

# U-Werte geneigter Verglasungen

Derzeit wird das Thema der  $U_g$ -Werte von geneigten Verglasungen in der Branche diskutiert. Der Grund für diese Diskussion sind aktuelle Rechtsstreitigkeiten und Gutachten, welche die bisherige Praxis in der Branche, die U-Werte prinzipiell nur für den senkrechten Fall anzugeben, in Frage stellt. Dieser Beitrag fasst die wesentlichen Regelungen der Normen für die Angabe des U-Wertes zusammen und gibt Empfehlungen für die Angabe des U-Wertes bei geneigten Verglasungen. Text und Grafiken: Michael Rossa

## Bauphysikalische Grundlagen

Tatsache ist: Bei geneigten Verglasungen, wie z. B. bei Dachflächenfenstern, erhöht sich der  $U_g$ -Wert des Mehrscheiben-Isolierglases aus physikalischen Gründen. Die Veränderung ist derart gross, dass sie für bauphysikalische Betrachtungen und Berechnungen zum Wärmeschutz von Gebäuden nicht vernachlässigt werden kann. Die grössten Effekte treten beim zweifach Isolierglas auf. Bild 1a und b zeigt die

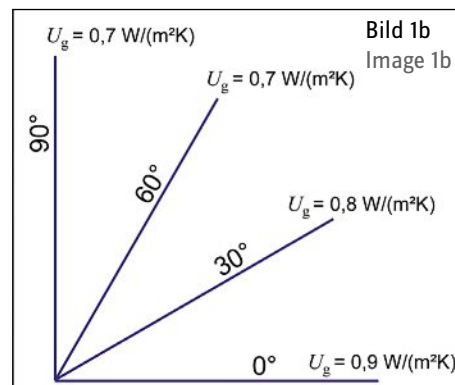
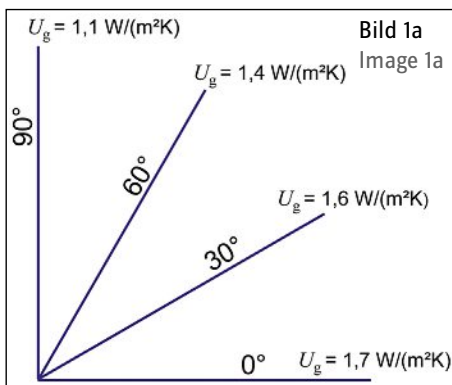
Veränderung des  $U_g$ -Wertes nach DIN EN 673 in Abhängigkeit vom Neigungswinkel für ein Isolierglas mit einem  $U_g$ -Wert von 1,1 W/(m<sup>2</sup>K) und für ein Standard 3-fach Isolierglas mit einem  $U_g$ -Wert von 0,7 W/(m<sup>2</sup>K).

Ursache für die Zunahme des  $U_g$ -Wertes ist die Konvektion im Scheibenzwischenraum, die sich mit der Neigung des Glases verändert und zu einem erhöhten Wärmetransport über den Scheibenzwischenraum führt. Bei freier Konvektion – wie dies im Scheibenzwischenraum

der Fall ist – wird die Wärmeübertragung durch die sogenannte Nusselt-Zahl beschrieben. (siehe Formel 1)

Für den senkrechten Einbaufall sind die Parameter  $A = 0,035$  und  $n = 0,38$  als Referenzparameter in DIN EN 673 festgelegt. Für geneigte Isoliergläser nehmen die Faktoren  $A$  und  $n$  andere Werte an.

Der Wärmetransport über das Gas im Scheibenzwischenraum erfolgt nicht nur durch Konvektion, sondern auch durch die Wärme-



$U_g$ -Wert für 2-fach- und 3-fach-Isolierglas in Abhängigkeit von der Neigung. Glasaufbau: 4/16/4 und 4/12/4/12/4 mit 90% Ar und Emissionsgrad 0,03 mit Beschichtung auf Position 3 bzw. Position 2 und 5. Valeur  $U_g$  pour vitrages isolants double et triple en fonction de l'inclinaison. Structure de la vitre : 4/16/4 et 4/12/4/12/4 avec 90% Ar et coefficient d'émission 0,03 et traitement de surface sur la position 3 et positions 2 et 5.

