

## ***Kompass ‚Warme Kante‘***

***für Fenster und Fassaden***

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.0 Einleitung</b> .....	2
<b>2.0 Was ist ‚Warme Kante‘?</b> .....	2
<b>3.0 Grundlagen für die BF-Datenblätter</b> .....	6
3.1 Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ .....	6
3.2 Erteilung und Gültigkeit .....	8
3.3 Zulässiger Anwendungsbereich .....	8
<b>4.0 BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘</b> .....	9
4.1 Layout.....	9
4.2 $U_w$ -Werte für Fenster .....	10
4.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fenster .....	11
<b>5.0 BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘</b> .....	12
5.1 Layout .....	12
5.2 $U_{CW}$ -Werte für Pfosten-Riegel-Fassaden.....	13
5.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fassadenprofile .....	14
<b>6.0 Der Arbeitskreis Warme Kante</b> .....	15
6.1 Die Mitglieder.....	15
6.2 Ergebnisse der bisherigen Tätigkeit ..	16
6.3 Ausblick.....	16
<b>7.0 Wärmetechnische Behandlung von Sprossenfenstern</b> .....	17
7.1 Pauschalaufschläge für Sprossen nach EN 14351-1 .....	17
7.2 Das Forschungsvorhaben der ad hoc Gruppe ‚Sprossen‘ des BF .....	18
7.3 Tabellen mit pauschalen Sprossen-Psi-Werten .....	19
<b>8.0 Literatur</b> .....	20

## 1.0 Einleitung

Dieser Kompass ‚Warme Kante‘ resultiert aus der Tätigkeit des BF-Arbeitskreises ‚Warme Kante‘. Zusammen mit der Erstauflage von BF-Datenblättern mit repräsentativen Psi-Werten für Fenster erschien er erstmals im Jahr 2008.

Seit der letzten Überarbeitung des Kompasses vom Februar 2015 wurden zwei weitere Forschungsvorhaben durchgeführt, die in die vorliegende Fassung aufgenommen wurden:

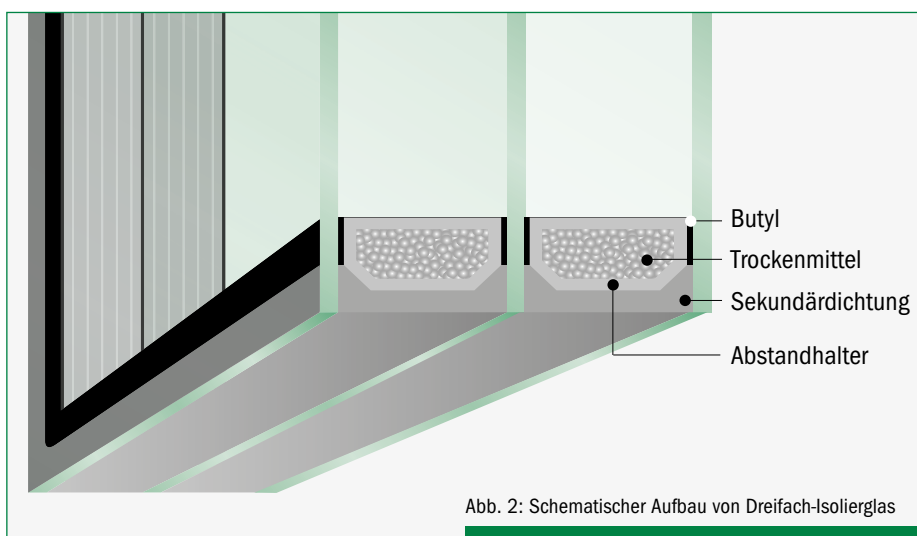
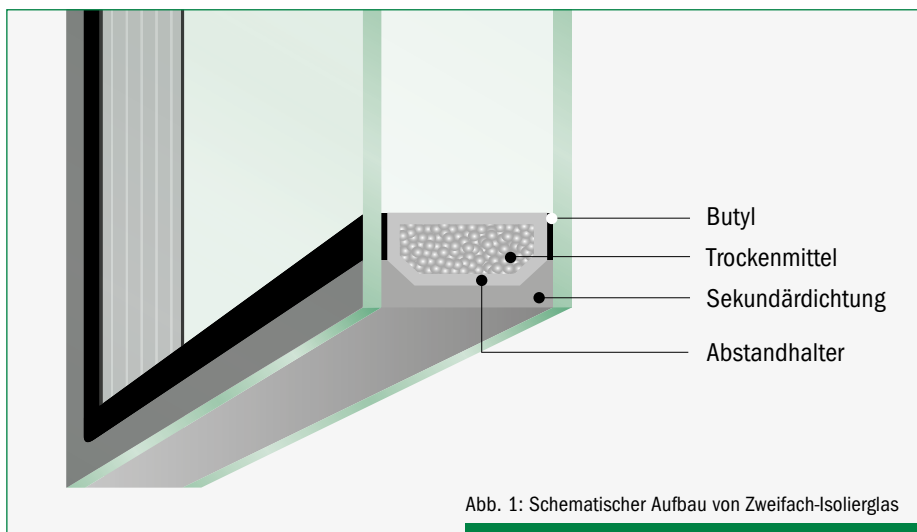
- **Fassaden-Psi-Werte:**  
Auf Anregung der Fenster- und Fassadenbranche hat sich der Arbeitskreis ‚Warme Kante‘ in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim und der Hochschule Rosenheim mit der Berechnung von repräsentativen Psi-Werten für Festverglasungen in Pfosten-Riegel-Fassaden befasst. Als Ergebnis sind im Frühjahr 2016 die ersten BF-Datenblätter mit repräsentativen Psi-Werten für Fassadenprofile veröffentlicht worden.
- **Sprossen-Psi-Werte:**  
Im Auftrag der ad hoc Gruppe ‚Sprossen‘ des BF hat das ift Rosenheim eine einfache und praktikable, gleichzeitig aber gerechtere Lösung für die wärmetechnische Behandlung von Fenstern mit Sprossen im Scheibenzwischenraum erarbeitet. Bis dato waren solche Fenster durch Pauschalaufschläge auf den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters benachteiligt. Weil dieses Thema ebenso wie die Psi-Werte für die Abstandhalter die Ermittlung von  $U_w$ -Werten von Fenstern beeinflusst, wird es im Kompass ‚Warme Kante‘ aufgenommen.

Neben der Vermittlung von Grundlagen zur warmen Kante und einer Darstellung der Ergebnisse aus dem Arbeitskreis soll der Kompass insbesondere als Leitfaden für die korrekte Nutzung der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ und ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ dienen.

## 2.0 Was ist ‚Warme Kante‘?

Isolierglas besteht aus zwei oder mehr Glasscheiben. Der Abstand der Scheiben wird durch ein am Scheibenrand umlaufendes Abstandhalterprofil vorgegeben. So entsteht der Scheibenzwischenraum, auf dem die grundlegende Dämmwirkung von Isolierglas beruht. Zusammen mit einer Primärdichtung aus Butyl und einem Sekundärdichtstoff auf Polysulfid-, Polyurethan- bzw. Silikonbasis oder Hotmelt bildet der trockenmittelbefüllte Abstandhalter den seit vielen Jahren bewährten zweistufigen Isolierglas-Randverbund (Abb. 1 und 2).

Seit Einführung des heute als Standard geltenden organischen Randverbundes für Isolierglas im Jahr 1959 wurden Hohlprofile aus Stahl und in späteren Jahren aus Aluminium als Abstandhalter verwendet. Nachteil dieser Materialien ist ihre hohe Wärmeleitfähigkeit. In einen Isolierglas-Randverbund eingebaut, bildet das Aluminiumprofil eine sehr gut wärmeleitende Verbindung zwischen Innen- und Außenscheibe. Dadurch entstehen in Fenstern und Fassaden lineare Wärmebrücken von erheblichem Ausmaß.



# Kompass ‚Warme Kante‘

## **Durch konventionelle Isolierglas-Abstandhalter aus Aluminium oder Stahl entstehen in Fenstern und Fassaden unerwünschte Wärmebrücken.**

In beheizten Gebäuden sind Wärmebrücken für den Verlust wertvoller Heizenergie verantwortlich. Durch den Wärmestrom über die Wärmebrücke nach draußen sinkt die raumseitige Oberflächentemperatur, was das Risiko von Tauwasser- und Schimmelbildung erhöht (Abb. 3 und 4). Im Umkehrfall, bei klimatisierten Gebäuden, führen konventionelle Isolierglas-Abstandhalter zu mehr Energieverbrauch für die Kühlung.

