-métal ou pour façade PT : 0,066 W/mK,
- b) valeurs Psi pour profilé de fenêtre métallique avec séparation thermique : 0,048 W/mK ou pour façades PT : 0,089-0,094 W/mK (selon la profondeur des profilés).

1.2. Valeur Psi des panneaux

Le fait que des panneaux se composant généralement de deux tôles et d'isolation puissent présenter une valeur Psi est souvent négligé. En effet, lors du calcul de la valeur U des profilés selon SN EN ISO 10077-2, on utilise un masque avec une conductivité thermique définie, et non du verre ou un panneau. Par conséquent, les modifications de matériau ou d'ordre géométrique, aussi minimes soient-elles, entraînent des flux de chaleur supplémentaires qui ne sont généralement pas pris en compte et ne sont pas applicables pour la valeur Psi correspondante. Gardons également à l'esprit que des interactions peuvent se produire entre le profilé et le remplissage, même dans le cas d'une isolation continue avec des tôles en aluminium, planes sur les deux côtés.

Souvent, les matériaux résistants à la compression sont disposés en bordure, ce qui peut occasionner un pont thermique supplémentaire. En principe, ces matériaux présentent un coefficient de conductivité thermique supérieur à celui du matériau isolant, et entraînent des valeurs Psi plus élevées.

1.3. Supplément linéaire pour le vissage

Les ponts thermiques en points, p. ex. vis, ne sont généralement pas pris en compte pour les profilés de fenêtres et, par conséquent, dans les attestations de performance thermique (valeur U). En réalité, les normes autorisent un certain nombre de simplifications tout en excluant des irrégularités locales (p. ex. calage, ferrures, etc.). Celles-ci sont explicitement exclues dans la partie 2 de la norme SN EN ISO 10077-2 (partie 2 : Méthode numérique pour les encadrements). Dans le cas de façades PT, les vis génèrent systématiquement des ponts thermiques devant, par conséquent, être pris en compte. La norme SN EN ISO 12631 comble ainsi une lacune de la norme SN EN ISO 10077-2 et explique la différence mentionnée plus haut dans la situation de départ. Il est donc possible d'utiliser la valeur indicative selon l'annexe de la norme SN EN ISO 12631 ou une valeur déterminée par un calcul thermique des éléments finis (EF).

Ces trois facteurs sont généralement à l'origine des écarts par rapport à la valeur U_{cw} . Le cas pratique suivant montre l'importance potentielle de cet écart.

2. Cas pratique

Trois constructions de façades PT (A, B, C) sont analysées par étapes conformément à Illustration 1 et les résultats sont comparés. Les données suivantes sont utilisées, uniquement à titre d'exemple :

- U verre $U_g = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- U panneau $U_p = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- U encadrement $U_f = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Les entraxes sont indiquées dans Illustration 1, les profilés de poteaux et de traverses sont considérés comme identiques, avec une largeur apparente de 50 mm.

Il en résulte les surfaces suivantes :

- surface vitrée pour élément A, $A_{g,A} = 2,28 \text{ m}^2$
- surface vitrée pour élément B $A_{g,B} = 3,78 \text{ m}^2$
- surface vitrée pour élément C $A_{g,C} = 3,84 \text{ m}^2$
- surface de panneau pour élément A, $A_{p,A} = 1,5 \text{ m}^2$
- surface d'encadrement pour élément A et B, $A_{f,AB} = 0,28 \text{ m}^2$
- surface d'encadrement pour élément C, $A_{f,C} = 0,215 \text{ m}^2$

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

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

TECHNIQUE DE FAÇADES

> La valeur U pour les façades-rideaux (U_{cw}) est calculée selon la formule suivante dans SN EN 12631 : (Illustration A).

Conformément à SN EN 12631, la valeur U_{cw} doit être indiquée avec « deux chiffres ». En principe, il faut donc arrondir à un chiffre après la virgule, p. ex. 0,85 à 0,9 et 1,05 à 1,1. Pour mieux illustrer la sensibilité, le résultat est indiqué avec deux chiffres après la virgule.

2.1. Étape 1 : calcul estimatif

On démarre par une présentation du calcul estimatif, pour lequel les valeurs Psi linéiques (ψ_i) sont négligées. Sur l'exemple de l'élément A, on obtient la valeur U_{cw} suivante : (Illustration B).

Pour les éléments B et C, on obtient les valeurs $U_{cw,B} = 1,07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $U_{cw,C} = 1,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ en suivant la même procédure.