## Formel 1

Formule 1

$$Nu = A * (Gr * Pr)^n$$

(Erläuterung: Nu = Nusselt-Zahl, Gr = Grashof-Zahl, Pr = Prandtl-Zahl)

(Explication : Nu = nombre de Nusselt, Gr = nombre de Grashof, Pr = nombre de Prandtl)

## Formel 2

Formule 2

$$h_g = Nu * \frac{\lambda}{s}$$

## VITRAGES ISOLANTS

## Valeurs U de vitrages inclinés

Le thème des valeurs  $U_g$  fait actuellement l'objet de discussions dans la branche. La raison : des querelles juridiques et des expertises qui remettent en cause la pratique utilisée jusqu'à présent par la profession de n'indiquer en principe les valeurs U que pour les vitrages verticaux. Le présent exposé récapitule les règles essentielles prévues par les normes pour l'indication de la valeur U et fournit des recommandations pour l'indication de la valeur U pour des vitrages inclinés.

### Principes fondamentaux de la physique de construction

Un fait est sûr : pour les vitrages inclinés, par ex. sur les fenêtres de toiture, la valeur  $U_g$  du vitrage isolant

multicouche augmente pour des raisons physiques. L'écart est si important qu'il ne peut être négligé lors de considérations physiques et des calculs de protection thermique de bâtiments. Les effets majeurs se manifestent avec les

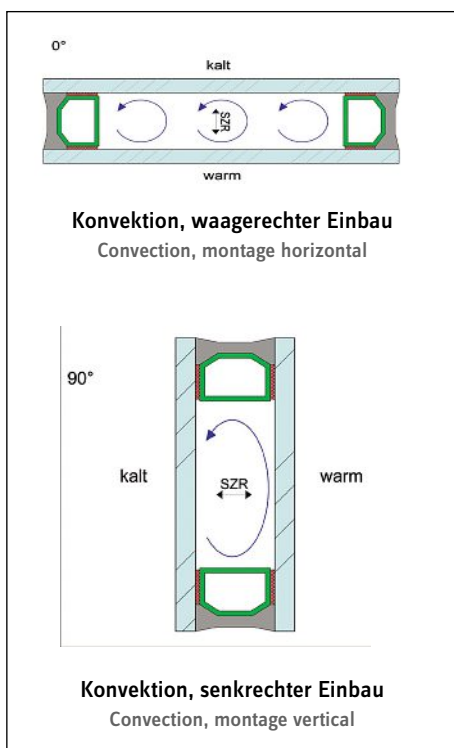
vitrages isolants doubles. La figure 1a et b montre la variation de la valeur  $U_g$  selon DIN EN 673 en fonction de l'angle d'inclinaison d'un vitrage isolant d'une valeur  $U_g$  de 1,1 W/(m<sup>2</sup>K) et pour un vitrage isolant triple d'une valeur  $U_g$

de 0,7 W/(m<sup>2</sup>K). L'augmentation de la valeur  $U_g$  est due à la convection qui s'établit dans l'espace entre les deux vitres, qui évolue en fonction de l'inclinaison du verre et entraîne un transport de chaleur accru dans l'espace



**Geneigte Gläser weisen höhere (schlechtere)  $U_g$ -Werte auf als senkrechte.**

Les vitrages inclinés présentent des valeurs  $U_g$  plus élevées (plus défavorables) que les verticaux.



leitung über das Füllgas. Der Wärmetransport wird durch die folgende Formel beschrieben: (siehe Formel 2)

Hierbei ist  $h_g$  der Wärmedurchlasskoeffizient des Gases,  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit des Füllgases und  $s$  der Scheibenzwischenraum. Zusätzlich ist noch der Transport von Wärme über Strahlung zu beachten, der sich bei geneigten Verglasungen unter den vorgegebenen Randbedingungen gemäss EN 673 nicht verändert.

Aus Gleichung 2 ist sofort ersichtlich, dass im Fall  $Nu = 1$  der Wärmetransport ausschliesslich über die Wärmeleitung über das Füllgas erfolgt. Erst wenn die Nusselt-Zahl  $> 1$  ist, wird Wärme zusätzlich über Konvektion transportiert. Ergibt sich in der Berechnung eine Nusselt-Zahl  $< 1$ , so ist diese in der Berechnung gleich 1 zu setzen.