Mit Funktionsbeschichtungen und Edelgasfüllungen im Scheibenzwischenraum haben moderne Mehrscheiben-Wärmedämmgläser inzwischen eine wärmetechnische Leistungsfähigkeit erreicht, die transparente, lichtdurchflutete Gebäude von hoher Energieeffizienz möglich macht. Wärmebrücken sind in solchen Gebäuden aus Gründen des Klimaschutzes und der Wirtschaftlichkeit absolut unerwünschte Störstellen.

## **‚Warme Kante‘ ist die Kurzbezeichnung für wärmetechnisch verbesserten Isolierglas-Randverbund**

Bereits in den neunziger Jahren kamen erste wärmetechnisch verbesserte Abstandhaltersysteme auf den Markt. Durch Einsatz von Materialien mit deutlich geringerer Wärmeleitfähigkeit als Aluminium können die Wärmeverluste im Randbereich einer Isolierglasscheibe mehr als halbiert werden. Das spart wertvolle Heizenergie, minimiert das Tauwasserrisiko und verbessert die U-Werte von Fenstern und Fassaden. Diese wärmetechnische Verbesserung des Isolierglas-Randverbunds nennt man ‚Warme Kante‘.



Abb. 3: Durch den Aluminium-Abstandhalter im Isolierglas kann am Rand der Glasscheibe leicht Tauwasser entstehen.



Abb. 4: Längerfristig droht dadurch Schimmelbildung, was nicht nur aus hygienischen Gründen inakzeptabel ist.

Edelstahl hat eine mehr als zehnmal geringere Wärmeleitfähigkeit als Aluminium. Da Edelstahl-Abstandhalter außerdem mit viel geringeren Wandstärken auskommen, sind sie wärmetechnisch deutlich besser als Profile aus Aluminium oder Stahl. Werden darüber hinaus Profilbereiche durch Kunststoff ersetzt oder dient der Edelstahl in extrem dünner Ausführung nur noch als reine Diffusionssperre, lassen sich die Werte weiter optimieren. Andere Systeme gehen fertigungstechnisch neue Wege und verzichten völlig auf Metall.

Dem Markt steht inzwischen eine Vielzahl von langjährig in der Praxis bewährten Wärme-Kante-Systemen zur Verfügung.

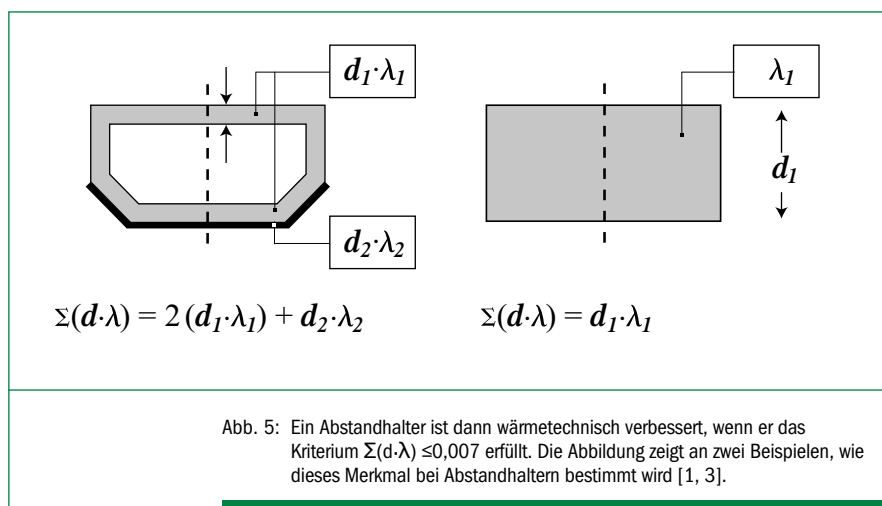
**„Warme Kante“ bedeutet mehr Energieeffizienz für Fenster und Fassaden**

Kaum eine Wärmebrücke lässt sich so einfach beseitigen wie diejenige, die vom Aluminium-Abstandhalter im Übergangsbereich von Glas zu Rahmen verursacht wird. Für eine vergleichbare Verbesserung des  $U_W$ -Wertes eines Fensters oder des  $U_{CW}$ -Wertes einer Pfosten-Riegel-Fassade muss an anderer Stelle – z. B. im Bereich des Fenster- oder Fassadenprofils – erheblich mehr Aufwand betrieben werden.

Zur Abgrenzung der warmen Kante von konventionellen Abstandhaltern findet sich eine ebenso einfache wie eindeutige Definition in den relevanten Normen (Abb. 5): Für Fenster im Anhang E der EN ISO 10077-1 [1] und für Vorhangfassaden gleichlautend im Anhang B der Norm EN ISO 12631 [3].

Material	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/(m K)	Material	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/(m K)
Aluminium	160	Polysulfid	0,4
Stahl	50	Molekularsieb	0,1
Nichtrostender Stahl	17	Polycarbonate	0,2
Natronkalkglas	1	PVC hart	0,17

Tabelle 1: Beispiele für die Wärmeleitfähigkeit von Materialien nach EN ISO 10077-2 [2]. Da es „drauf ankommt, was man daraus macht“, lässt sich aus diesen reinen Materialkennwerten alleine keine Aussage zur wärmetechnischen Leistungsfähigkeit eines Bauteils ableiten.



## 3.0 Grundlagen für die BF-Datenblätter

### 3.1 Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$

Ende 2012 wurde ein weiteres vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) gefördertes Forschungsvorhaben des Arbeitskreises ‚Warme Kante‘ erfolgreich abgeschlossen [9, 10]. Auslöser für das Projekt war die Tatsache, dass es bei zunehmend komplexeren Abstandhalterkonstruktionen immer schwieriger bis unmöglich wurde, die Einzelbestandteile wärmetechnisch korrekt zu bestimmen. Die Eingangsdaten für die detaillierte Berechnung waren mit zu großen Unsicherheiten behaftet. Durch Untersuchungen am ift Rosenheim wurde eine neue messtechnische Grundlage für die BF-Datenblätter erarbeitet:

- Anstatt repräsentative Psi-Werte aus den Wärmeleitfähigkeitswerten der Einzelmaterialien zu berechnen, wird heute zuerst die so genannte äquivalente Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  eines Abstandhalters messtechnisch ermittelt. Dazu werden Abstandhalterprofile mit Trockenmittel befüllt und dicht gepackt zwischen zwei Glasscheiben in der Plattenapparatur gemessen. Die leitenden Bestandteile der Abstandhalterprofile müssen dabei mit Butyl wärmetechnisch am Glas angekoppelt sein (siehe Abb. 6).
- Mit der gemessenen äquivalenten Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  werden anschließend nach dem so genannten Two-Box-Modell die repräsentativen Psi-Werte für die BF-Datenblätter berechnet.

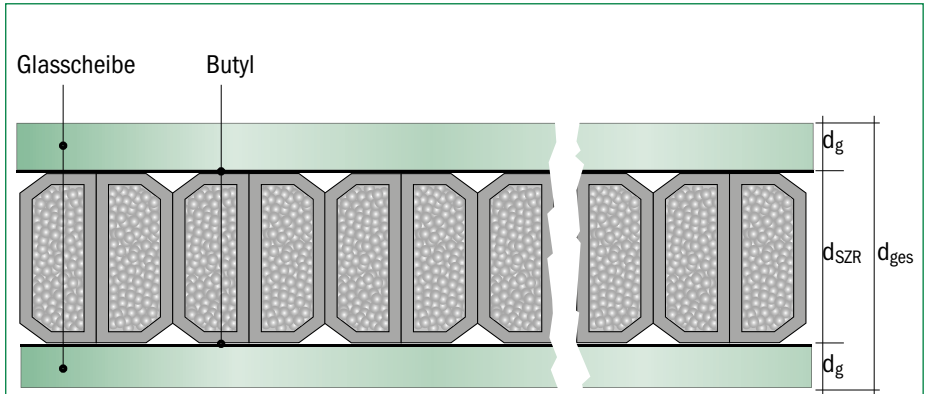


Abb. 6: Aufbau der Probekörper zur Messung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit eines Abstandhalters nach ift-Richtlinie WA 17/1 [5]