2.2. Étape 2 : écarts supplémentaires, optimisés sur le plan thermique

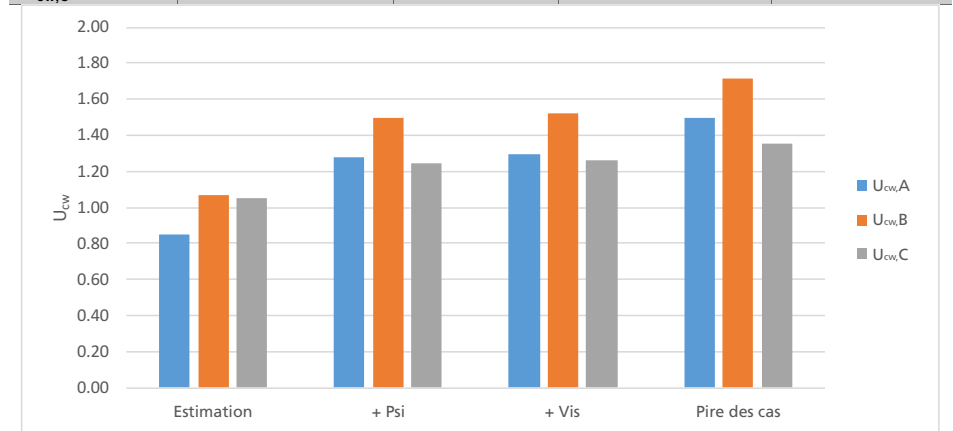
Cette étape tient également compte des coefficients de transfert thermique linéiques (valeur Psi) des écarts optimisés sur le plan thermique, pour verre et panneaux, selon SN EN 12631. De ce fait, la valeur U_{cw} pour l'élément A augmente : (Illustration C).

Il en va de même pour les résultats des éléments B et C : $U_{cw,B} = 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $U_{cw,C} = 1,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

2.3. Étape 3 : prise en compte des dispositifs de fixation

Pour la prise en compte des dispositifs de fixation dans les façades PT, la norme SN EN 12631 prévoit un supplément sur la valeur U_f des encadrements de $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ce qui modifie les valeurs U_{cw} comme suit ; (Illustration D).

	Estimation	+ Psi	+ Vis	Pire des cas
$U_{cw,A}$	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



Résumé des résultats de calcul.

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

2.4. Étape 4 : écarts non optimisés sur le plan thermique (pire des cas)

Enfin, nous remplaçons les valeurs Psi du verre et des panneaux par des valeurs plus médiocres selon SN EN 12631, correspondant pour le verre à des écarts en aluminium classiques et pour les panneaux, à des matériaux de bordure liés au ciment. Ceci représente le pire des scénarios pour les constructions pour lesquelles les tableaux s'appliquent

selon la norme. Des valeurs Psi nettement plus élevées peuvent être obtenues, notamment pour les vitrages SSG ou les panneaux avec tôles pliées. (Illustration E).

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

3. Résumé

Les calculs montrent que les éléments détaillés présentent tous des valeurs U_{cw} nettement supérieures. Dans l'exemple, la différence entre le calcul estimatif et le calcul réel avec

« La question des valeurs Psi n'est pas uniquement soulevée pour les façades-rideaux puisqu'elles peuvent aussi sensiblement influencer la valeur U globale des fenêtres »

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

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

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

les écarteurs thermiquement optimisés et les vis varie entre +20 et +50 %. L'influence des valeurs Psi linéiques est évidente sur les éléments B et C ; ces valeurs sont encore quasiment identiques dans l'étape 1 (1,05 / 1,07) mais divergent à partir de l'étape 2 (1,50 / 1,25). Si le joint périphérique est négligé à la fois lors du calcul et de l'exécution, la différence entre le calcul estimatif et le calcul du pire des cas augmente et se situe entre +30 et +75 %.

Selon la norme SIA 380-1 sur l'énergie thermique dans le bâtiment, le justificatif par performances ponctuelles pour les façades-rideaux n'est pas fiable, les dimensions libres n'étant pas définies avec précision. Pour les fenêtres, la valeur limite actuelle est de 1,0 W/(m²K), ce qui représente une valeur indicative pour les façades-rideaux. La question des valeurs Psi n'est pas uniquement soulevée pour les façades-rideaux puisqu'elles peuvent aussi sensiblement influencer la valeur U globale

des fenêtres « normales ». On peut désormais affirmer qu'un double vitrage isolant avec $U_g = 1,0 W/(m^2K)$ n'est plus tout à fait conforme au niveau actuel de la technique, tandis que pour un triple vitrage isolant et $U_g = 0,6 W/(m^2K)$, les valeurs U_{cw} pourraient varier entre 0,9 et 1,2. Il faut également garder à l'esprit que l'influence des petites surfaces vitrées diminue par rapport aux profilés et aux valeurs Psi, d'où une aggravation de la valeur U_{cw} . ■