Wird die Verglasung geneigt, verändern sich die Koeffizienten  $A$  und  $n$  in Formel 1 und die Nusselt-Zahl wird grösser. Konkret bedeutet dies, dass bei gleichem Zwischenraum die Nusselt-Zahl bei geneigten Verglasungen grösser wird und damit auch der Wärmedurchlasskoeffizient  $h$ . Als Folge nimmt der  $U_g$ -Wert der Verglasung zu. Bei einem Zweischeiben-Isolier-

glas beträgt die  $U_g$ -Wert-Differenz zwischen senkrechter und waagerechter Einbaulage etwa  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Bei 3-fach-Verglasungen fällt die Differenz mit ca.  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  geringer aus. Soviele zur physikalischen Theorie.

**Wie ist nun vom Glashersteller die Deklaration der Leistungseigenschaft  $U$ -Wert in der Praxis vorzunehmen?**

Für das Isolierglas verweist die Produktnorm EN 1279-5 für Mehrscheiben-Isolierglas auf das Rechenverfahren nach EN 673 zur Berechnung des  $U_g$ -Wertes. In allen Fällen, in denen der  $U_g$ -Wert zu Werbezwecken angegeben wird, sind die in Abschnitt 8 der EN 673 angegebenen Referenzwerte zu verwenden. Gleiches gilt für die CE-Kennzeichnung des Isolierglases. Das Messverfahren für den  $U_g$ -Wert mit dem Plattenmessgerät nach EN 674 schreibt ebenfalls für die Messung zwingend die senkrechte Einbaulage vor.

Für die Bemessung von Gebäuden zum Wärmeschutz sind die mit den Referenzwerten nach EN 673 und EN 674 ermittelten  $U_g$ -Werte meist nicht hinreichend genau genug. In diesen Fällen ist nach EN 673 ein Wert unter  $>$

entre les vitres. Lors d'une convection libre, comme c'est le cas dans l'espace entre les vitres, le transfert de chaleur est décrit par le nombre dit de Nusselt. (Formule 1)

Pour le montage vertical, la norme DIN EN 673 définit  $A = 0,035$  et  $n = 0,38$  comme paramètres de référence. Lorsque les vitres isolantes sont posées inclinées, les facteurs  $A$  et  $n$  prennent d'autres valeurs.

Le transport de chaleur par le gaz contenu dans l'espace entre les vitres est non seulement assuré par convection, mais aussi par la conducti-

bilité thermique du gaz lui-même. Le transport de chaleur est décrit par la formule suivante : (Formule 2)

$h_g$  correspond au coefficient de transmission du gaz, à la conductibilité thermique du gaz de remplissage et  $s$  à l'espace entre les vitres.

Il faut en outre tenir compte du transport de chaleur par rayonnement qui n'est pas modifié par le vitrage incliné dans les conditions aux limites fixées selon EN 673.

Il apparaît immédiatement sur l'équation 2 que dans le cas  $Nu = 1$ , le transport de la chaleur est exclu-

sivement assuré par la conductibilité thermique du gaz de remplissage. Ce n'est que lorsque le nombre de Nusselt  $> 1$  que de la chaleur est également transportée par convection. Si le calcul donne un nombre de Nusselt  $< 1$ , celui-ci doit être pris comme un 1 dans le calcul.

Lorsque le vitrage est incliné, les coefficients  $A$  et  $n$  de la formule 1 varient et le nombre de Nusselt augmente. Autrement dit, à lame d'air égale, le nombre de Nusselt augmente lorsque le vitrage est incliné et donc également le coefficient de perméabi-

lité thermique  $h$ . La valeur  $U_g$  du vitrage augmente en conséquence. Pour un vitrage isolant à deux vitres, la différence de valeur  $U_g$  entre les positions verticales et horizontales est d'environ  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Dans le cas d'un vitrage triple, cette différence est plus faible, de l'ordre de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Voilà pour la théorie physique.

**Comment le fabricant de verre doit-il établir en pratique la déclaration sur la caractéristique  $U$  ?**

Pour le verre isolant, la norme de produit EN 1279-5 pour vitrage isolant

## ISOLIERVERGLASUNGEN

> Angabe der Lage (Neigung) der Verglasung und der genauen Randbedingungen nach EN 673 zu bestimmen. Für die Berechnung ist zu beachten, dass sich auch der innere Wärmeübergangskoeffizient bei geneigtem Einbau verändert. Ein Verweis auf die zu verwendenden Übergangskoeffizienten findet sich ebenfalls in der DIN EN 673. Der Effekt auf den  $U_g$ -Wert ist jedoch gering und macht sich typischerweise meist nur in der zweiten Nachkommastelle bemerkbar.