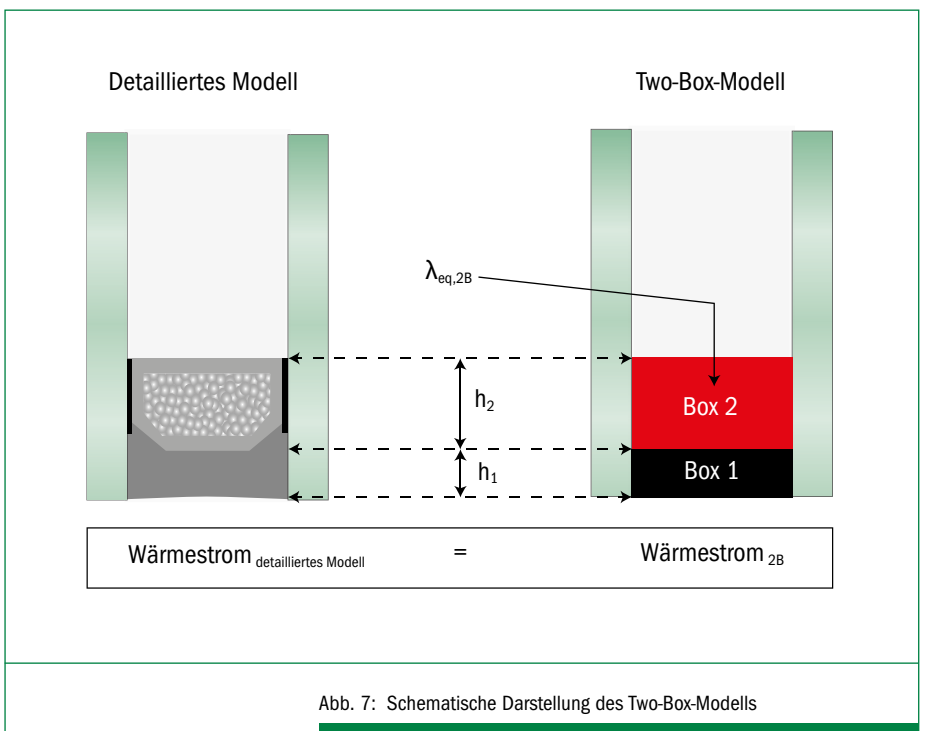


Abb. 7: Schematische Darstellung des Two-Box-Modells

Bei dieser Berechnung wird das detaillierte Abstandhaltermodell mit individueller Geometrie und verschiedenen Einzelmaterialien durch ein Rechteck (Box) mit der Breite des Scheibenzwischenraums (SZR) und derselben Höhe wie das detaillierte Abstandhaltermodell ( $h_2$ ) ersetzt. Nach dem Two-Box-Modell führt die Berechnung mit der gemessenen äquivalenten Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  zum selben Wärmestrom wie eine Berechnung mit detailliert modelliertem Abstandhalter (Abb. 7).

Durch diese Vorgehensweise ist es nicht mehr erforderlich, die individuellen Wärmeleitfähigkeitswerte der aus mehreren Materialien zusammengesetzten Abstandhalterprofile zu bestimmen.

Bei individuellen wärmetechnischen Berechnungen nach EN ISO 10077-2 [2] musste bisher neben den Einzelwärmeleitfähigkeiten auch der exakte geometrische Querschnitt eines Abstandhalters bekannt sein. Durch die Anwendung des Two-Box-Modelles entfällt die aufwändige Modellierung des Isolierglas-Randverbands. Ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  einmal ermittelt, können einfach zwei Rechtecke verwendet werden: Für den Sekundärdichtstoff Box 1 und für den Abstandhalter inklusive Trockenmittel und Butyl die Box 2. Wichtig ist dabei, dass die Bauhöhen der Rechtecke den tatsächlichen

Bauhöhen von Dichtstoff und Abstandhalter entsprechen. Der geringfügige Einfluss der SZR-Breite auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  eines Abstandhaltersystems kann dabei vernachlässigt werden.

Die vereinfachte Modellierung nach dem Two-Box-Modell stellt eine enorme Erleichterung bei individuellen Berechnungen nach EN ISO 10077-2 dar.



Als Hinweis auf die neue messtechnische Grundlage findet sich auf den BF-Datenblättern der Untertitel „auf Basis messtechnischer Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter“. BF-Datenblätter ohne diesen Untertitel sind nicht mehr gültig.

Im unteren Bereich der BF-Datenblätter sind die Two-Box-Modell Kennwerte, d.h. die äquivalente Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  und die Bauhöhe  $h_2$  des jeweiligen Warme-Kante-Systems angegeben.

Eine detaillierte Erläuterung des Messverfahrens, das im Rahmen des Forschungsvorhabens am ift Rosenheim entwickelt wurde, findet sich in der ift-Richtlinie WA 17/1 [5]. Die Methodik des Two-Box-Modells ist in den ift-Richtlinien WA-08/3 und WA-22/1 dargestellt [4, 6].

Ein Kurzbericht des Forschungsvorhabens steht auf der Homepage des ift Rosenheim zum kostenlosen Download zur Verfügung ([www.ift-rosenheim.de](http://www.ift-rosenheim.de) > Geschäftskunden > Forschung > aktuelle Forschungsprojekte) [9]. Der ausführliche Forschungsbericht kann im Online-Shop des ift Rosenheim kostenpflichtig bezogen werden [10].

**BITTE BEACHTEN: Da die Abstandhaltersysteme unterschiedliche Bauhöhen  $h_2$  haben, ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  alleine für einen fairen Vergleich der Leistungsfähigkeit von Warme-Kante-Systemen NICHT geeignet! Direkt vergleichbar sind nur die repräsentativen Psi-Werte (oder der Wert  $\lambda_{eq,2B} \cdot h_2$ ).**

## 3.2 Erteilung und Gültigkeit

Die BF-Datenblätter mit repräsentativen Psi-Werten für wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter werden vom BF Bundesverband Flachglas herausgegeben. Für die Erteilung eines BF-Datenblatts muss eine Zulassungsprozedur durchlaufen werden, deren Regularien vom Arbeitskreis ‚Warme Kante‘ festgelegt werden. Neben der Dokumentation zur Ermittlung der Werte muss ein Hersteller auch Nachweise zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit seines Abstandhaltersystems vorlegen. Nur bei den vom BF herausgegebenen Datenblättern ist sichergestellt, dass dieses Procedere eingehalten wird.

Für ein bestimmtes Warme-Kante-System gibt es unter der ihm zugeordneten Datenblatt-Nummer in der Regel zwei BF-Datenblätter. (Je nachdem, welchen Einsatzbereich der Hersteller eines bestimmten Abstandhaltersystems vorgesehen hat, kann es dafür auch nur ein W- oder nur ein CW-Datenblatt geben.)

Beispiel:

Nr. W043 → BF-Datenblatt mit repräsentativen Psi-Werten für Fenster (W = Window)

Nr. CW043 → BF-Datenblatt mit repräsentativen Psi-Werten für Fassaden (CW = Curtain Wall)

Manche Abstandhalter werden systembedingt ausschließlich mit Hotmelt als Sekundärdichtstoff eingesetzt. Dann und nur dann erhalten sie ein separates, deutlich mit „nur gültig für Hotmelt-Randversiegelung“ gekennzeichnetes BF-Datenblatt. Hotmelt-Randverbund ist jedoch nur noch in manchen geographischen Regionen verfügbar. Deshalb sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass es außerhalb dieser speziellen Märkte keine Produzenten für diesen Randverbund gibt und es keinen Sinn macht, einen solchen Hotmelt-Randverbund zu fordern.

Alle regulären BF-Datenblätter sind aus Gründen der Vergleichbarkeit der Abstandhalter unter exakt denselben Randbedingungen gerechnet. Bei Fenstern wird eine Rückenüberdeckung des Abstandhalters mit Sekundärdichtstoff von 3 mm und bei Fassaden von 6 mm angenommen. Als Glaseinstand wird generell mit 13 mm gerechnet. Für weitere Details der Randbedingungen wird auf die jeweilige ift-Richtlinie verwiesen.

Auf den BF-Datenblättern wird für das Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der  $\Psi$ -Werte eine Genauigkeit von  $\pm 0,003 \text{ W/(mK)}$  angegeben. Diese Toleranzangabe soll darauf hinweisen, dass die dritte Nachkommastelle der  $\Psi$ -Werte nicht überbewertet werden darf.

Die aktuellen BF-Datenblätter können auf der Homepage des BF kostenlos heruntergeladen werden. Nur BF-Datenblätter, die

auf der BF Homepage zum Download freigeschaltet sind, haben aktuell Gültigkeit.

**Download-Adresse für die aktuell gültigen BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ und ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘:** <http://www.bundesverband-flachglas.de/downloads/datenblaetter/>

**TIPP: Arbeiten Sie nicht mit lokal gespeicherten BF-Datenblatt-Kopien, sondern speichern Sie sich den Download-Link unter den Favoriten Ihres Internet-Browsers. So haben Sie jederzeit schnellen Zugriff auf die aktuell gültigen BF-Datenblätter und können sicherstellen, dass Sie mit zulässigen Versionen arbeiten.**

## 3.3 Zulässiger Anwendungsbereich

Die repräsentativen Psi-Werte der BF-Datenblätter dürfen **nicht** uneingeschränkt für alle Fenster und Fassadenkonstruktionen verwendet werden. Der zulässige Anwendungsbereich ist durch die ift-Richtlinien WA-08/3 für Fenster und WA-22/1 für Fassadenprofile geregelt.