### Welche Empfehlung kann daraus abgeleitet werden?

Grundsätzlich sollten Glashersteller ihre Kunden darauf hinweisen, dass der deklarierte  $U_g$ -Wert für den senkrechten Fall bemessen wurde und sich in geneigter Einbaulage erhöht. Unterlässt der Hersteller dies, läuft er Gefahr, dass der deklarierte  $U_g$ -Wert als Beschaffenheitsangabe und die Abweichung von diesem Wert als Mangel seines Produktes bewertet wird.

*Merke: Die Angabe im CE-Zeichen erfolgt ausschliesslich für die senkrechte Einbaulage.*

### Fenster, Dachflächenfenster und Fassaden

Wie ist der Wärmedurchgangskoeffizient bei Fenstern, Dachflächenfenstern und Fassaden anzugeben?

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U_w$  von Fenstern ist nach EN ISO 10077 Tabelle F.1 oder durch Berechnung nach EN ISO 10077-1 und ggf. nach EN ISO 10077-2 zu bestimmen. Bei geneigten Konstruktionen ist hier nur der Fall des Dachflächenfensters relevant.

Als Referenzverfahren für die Messung des  $U_w$ -Wertes ist das Heizkastenverfahren nach EN ISO 12567-1 für Fenster und Türen und EN ISO 12567-2 für Dachflächenfenster anzuwenden. Das Referenzverfahren für die Ermittlung des

$U_w$ -Wertes schreibt die senkrechte Einbaulage bei Fenster und auch bei Dachflächenfenster vor.

*Merke: Der  $U_w$ -Wert als Angabe zu Werbezwecken und im CE-Zeichen muss daher für die senkrechte Einbaulage erfolgen.*

Wird ein objektbezogener U-Wert für die tatsächliche Einbaulage gefordert, kann auch der  $U_w$ -Wert für die geneigte Einbaulage rechnerisch nach EN ISO 10077-1 ermittelt werden. Hierzu ist der ermittelte U-Wert für die Profile  $U_f$  und der  $\Psi$ -Wert für den senkrechten Fall zu verwenden und der  $U_g$ -Wert (in der Formel mit  $U_g(\alpha)$  bezeichnet) für den Winkel der Fensterneigung. Wie diese Berechnung erfolgt, zeigt das folgende Rechenbeispiel:

$$U_w = \frac{U_g(\alpha) * A_g + U_f * A + I_g * \psi_g}{A_w}$$

Fensterabmessung  $A_w$ : 1,23 m x 1,48 m

lichtes Glasmass  $A_g$ : 1,27 m<sup>2</sup>

Rahmenfläche  $A_f$ : 0,55 m<sup>2</sup>

sichtbare Umfanglänge der Verglasung  $l_g$ : 4,54 m

$U_f = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  -

unabhängig von der Einbaulage, 90°

$\Psi = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  -

unabhängig von der Einbaulage, 90°

$U_g(\alpha = 90^\circ) = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  - senkrechter Fall

$U_g(\alpha = 30^\circ) = 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  - Neigungswinkel 30°, berechnet nach EN 673

Für die Berechnung wurde ein 2-fach-Isolierglas mit 16 mm Scheibenzwischenraum und 90% Argon-Gasfüllung mit einem Emissionsgrad von 0,03 verwendet.

Im senkrechten Fall ergibt sich ein  $U_w$ -Wert von 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) für das Fenster. Für die Einbaulage 30° ergibt sich ein  $U_w$ -Wert von 1,8 W/(m<sup>2</sup>K). Alternativ besteht auch die Möglichkeit mit dem  $U_g$ -Wert der Verglasung für den geneigten Fall über Tabelle F.1 der EN ISO 10077-1:2006 den  $U_w$ -Wert zu ermitteln.

Fassaden sind bis zu einem Winkel von ±15° in der Produktnorm EN 13830 geregelt. In diesen Fällen ist die Auswirkung auf den  $U_g$ -Wert noch gering. Fassaden mit grösseren Winkeln sind nicht über die Produktnorm Fassaden geregelt. Die Regelungen zu Berechnung des Wärmedurchgangs sind in EN 13947 festgelegt. Hierzu legt die Norm fest, dass die zu Vergleichszwecken deklarierten Werte für den senkrechten Einbaufall ermittelt werden.

*Merke: Daraus folgt - wie beim Fenster - dass der im CE-Zeichen angegebene  $U_{cw}$ -Wert für den senkrechten Einbaufall anzugeben ist.*

Werden objektbezogene  $U_{cw}$ -Werte für geneigte Fassaden benötigt, so fordert die Norm:  $U_{cw}$ -Werte für die geneigte Fassade sind derart zu ermitteln, dass die Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_m$ ,  $U_i$ ,  $U_f$  (U-Werte für Pfosten, Rahmen, Riegel) und der  $\Psi$ -Wert unabhängig von der konkreten Einbausituation für den senkrechten Fall bemessen werden. Für den  $U_g$ -Wert des Mehrscheiben-Isolierglases wird die tatsächliche Einbaulage berücksichtigt.

*Merke: Auch bei Fassaden wird nur der Einfluss auf den  $U_g$ -Wert der Verglasung berücksichtigt.*

Auch hier ist den Fenster- und Fassadenherstellern zu empfehlen, ihre Kunden ggf. darauf hinzuweisen, dass sich im geneigten Fall der U-Wert verändern kann. An der bisherigen Praxis für die Angabe im CE-Zeichen ändert sich hierdurch jedoch absolut nichts!

>

## VITRAGES ISOLANTS

multicouche renvoie à la méthode de calcul selon EN 673 pour le calcul de la valeur  $U_g$ . Dans tous les cas où la valeur  $U_g$  est mentionnée à des fins publicitaires, il convient d'utiliser les valeurs de référence indiquées au chapitre 8 de la norme DIN EN 673. Il en va de même pour le label CE du verre isolant.

*Remarque : la déclaration de la valeur  $U_g$  vaut donc pour le cas vertical.*

Le procédé de mesure de la valeur  $U_g$  avec l'appareil de mesure à plaque selon DIN EN 674 prescrit également la position verticale pour la mesure.

Pour le dimensionnement de la protection thermique d'immeubles, les valeurs  $U_g$  déterminées à partir des valeurs de référence selon EN 673 et EN 674 sont le plus souvent insuffisantes. Dans ces cas, la norme EN 673 prescrit

de déterminer une valeur en indiquant la position (inclinaison) du vitrage, ainsi que les conditions précises aux limites selon EN 673. Le calcul doit tenir compte du fait que le coefficient de transition thermique interne varie aussi lors d'un montage incliné. La norme DIN EN 673 renvoie également aux coefficients de transition à utiliser. L'effet sur la valeur  $U_g$  reste toutefois faible et ne se fait le plus souvent sentir qu'à partir de la deuxième décimale.

### Quelles recommandations peut-on en déduire ?

Les fabricants de verre devraient en principe attirer l'attention de leur clientèle sur le fait que la valeur  $U_g$  déclarée correspond à la position verticale et qu'elle augmente en position inclinée. S'ils négligent de le faire, ils courent le risque que la valeur  $U_g$  déclarée

comme caractéristique et que l'écart par rapport à cette valeur soient considérés comme un défaut du produit.

*Remarque : l'indication du label CE concerne exclusivement la position de montage verticale.*

### Fenêtres, fenêtres de toiture et façades

Comment doit être indiqué le coefficient de transmission thermique pour les fenêtres, fenêtres de toiture et façades ? Le coefficient de transmission thermique  $U_w$  de fenêtres doit être déterminé selon EN ISO 10077, tableau F.1 ou par calcul selon EN ISO 10077-1 et le cas échéant selon EN ISO 10077-2. Pour les montages en oblique, seul le cas de fenêtres de toiture est significatif. Le procédé de référence pour la mesure de la valeur  $U_w$  doit être le procédé du caisson chauffant selon EN ISO 12567-1 pour les portes et

fenêtres et selon EN ISO 12567-2 pour les fenêtres de toiture. Le procédé de référence pour la détermination de la valeur  $U_w$  prescrit la position verticale pour les fenêtres et fenêtres de toiture.