In den folgenden Kapiteln werden die jeweils einzuhaltenden Randbedingungen erläutert.

Die auf den BF-Datenblättern ‚Psi-Werte Fenster‘ angegebenen Toleranzen dürfen keinesfalls vor der Verwendung von den repräsentativen Psi-Werten abgezogen werden



## 4.0 Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘

### 4.1 Layout

Ein BF-Datenblatt ist jeweils für ein spezifisches Abstandhaltersystem gültig. Neben Informationen zum Hersteller und zu Materialien und Geometrie des Abstandhaltersystems werden im mittleren Bereich des BF-Datenblatts die repräsentativen Psi-Werte für Fenster deklariert. Dabei werden in vier repräsentativen Fensterrahmenprofilen (Metall mit therm. Trennung, Kunststoff, Holz, Holz/Alu) jeweils für Zweischeiben- und für Dreischeiben-Isolierglas insgesamt acht Psi-Werte angegeben. Im unteren Bereich des BF-Datenblatts sind die bereits erwähnten Two-Box-Werte aufgeführt (siehe Abb. 8).

Die BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ dürfen NICHT für Festverglasungen in Pfosten-Riegel-Fassaden benutzt werden. Hierfür sind ausschließlich die BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ anzuwenden (siehe Kapitel 5).



Monat 20XX – Nr. WX – Änderungsindex X 0X/20XX      ARBEITSKREIS ‚WARME KANTE‘

### Datenblatt Psi-Werte Fenster

auf Basis messtechnischer Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter

	Produktname	Abstandhalter Bauhöhe in mm	Material	Dicke d in mm
Querschnitt	<b>Produkt</b>	X	Edelstahl	X

	Repräsentative Glasbauten	Metall mit thermischer Trennung	Kunststoff	Holz	Holz/Metall
Repräsentative Rahmenseile					
Repräsentativer Psi-Wert Zweischaibiges Isolierglas W/m <sup>2</sup> K	 Zweischaibiges Isolierglas $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,0XX	0,0XX	0,0XX	0,0XX
Repräsentativer Psi-Wert Dreischaibiges Isolierglas W/m <sup>2</sup> K	 Dreischaibiges Isolierglas $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,0XX	0,0XX	0,0XX	0,0XX

	Two-Box-Modell		
Formulare	 SZR $h_1$ $h_2$	Scheibenzwischenraum (SZR) in mm	$\lambda_{eq,2B}$ in W/mK
	Für alle SZR verwendbar	Box 1 · $h_1 = X$ mm	Box 2 · $h_2 = X$ mm
		0,XX	0,XX

**Erläuterungen**

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit wurde nach der ift-Richtlinie WA-17/1 "Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit durch Messung" ermittelt. Die damit berechneten repräsentativen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten (repräsentative Psi-Werte) gelten für typische Rahmenprofile und Verglasungen für die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  von Fenstern. Sie wurden unter den in der ift-Richtlinie WA-08/3 "Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Teil 1: Ermittlung des repräsentativen Psi-Wertes für Fensterprofile" festgelegten Rahmenbedingungen (Rahmenprofile, Verglasung, Glaseinstand, Rückenüberdeckung, Primär- und Sekundärdichtstoff) ermittelt. Diese Richtlinie regelt auch den Gültigkeitsbereich und die Anwendung der repräsentativen Psi-Werte. Zur Vermeidung von Rundungsfehlern wurden die Psi-Werte im Datenblatt auf 0,001 W/m<sup>2</sup>K angegeben. Das Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Psi-Werte hat eine Genauigkeit von  $\pm 0,003 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Unterschiede von weniger als 0,005 W/m<sup>2</sup>K sind nicht signifikant. Weitere Informationen sind dem Merkblatt 004/2008 "Kompass Warme Kante" des Bundesverband Flachglas zu entnehmen.

Ermittlung der Kennwerte durch:

Abb. 8: Layout der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘

# Kompass ‚Warme Kante‘

## 4.2 U<sub>w</sub>-Werte für Fenster

Gemäß EN ISO 10077-1 setzt sich der Wärmedurchgangskoeffizient U<sub>w</sub> eines Fensters aus den flächenbezogenen Einzelwerten der Verglasung U<sub>g</sub> und des Rahmens U<sub>f</sub> sowie dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ<sub>g</sub> für den Übergangsbereich von Rahmen und Glas zusammen (Abb. 9 und 10). Der Wärmedurchgangskoeffizient U<sub>g</sub> des Glases bezieht sich auf die ungestörte Mitte des Glases und der U<sub>f</sub>-Wert des Rahmens auf den Rahmen ohne Verglasung [1].

Wo Glas und Rahmen aneinander grenzen, ergibt sich eine geometrische und materialbedingte Wärmebrücke. Der Ψ<sub>g</sub>-Wert beschreibt die zusätzlichen Wärmeverluste in diesem Bereich. Sie werden hauptsächlich durch die Wärmeleitung über den Isolierglas-Randverbund verursacht.

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g}{A_w}$$

Abb. 9: Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U<sub>w</sub> von Fenstern [1]

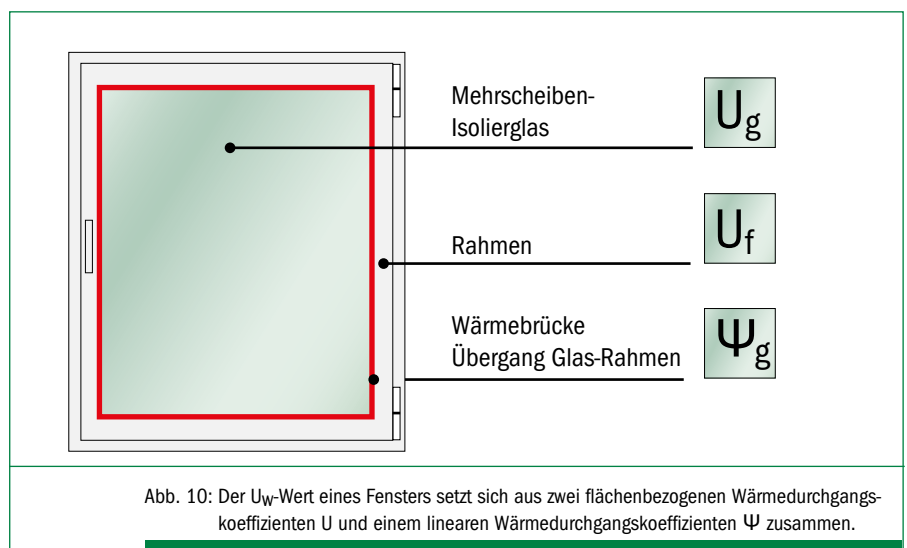
**Die repräsentativen Psi-Werte erleichtern die Ermittlung des U<sub>w</sub>-Wertes von Fenstern.**

Index	Englische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
w	window	Fenster
g	glass	Glas
f	frame	Rahmen

Tabelle 2: Indizes für die Bestandteile von Fenstern

	Einheit	Bezeichnung	Herkunft
U <sub>g</sub>	W/(m <sup>2</sup> K)	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung	(1) berechnet nach EN 673
U <sub>f</sub>	W/(m <sup>2</sup> K)	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens	(1) berechnet nach EN ISO 10077-2 oder (2) aus Anhang D der EN ISO 10077-1 entnommen oder (3) gemessen nach EN 12412-2
Ψ <sub>g</sub>	W/(m <sup>2</sup> K)	Linearer Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmen-Glas-Übergangsbereichs	(1) berechnet nach EN ISO 10077-2 oder (2) aus den Tabellen im Anhang E der EN ISO 10077-1 entnommen oder (3) repräsentative Ψ-Werte thermisch verbesserter Abstandhalter ermittelt gemäß ift-Richtlinie WA-08/3 [4] Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘

Tabelle 3: Wege zur Bestimmung der Eingangsdaten für den U<sub>w</sub>-Wert von Fenstern



Es gibt mehrere Wege, um zu den Eingangsdaten für die  $U_w$ -Wert-Berechnung zu gelangen (Tabelle 3). Im Rahmen ihres Anwendungsbereichs bieten die Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ eine vergleichsweise einfache und pragmatische Lösung für die  $\Psi_g$ -Werte. Sie sind präziser und auf jeden Fall vorteilhafter als die pauschalierten Werte aus dem Anhang E der EN ISO 10077-1. Bei den Tabellenwerten aus der Norm wird nicht zwischen Warme-Kante-Systemen unterschiedlicher Leistungsfähigkeit differenziert, entsprechend ungünstig fallen sie aus [1].

Alternativ kann das ganze Fenster nach EN ISO 12567-1 mit dem Heizkastenverfahren gemessen werden.

Die Norm EN ISO 10077-2 lässt in ihrem Anhang C ausdrücklich zu, dass repräsentative  $\Psi$ -Werte thermisch verbesserter Abstandhalter auf der Grundlage repräsentativer Profilabschnitte sowie repräsentativer Glaseinheiten festgelegt werden können [2]. Das Verfahren hierfür wird in den ift-Richtlinien WA-08/3 und

WA-17/1 beschrieben [4, 5]. In der Richtlinie WA-08/3 ist darüber hinaus die Verwendung der repräsentativen  $\Psi$ -Werte bei der Ermittlung von  $U_w$ -Werten geregelt.

#### 4.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fenster

Gemäß ift-Richtlinie WA-08/3 müssen Fensterhersteller bei der Herstellerdeklaration des  $U_w$ -Wertes ihrer Fenster für die Verwendung der Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ folgende Vorgaben beachten [4]:

- Die berechneten repräsentativen  $\Psi$ -Werte können für folgende  $U_g$ -Werte verwendet werden:  
 2-fach-Isolierglas:  $U_g \geq 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  mit Argon oder Luftfüllung  
 3-fach-Isolierglas:  $U_g \geq 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  mit Argon oder Luftfüllung.
- Der tatsächliche Glaseinstand muss mindestens 13 mm betragen.
- Bei außen freiliegendem Glasrand dürfen die repräsentativen  $\Psi$ -Werte nicht verwendet werden.

- Sind die Glasscheiben dicker als 4 mm, müssen die repräsentativen  $\Psi$ -Werte mit folgenden Zuschlägen erhöht werden:
  - Pro mm größerer Glasdicke der Außenscheibe um  $0,001 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - Pro mm größerer Glasdicke der Innenscheibe um  $0,002 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 Die Glasdicke der mittleren Scheibe bei Dreifach-Aufbauten ist nicht relevant.
- Die tatsächlich verwendeten Rahmenprofile müssen mit den repräsentativen Rahmenprofilen vergleichbar sein.  $U_f$ -Werte und Glaseinstände der tatsächlichen Rahmenprofile müssen die Anforderungen nach Tabelle 4 erfüllen.

Für Fenster, die obige Vorgaben nicht erfüllen, muss der individuelle  $\Psi$ -Wert für jede Glas-Rahmen-Kombination detailliert gemäß EN ISO 10077-2 berechnet werden [2]. Alternativ ist die Verwendung der vergleichsweise unvorteilhaften Tabellenwerte aus EN ISO 10077-1 möglich [1].

Rahmenmaterial	$U_f$ in $\text{W/(m}^2\text{K)}$	Glaseinstand in mm
Holz	$\geq 1,0$	$\geq 13$
	$\geq 0,80$	$\geq 18$
Holz-Alu	$\geq 1,0$	$\geq 13$
	$\geq 0,80$	$\geq 18$
Kunststoff	$\geq 1,0$	$\geq 13$
	$\geq 0,80$	$\geq 18$
Metall	$\geq 1,3$	$\geq 13$
	$\geq 1,0$	$\geq 18$



Tabelle 4: Rahmen-Vorgaben für die Anwendung der repräsentativen  $\Psi$ -Werte für Fenster

## 5.0 BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘

### 5.1 Layout

Die BF-Datenblätter für Fassadenprofile sind analog zu den BF-Datenblättern ‚Psi-Werte Fenster‘ aufgebaut. Im mittleren Bereich werden für die drei repräsentativen Fassadenprofile (Holz-Metall, Metall mit wärmetechnischer Trennung für zwei Profiltiefen) jeweils für Zweischeiben- und für Dreischeiben-Isolierglas insgesamt sechs repräsentative Psi-Werte angegeben. Dabei handelt es sich um die Psi-Werte für die Wärmebrücke am Rand von fest eingebauten Verglasungen in Pfosten- und Riegel-Profilen,  $\Psi_{mg}$  und  $\Psi_{tg}$  (siehe Kapitel 5.2).

Die BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ können innerhalb des zulässigen Anwendungsbereiches nach ift-Richtlinie WA-22/1 für Festverglasungen in Pfosten-Riegel-Fassaden, jedoch NICHT für SSG (Structural Sealant Glazing) Systeme verwendet werden.



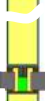
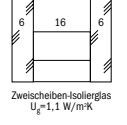
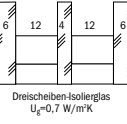



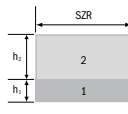
Monat 20XX – Nr. CWX – Änderungsindex X-0X/20XX ARBEITSKREIS ‚WARME KANTE‘

### Datenblatt Psi-Werte Fassadenprofile

auf Basis messtechnischer Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter

Querschnitt	Produktname	Abstandhalter Bauhöhe in mm	Material	Dicke d in mm
	X	X	X	X

Repräsentative Fassadenprofile	Repräsentative Glasaufbauten	Holz-Metall	Metall mit wärmetechnischer Trennung (d <sub>1</sub> = 100 mm)	Metall mit wärmetechnischer Trennung (d <sub>1</sub> = 200 mm)
				
Repräsentativer Psiwert Zweischeiben-Isolierglas W/m <sup>2</sup> K	 Zweischeiben-Isolierglas U <sub>g</sub> = 1,1 W/m <sup>2</sup> K	0,0XX	0,0XX	0,0XX
Repräsentativer Psiwert Dreischeiben-Isolierglas W/m <sup>2</sup> K	 Dreischeiben-Isolierglas U <sub>g</sub> = 0,7 W/m <sup>2</sup> K	0,0XX	0,0XX	0,0XX

Two Box Modell Merkmale		Scheibenzwischenraum (SZR) in mm	$\lambda_{eq,2B}$ in W/mK	
		Für alle SZR verwendbar	Box 1 · h <sub>1</sub> = X mm	Box 2 · h <sub>2</sub> = X mm
			0,XX	0,XX

Erläuterungen

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit wurde nach der ift-Richtlinie WA-17/1 "Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit durch Messung" ermittelt. Die damit berechneten repräsentativen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten (repräsentative Psi-Werte) gelten für typische Fassadenprofile und Verglasungen für die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U<sub>zw</sub> von Vorhangfassaden. Sie wurden unter den in der ift-Richtlinie WA-22/1 „Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Teil 3: Ermittlung des repräsentativen Psi-Wertes für Fassadenprofile“ festgelegten Rahmenbedingungen (Rahmenprofile, Verglasung, Glasstand, Rückenüberdeckung, Primär- und Sekundärdichtstoff) ermittelt. Diese Richtlinie regelt auch den Gültigkeitsbereich und die Anwendung der repräsentativen Psi-Werte. Zur Vermeidung von Rundungsfehlern wurden die Psi-Werte im Datenblatt auf 0,001 W/m<sup>2</sup>K angegeben. Das Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Psi-Werte hat eine Genauigkeit von ± 0,003 W/m<sup>2</sup>K. Unterschiede von weniger als 0,005 W/m<sup>2</sup>K sind nicht signifikant. Weitere Informationen sind dem Merkblatt 004/2008 "Kompass Warme Kante" des Bundesverband Flachglas zu entnehmen.



Ermittlung der Kennwerte durch:  



Abb. 11: Layout der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘

### 5.2 U<sub>cw</sub>-Werte für Pfosten-Riegel-Fassaden

Der Wärmedurchgangskoeffizient U<sub>cw</sub> von Vorhangfassaden wird nach EN ISO 12631 ermittelt [3]. In Pfosten-Riegel-Fassaden können Festverglasungen, Fensterelemente oder Paneele eingebaut sein (Abb. 13). Am Übergangsbereich zwischen den Fassaden-Füllungsflächen und Pfosten-Riegel-Flächen entstehen verschiedenste Wärmebrücken, die bei der Ermittlung von U<sub>cw</sub> berücksichtigt werden müssen.

Wie beim Fenster gibt es auch bei Fassaden mehrere Wege, um zu den Eingangsdaten zu gelangen. Wegen der Vielzahl der Komponenten soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden. Für den Einbau von Verglasungen in Pfosten-Riegel-Fassaden bieten die Datenblätter ‚Psi-Werte Fassade‘ im Rahmen ihres Anwendungsbereichs eine vergleichsweise einfache und pragmatische Lösung für die Psi-Werte  $\Psi_{mg}$  und  $\Psi_{tg}$ . Sie sind präziser und in der Regel vorteilhafter als die pauschalierten Tabellenwerte aus dem Anhang B der EN ISO 12631 [3].

Alternativ können beim „Verfahren mit Beurteilung der einzelnen Komponenten“ alle Wärmebrücken auch detailliert nach EN ISO 10077-2 berechnet oder es kann das so genannte „Vereinfachte Beurteilungsverfahren“ nach EN ISO 12631 verwendet werden.