*Remarque : la valeur  $U_w$  mentionnée à des fins publicitaires et pour le label CE doit donc être déterminée en position verticale.*

Lorsque, pour un objet donné, il est prescrit d'indiquer une valeur U pour la position de montage effective, la valeur  $U_w$  peut également être déterminée par le calcul selon EN ISO 10077-1 pour le montage incliné. Dans ce but, il est nécessaire d'utiliser la valeur U pour les profils  $U_f$  et la valeur  $\Psi$  pour le cas vertical, ainsi que la valeur  $U_g$  (indiquée dans la formule par  $U_g(\alpha)$ ) pour l'angle d'inclinaison de la fenêtre. Le mode de calcul est expliqué par l'exemple suivant :

### Redaktionelle Ergänzung für die Schweiz

Gemäss Bundesverfassung sind die energierelevanten Vorschriften durch die Kantone zu regeln. Alle Kantone beziehen sich auf das Normenwerk der SIA. Die Einzelanforderungen

richten sich nach dem Normfenster. Diese sind senkrecht eingebaut.

*Merke: Die Berechnungsregeln des Normenwerkes des SIA fordert für U-Werte den senkrechten Einbau.* ■

Autor:

Dipl.-Phys. Michael Rossa  
Institut für Fenstertechnik e.V (ift),  
83026 Rosenheim

### Exemple de calcul :

Dimensions de la fenêtre AW :  
1,23 m x 1,48 m  
Surface apparente de la vitre  $A_g$  : 1,27 m<sup>2</sup>  
Surface du cadre  $A_f$  : 0,55 m<sup>2</sup>  
Périmètre visible du vitrage  $l_g$  : 4,54 m

$U_f = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  - indépendamment de la position de montage, 90°  
 $\Psi = 0,08 \text{ W}/(\text{mK})$  - indépendamment de la position de montage, 90°  
 $U_g (=90^\circ) = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  - cas vertical  
 $U_g (=30^\circ) = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  - angle d'inclinaison 30°, calculé selon EN 673

Le calcul a été effectué pour un vitrage isolant double avec un espace entre les vitres de 16 mm et un remplissage à 90% d'argon d'un coefficient d'émission de 0,03.

En montage vertical, il en résulte une valeur  $U_w$  de 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) pour

la fenêtre. Pour une inclinaison à 30°, la valeur  $U_w$  est de 1,8 W/(m<sup>2</sup>K). Il est également possible de déterminer la valeur  $U_w$  pour la position inclinée à partir de la valeur  $U_g$  du vitrage à l'aide du tableau F.1 de la norme EN ISO 10077-1:2006. Les façades sont traitées par la norme de produit EN 13830 jusqu'à un angle de  $\pm 15^\circ$ . Dans ces cas, l'effet sur la valeur  $U_g$  est encore faible. Les façades plus inclinées ne sont pas traitées par la norme de produit Façades. Les règles de calcul de la transmission thermique sont définies par la norme EN 13947. La norme précise que les valeurs déclarées à des fins comparatives doivent être déterminées pour la position verticale. *Remarque : il en résulte comme pour la fenêtre que la valeur  $U_{cw}$  mentionnée dans le label CE doit être indiquée pour la position verticale.*

S'il est nécessaire de disposer, pour un objet particulier, de valeurs  $U_{cw}$  pour façades inclinées, la norme prescrit : les valeurs  $U_{cw}$  pour façades inclinées doivent être déterminées de sorte que les coefficients de transmission thermique  $U_m$ ,  $U_i$ ,  $U_f$  (valeurs  $U$  pour montants, cadres, traverses) et la valeur  $\Psi$  soient calculés pour le cas vertical, indépendamment de la situation concrète. La valeur  $U_g$  du vitrage isolant multicouche prend en compte la position effective du montage. *Remarque : pour les façades également, seule la valeur  $U_g$  du vitrage est prise en compte.*

Là encore, on ne peut que recommander aux fabricants de fenêtres et de façades d'attirer l'attention de leurs clients sur le fait que la valeur  $U$  peut varier en cas de montage incliné. Mais rien ne change en ce qui concerne la

pratique habituelle relative à l'indication sur le label CE.

### Complément rédactionnel pour la Suisse

Conformément aux dispositions de la Constitution fédérale, les cantons déterminent les prescriptions relatives aux économies d'énergie. Tous les cantons se réfèrent aux normes SIA. Les spécifications individuelles font référence à la fenêtre normée. Et celle-ci est montée verticalement.

*Remarque : les règles de calcul des normes SIA exigent la prise en compte de la valeur  $U$  correspondant au montage vertical.*

L'auteur : Michael Rossa, physicien diplômé  
Institut für Fenstertechnik e.V (ift)  
83026 Rosenheim