Flächenbezogene  
Wärmedurchgangskoeffizienten U

Längenbezogene  
Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum A_m U_m + \sum A_t U_t + \sum l_{fg} \Psi_{fg} + \sum l_{mg} \Psi_{mg} + \sum l_{tg} \Psi_{tg} + \sum l_p \Psi_p + \sum l_{mf} \Psi_{mf} + \sum l_{tf} \Psi_{tf}}{A_{cw}}$$

Abb. 12: Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U<sub>cw</sub> von Fassaden nach dem Verfahren mit Beurteilung der einzelnen Komponenten. Der U<sub>cw</sub>-Wert setzt sich aus fünf flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten U und sechs verschiedenen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$  zusammen [3].

Index	Englische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
<b>cw</b>	<b>curtain walling</b>	Fassade
<b>m</b>	<b>mullion</b>	Pfosten
<b>t</b>	<b>transom</b>	Riegel
<b>f</b>	<b>frame</b>	Rahmen
<b>p</b>	<b>panel</b>	Paneel
<b>g</b>	<b>glass</b>	Glas

Tabelle 5: Indizes für die Bestandteile eines Fassadenelements

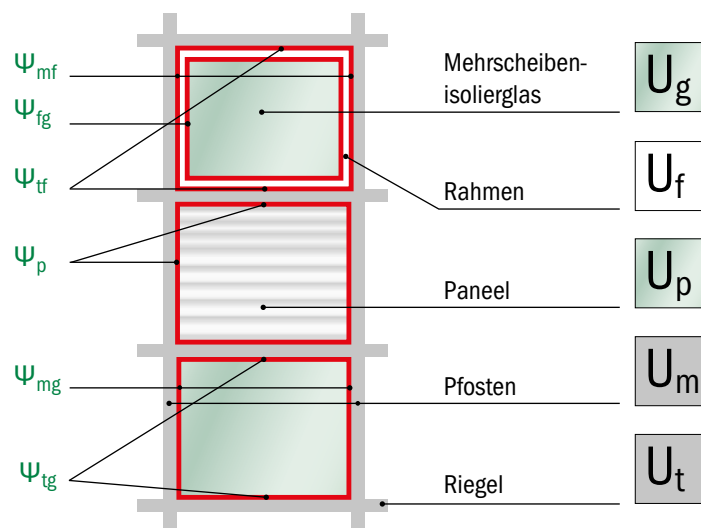


Abb. 13: Musterfassadenelement gemäß EN ISO 12631 [3]

## 5.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fassadenprofile

Gemäß ift-Richtlinie WA-22/1 [6] müssen Fassadenhersteller für die Verwendung der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ bei der Herstellerdeklaration des  $U_{cw}$ -Wertes folgende Vorgaben beachten:

- Die berechneten repräsentativen  $\Psi$ -Werte können für folgende  $U_g$ -Werte verwendet werden:
  - 2-fach-Isolierglas:  $U_g \geq 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  mit Argon oder Luftfüllung
  - 3-fach-Isolierglas:  $U_g \geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  mit Argon oder Luftfüllung.
- Der tatsächliche Glaseinstand muss mindestens 13 mm betragen.
- Bei außen freiliegendem Glasrand und bei SSG (Structural Sealant Glazing) Systemen dürfen die repräsentativen Psi-Werte **nicht** verwendet werden.
- Sind die Glasscheiben dicker als 6 mm, müssen die repräsentativen  $\Psi$ -Werte mit Zuschlägen gemäß Tabelle 6 erhöht werden. Die Glasdicke der mittleren Scheibe bei Dreifach-Aufbauten ist nicht relevant. Sind die Glasdicken geringer als 6 mm, dürfen die Korrekturwerte nach Tabelle 6 von den repräsentativen Psi-Werten abgezogen werden.
- Die tatsächlich verwendeten Fassadenprofile müssen mit den repräsentativen Profilen der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ vergleichbar sein.  $U_m$ - und  $U_t$ -Werte der tatsächlichen Fassadenprofile müssen (inkl. des Schraubeneinflusses) den Anforderungen nach Tabelle 7 genügen.

Material	$\Delta\Psi$ in $\text{W}/(\text{mK})$ pro mm Dicke der	
	Außenscheibe	Innenscheibe
Holz-Metall	0,001	0,001
Metall mit wärmetechnischer Trennung	0,001	0,000

Tabelle 6: Korrekturwerte zur Berücksichtigung des Einflusses der Glasdicke bei Fassaden

Material	$U_m$ bzw. $U_t$ in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Holz-Metall	für 2-fach-Glas: $\geq 1,3$ für 3-fach-Glas: $\geq 0,9$
Metall mit wärmetechnischer Trennung	für 2-fach-Glas: $\geq 1,3$ für 3-fach-Glas: $\geq 0,9$

Tabelle 7: Fassadenprofil-Vorgaben für die Anwendung der repräsentativen  $\Psi$ -Werte für Fassadenprofile

## 6.0 Der Arbeitskreis 'Warme Kante'

### 6.1 Die Mitglieder

Der Arbeitskreis 'Warme Kante' ist ein Unterausschuss des Technischen Ausschusses beim Bundesverband Flachglas. Die Teilnehmer des Arbeitskreises sind Mitglieder und Fördermitglieder des BF. Wissenschaftlich begleitet wird der Arbeitskreis durch Prof. Dr. Franz Feldmeier, Hochschule Rosenheim und Herrn Norbert Sack, ift Rosenheim.



Hochschule **Rosenheim**  
University of Applied Sciences



Im Arbeitskreis sind alle führenden Hersteller von Warme-Kante-Systemen für Isolierglas sowie die Glasindustrie vertreten:



Allmetal GmbH Abstandhalter für Isolierglas, Wiedemar, D



BAUWERK – Ingenieurbüro für Bauphysik und Fenstertechnik, Rosenheim, D



Ensinger GmbH Niederlassung Ravensburg, Ravensburg, D



FENZI S.p.A., Tribiano, I



GED Integrated Solutions, Chichester, GB



Glas Trösch Holding AG, Bützberg, CH



HELIMA GmbH, Wuppertal, D



IGK Isolierglasklebstoffe GmbH, Hasselroth, D



Ingrid Meyer-Quel Beratungsbüro für warme Kante und Glas, D



Isolar Glas-Beratung GmbH, Kirchberg/Hunsrück, D



Kömmerling Chemische Fabrik GmbH, Pirmasens, D



Nedex Chemie Deutschland GmbH, Moers, D



Quanex Building Products Inc. Edgetech Europe GmbH, Heinsberg, D



Rolltech A/S, Hjørring, DK



Alu-Pro S.r.l., Noale, IT



SANCO Beratung Glas Trösch GmbH, Nördlingen, D



Technoform Glass Insulation GmbH, Lohfelden, D



Thermoseal Group Limited, Birmingham, GB



Vetrotech Saint Gobain (International) AG Swisspacer Kreuzlingen, CH

Stand der Mitgliederliste: Mai 2016

## 6.2 Ergebnisse der bisherigen Tätigkeit

Der Arbeitskreis ‚Warme Kante‘ existiert bereits seit 1998. Er kann auf eine Vielzahl von bemerkenswerten Ergebnissen zurückblicken.

Im Juli 1999 wurde der Abschlussbericht des ift Rosenheim zum ersten Forschungsvorhaben Warm Edge vorgelegt [7]. Dabei wurden erstmals Abstandhalterssysteme mit Berechnungen unter identischen Randbedingungen verglichen. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für eigene, systembezogene Psi-Werte-Tabellen der Systemhersteller.

In einem zweiten Forschungsvorhaben für das Deutsche Institut für Bautechnik wurden 2002 bis 2003 die wichtigsten Einflüsse auf die Psi-Werte in verschiedenen Rahmenmodellen nach EN ISO 10077-2 rechnerisch untersucht und mit experimentellen Ergebnissen verglichen. An diesem Projekt waren insgesamt 6 Prüfinstitute und Rechenstellen sowie 8 Industriepartner beteiligt [8].

Um die Branche und Verbraucher vor Produkten zu schützen, die eine wärmetechnische Verbesserung am Isolierglas-Randverbund nur vortäuschen, wurde im Arbeitskreis eine Definition für wärmetechnisch verbesserten Randverbund entwi-

ckelt. Diese Definition wurde zunächst in die DIN V 4108-4:2004-07, Anhang C, aufgenommen, fand dann aber rasch Aufnahme in der Europäischen Normierung (siehe EN ISO 10077-1, Anhang E sowie EN ISO 12631, Anhang B [1, 3]).

Nachdem die Rahmenmodelle der ersten Forschungsprojekte nicht mehr zeitgemäß erschienen, wurden 2007 bis 2008 in einem dritten Forschungsvorhaben zunächst vier neue Rahmenmodelle entwickelt, die für ihre Klasse repräsentativ waren und deren  $U_f$ -Werte den Stand der Technik darstellten. Anschließend wurden in diesen Rahmenmodellen mit Zweifach- und Dreifach-Isolierglas die repräsentativen  $\Psi$ -Werte der einzelnen Warme-Kante-Systeme berechnet und in Form der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ veröffentlicht. Dieses Projekt wurde der Branche mit dem BF-Symposium ‚Warme Kante‘ am 23.4.2008 in Hanau vorgestellt.

Im Frühjahr 2013 wurde ein weiteres vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) gefördertes Forschungsvorhaben des Arbeitskreises ‚Warme Kante‘ am ift Rosenheim und an der Hochschule Rosenheim durchgeführt. Als Resultat dieses vierten Projekts ergab sich die in Kapitel 3 beschriebene neue messtechnische Grundlage für die BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ [9, 10].

Ende 2013 beschloss der Arbeitskreis ‚Warme Kante‘, sich an der Finanzierung eines Projekts zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der repräsentativen Fenster-Psi-Werte auf niedrigere  $U_f$ -Werte zu beteiligen. Aus diesem fünften Projekt des AK folgte eine Überarbeitung der ift-Richtlinie WA-08, die seit der Version 3 die Anwendung der repräsentativen Psi-Werte bei entsprechend höherem Glaseinstand auch für hochdämmende Fensterrahmen zulässt (siehe Kapitel 4.3, Tabelle 4).

Die BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ basieren auf dem sechsten Forschungsvorhaben des Arbeitskreises, das im Januar 2014 gestartet worden war.

## 6.3 Ausblick

Der Arbeitskreis widmet sich weiterhin der Erarbeitung brauchbarer Methoden für die Bewertung und Berücksichtigung des wärmetechnischen Verbesserungspotenzials, das die warme Kante bietet. Mit Hilfe der geschaffenen Gütekriterien für die repräsentativen Psi-Werte soll das Thema ‚Warme Kante‘ gefördert und für dauerhaft seriöse und verlässliche Darstellung im Markt gesorgt werden. Unterstützt wird dies durch gemeinsame Pressearbeit und Marketingaktionen.

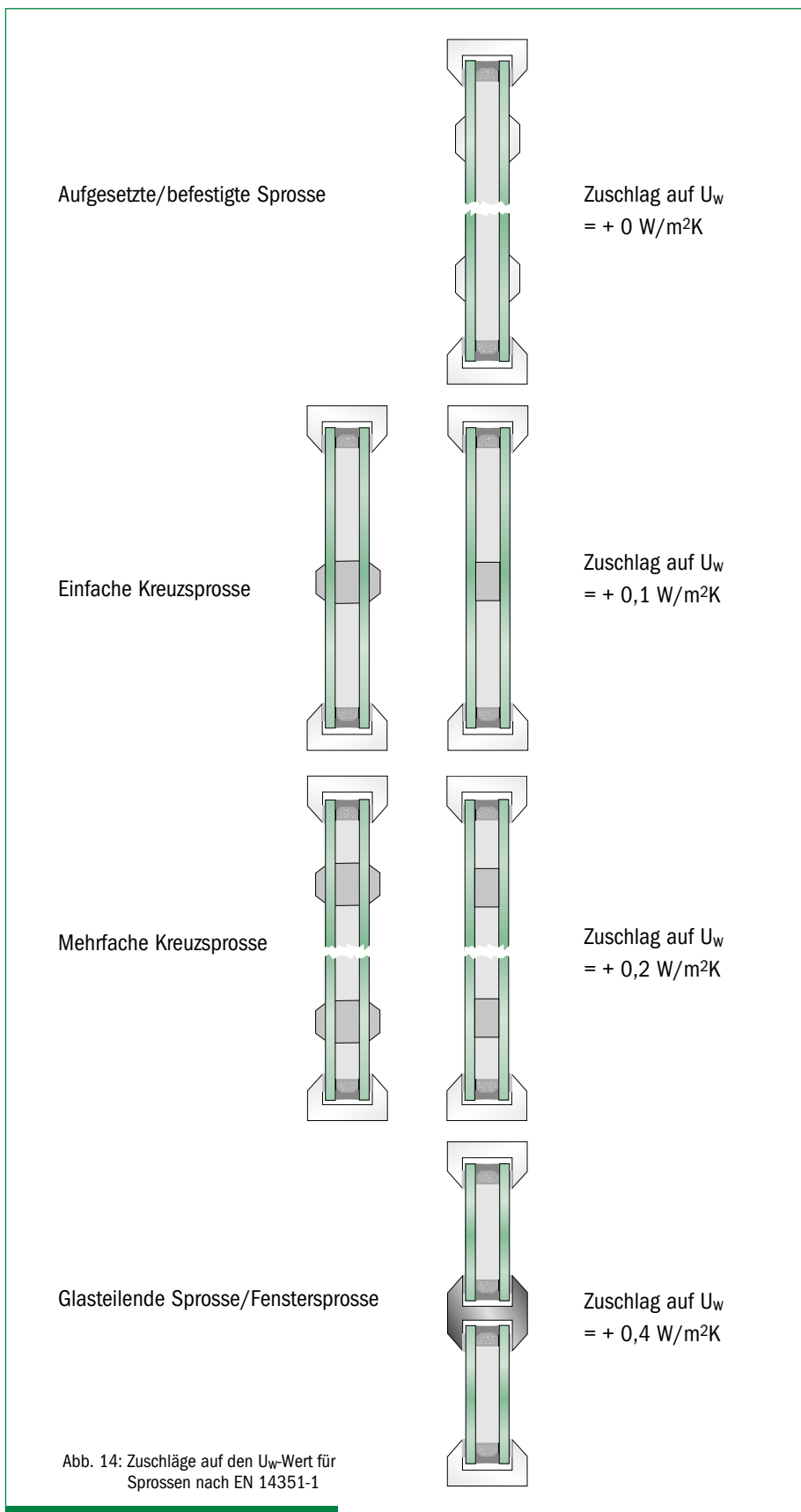
## 7.0 Wärmetechnische Behandlung von Sprossenfenstern

### 7.1 Pauschalzuschläge für Sprossen nach EN 14351-1

Nicht nur der Abstandhalter im Randverbund, auch andere Einbauten im Scheibenzwischenraum von Zweifach- oder Dreifach-Isoliergläsern können Wärmebrücken verursachen. So sind Sprossen ebenfalls wärmetechnische „Störstellen“, die bei der Ermittlung des  $U_w$ -Wertes von Fenstern berücksichtigt werden müssen. In der Produktnorm für Fenster (EN 14351-1) werden im Anhang J Zuschläge für Sprossenfenster vorgegeben (Abb. 14).

Dabei wird nicht unterschieden, ob es sich um „Wiener Sprossen“ handelt, die außen noch mit einer Deckleiste abgedeckt werden, oder um reine Ziersprossen im SZR, die in der Draufsicht sichtbar bleiben. Zwischen konventionellen Sprossen aus Aluminium und wärmetechnisch verbesserten Sprossen aus Kunststoff wird nicht differenziert. Ob sich bei Dreifach-Isolierglas Sprossen in beiden Scheibenzwischenräumen befinden oder nur in einem, spielt bei der Ermittlung des Aufschlags ebenfalls keine Rolle.

Diese Zuschläge auf den  $U_w$ -Wert sind zwar einfach anzuwenden, jedoch für Sprossenfenster in vielen Fällen unangemessen hoch.

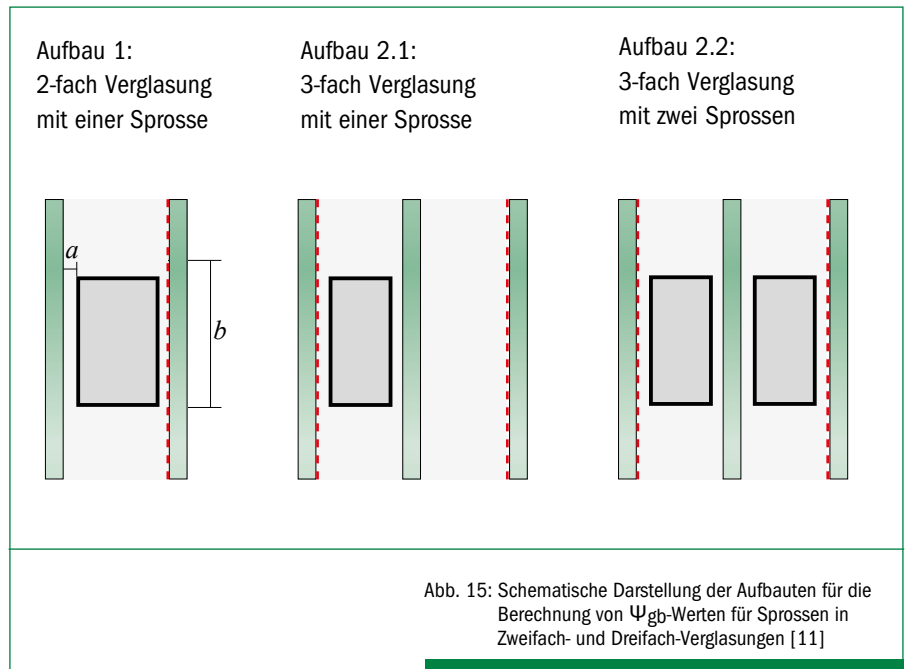


## 7.2 Das Forschungsvorhaben der ad hoc Gruppe ‚Sprossen‘ des BF

Mit einer detaillierten Berechnung nach EN ISO 10077-2 und der Ermittlung von linearen Wärmedurchgangskoeffizienten für Sprossen (Sprossen-Psi-Werte) ergeben sich in den allermeisten Fällen vorteilhaftere  $U_w$ -Werte als bei Anwendung der pauschalen Zuschläge. Allerdings ist diese Vorgehensweise mit erheblichem Aufwand verbunden, zumal die Variantenvielfalt von Sprossen deutlich größer ist als bei einem Abstandhaltersystem.

In einem Forschungsvorhaben am ift Rosenheim, initiiert und finanziert durch die ad hoc Gruppe ‚Sprossen‘ des BF, wurde deshalb das Thema Sprossen wärmetechnisch untersucht. Ziel war es, durch Berechnung von längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi_{gb}$  für unterschiedliche Sprossenarten pauschale Sprossen-Psi-Werte zu ermitteln, die in Tabellenform zur Aufnahme in die EN ISO 10077 vorgeschlagen werden sollen.

Im September 2015 erschien der Abschlussbericht „Erarbeitung von vereinfachten Tabellen zur Berücksichtigung des Einflusses von Sprossen im Rahmen der Ermittlung des U-Wertes von Fenstern“. Durch beispielhafte Berechnungen wurden die Einflussgrößen auf Sprossen-Psi-Werte analysiert (Abb. 15 und Tab. 8).



<b>Einflussgröße</b>	<b>Relevanz</b>
Beschichtung (Emissionsgrad) der Glasscheiben	Beschichtung hat Einfluss auf $\Psi_{gb}$ -Werte
Wärmeleitfähigkeit des Materials der Sprosse	Unterscheidung in zwei Materialgruppen (Aluminium oder Kunststoff) sinnvoll
Beidseitiger Abstand a der Sprossen zum Glas	Je größer a, umso geringer der $\Psi_{gb}$ -Wert
Breite b der Sprosse	$\Psi_{gb}$ -Werte steigen mit zunehmender Sprossenbreite an
Bei Dreifach-Isolierglas: Sprossen in einem oder in beiden SZR <sup>*)</sup>	Signifikanter Einfluss
Wandstärke der Sprossen	Kein signifikanter Einfluss

Tabelle 8: Einflussgrößen bei Sprossen-Psi-Werten und ihre Relevanz

<sup>\*)</sup> Anmerkung:

Der BF empfiehlt, bei Dreifach-Isolierglas Sprossen nur in einem Scheibenzwischenraum einzubauen. Das ist sowohl aus wärmetechnischen, aber auch aus optischen Gründen sinnvoll.

### 7.3 Tabellen mit pauschalen Sprossen-Psi-Werten

Analog zur Wärmebrücke am Glasrand wird der pauschale Sprossen-Psi-Wert  $\Psi_{gb}$  (gb = glazing bar) mit der Gesamtlänge der verbauten Sprossen multipliziert und anteilig auf den  $U_w$ -Wert aufgeschlagen.

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g + l_{gb} \cdot \Psi_{gb}}{A_w}$$

Abb. 16: Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  von Sprossenfenstern

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens [11] wurden zwei Tabellen (siehe Tabellen 9 und 10) mit pauschalen Sprossen-Psi-Werten zur Ergänzung der EN ISO 10077-1 vorgeschlagen, die in folgendem Anwendungsbereich gültig sein sollen:

- Für Sprossen (Hohlkammerprofile) aus Metall und Kunststoff
- Sprossenbreite  $b \leq 30$  mm (siehe Abb. 15)
- Abstand  $a \geq 2$  mm und  $a \geq 4$  mm (siehe Abb. 15)

Es gilt als sehr wahrscheinlich, dass diese Tabellen in die nächste Ausgabe der EN ISO 10077-1 aufgenommen werden. Deshalb ist aus Sicht des BF eine Anwendung der pauschalen Sprossen-Psi-Werte nach Tabelle 9 und 10 unter Berufung auf das Forschungsvorhaben schon heute zu befürworten.

Verglasung	Abstand $a$ in mm	$\Psi$ -Wert in W/(mK)	
		Verglasung ohne low e coating	Verglasung mit low e coating
2-fach	$\geq 2$	0,03	0,07
	$\geq 4$	0,01	0,04
3-fach mit Sprosse in einem SZR	$\geq 2$	-/-	0,03
	$\geq 4$	-/-	0,01
3-fach mit Sprosse in beiden SZR	$\geq 2$	-/-	0,05
	$\geq 4$	-/-	0,02

Tabelle 9: Werte für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi_{gb}$  für Sprossen aus Metall ( $\lambda \leq 160$  W/(mK)) im Scheibenzwischenraum.

Verglasung	Abstand $a$ in mm	$\Psi$ -Wert in W/(mK)	
		Verglasung ohne low e coating	Verglasung mit low e coating
2-fach	$\geq 2$	0,00	0,04
	$\geq 4$	0,00	0,02
3-fach mit Sprosse in einem SZR	$\geq 2$	-/-	0,02
	$\geq 4$	-/-	0,01
3-fach mit Sprosse in beiden SZR	$\geq 2$	-/-	0,03
	$\geq 4$	-/-	0,02

Tabelle 10: Werte für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi_{gb}$  für Sprossen aus Kunststoff ( $\lambda \leq 0,30$  W/(mK)) im Scheibenzwischenraum.

## 8.0 Literatur

- [1] EN ISO 10077-1:2009  
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Allgemeines  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [2] EN ISO 10077-2:2012  
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [3] EN ISO 12631:2012  
Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [4] ift-Richtlinie WA-08/3  
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Teil 1: Ermittlung des repräsentativen  $\Psi$ -Wertes für Fensterrahmenprofile  
Rosenheim, ift Rosenheim, Februar 2015
- [5] ift-Richtlinie WA-17/1  
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Teil 2: Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit durch Messung  
Rosenheim, ift Rosenheim, Februar 2013
- [6] ift-Richtlinie WA-22/1  
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Teil 3: Ermittlung des repräsentativen  $\Psi$ -Wertes für Fassadenprofile  
Rosenheim, ift Rosenheim, Januar 2016
- [7] Abschlussbericht ‚Forschungsvorhaben Warm Edge‘  
Rosenheim, ift Rosenheim, Juli 1999
- [8] Forschungsvorhaben ‚Psi-Wert Fenster – Qualitätskriterien für die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi_g$  (Psi-Wert) des Übergangs Rahmen-Glasrand-Glas und Vergleich mit experimentellen Daten‘  
Berlin, Deutsches Institut für Bautechnik, April 2003  
Fraunhofer IRB Verlag, 2003, ISBN 3-8167-6526-2
- [9] Kurzbericht ‚Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante‘  
Rosenheim, ift Rosenheim, Dezember 2012
- [10] Abschlussbericht ‚Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern‘  
Rosenheim, ift Rosenheim, Dezember 2012  
ISBN 978-3-86791-339-3
- [11] ift-Forschungsbericht ‚Psi-Werte von Sprossen – Erarbeitung von vereinfachten Tabellen zur Berücksichtigung des Einflusses von Sprossen im Rahmen der Ermittlung des U-Wertes von Fenstern‘  
Rosenheim, ift Rosenheim, September 2015 (unveröffentlicht)

**Dieses Merkblatt wurde erarbeitet von:** Arbeitskreis ‚Warme Kante‘ beim Bundesverband Flachglas e. V. · Mülheimer Straße 1 · D-53840 Troisdorf

**Unter Mitwirkung von:** Hochschule Rosenheim · ift Rosenheim

Redaktionelle Inhalte erstellt durch: Ingrid Meyer-Quel Beratungsbüro für warme Kante und Glas · [www.warmedgeconsultant.com](http://www.warmedgeconsultant.com)

© **Bundesverband Flachglas e. V.** Einem Nachdruck wird nach Rückfrage gerne zugestimmt. Ohne ausdrückliche Genehmigung ist es jedoch nicht gestattet, die Ausarbeitung oder Teile hieraus nachzudrucken oder zu vervielfältigen. Irgendwelche Ansprüche können aus der Veröffentlichung nicht abgeleitet werden.



Bundesverband Flachglas e. V.  
Mülheimer Straße 1  
53840 Troisdorf