

Kompass ‚Warme Kante‘

für Fenster und Fassaden

Kompass ‚Warme Kante‘

Inhaltsverzeichnis

1.0 Einleitung	3
2.0 Was ist ‚Warme Kante‘?	4
2.1 Mehrscheiben-Isolierglas	4
2.2 Definition „wärmetechnisch verbessert“	6
2.3 Abstandhalter-Kategorien	6
3.0 Grundlagen für die BF-Datenblätter	8
3.1 Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$	8
3.2 Erteilung und Gültigkeit	10
3.3 Zulässiger Anwendungsbereich	10
4.0 BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘	11
4.1 Layout.....	11
4.2 U_w -Werte für Fenster	12
4.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fenster	13
5.0 BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘	14
5.1 Layout	14
5.2 U_{cW} -Werte für Pfosten-Riegel-Fassaden.....	15
5.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fassadenprofile	16
6.0 Der Arbeitskreis Warme Kante	17
6.1 Die Mitglieder.....	17
6.2 Ergebnisse der bisherigen Tätigkeit	18
6.3 Ausblick.....	18
7.0 Wärmetechnische Behandlung von Sprossenfenstern	19
7.1 Pauschalaufschläge für Sprossen nach EN 14351-1	19
7.2 Das Forschungsvorhaben der Ad-hoc-Gruppe ‚Sprossen‘ des BF	20
7.3 Tabellen mit pauschalen Sprossen-Psi-Werten	21
8.0 Literatur	22

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. Mit der jetzt vorliegenden Ausgabe wird dieses BF-Merkblatt zum fünften Mal erweitert und aktualisiert.

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.

Seit der letzten Überarbeitung des Kompasses vom März 2017 wurden bzw. werden im BF-Arbeitskreis ‚Warme Kante‘ im Rahmen eines Gesamtprojekts zur Verwendbarkeit von Abstandhaltern weitere Forschungsvorhaben durchgeführt. Hierbei geht es um Abstandhalter-Eigenschaften, die die Dauerhaftigkeit von Mehrscheiben-Isolierglas beeinflussen können.

Dazu gehören unter anderem:

- die thermische Längenänderung von starren Abstandhalterprofilen,
- Fogging von nicht rein metallenen Abstandhaltern bei hohen Temperaturen im Scheibenzwischenraum, d.h. das Freisetzen von flüchtigen Substanzen und deren Kondensation als sichtbarer Niederschlag auf den Glasoberflächen,
- Festigkeit von nicht rein metallenen Abstandhaltern, die aus einem Kunststoff-Hohlkörper und einer Diffusionssperre aus Metall bzw. Verbundfolie bestehen und die unter den im Randverbund auftretenden Zug- und Scherlasten nicht versagen dürfen,
- UV-Beständigkeit von nicht rein metallenen Abstandhaltern, deren Kunststoffanteile im eingebauten Zustand im Scheibenzwischenraum sichtbar bleiben.

Die bereits abgeschlossenen Teilprojekte sind in der ift-Richtlinie VE-17/1 näher beschrieben. Weitere Teilvorhaben dieses Gesamtprojekts sind noch in Bearbeitung oder in Planung (Stand Mai 2022).

2017 wurde in einem Forschungsvorhaben am ift Rosenheim der Einfluss der beiden seit EN ISO 10077-2:2017 zulässigen Verfahren für die Behandlung von Lufthohlräumen auf die repräsentativen Psi-Werte untersucht. Als Ergebnis wurde festgelegt, dass die repräsentativen Psi-Werte für die Datenblätter mit dem neuen Radiosity-Verfahren berechnet werden sollen. [13]

Darüber hinaus wurde 2017 im Arbeitskreis Warme Kante vereinbart, dass die BF-Datenblätter mit einer auf zwei Jahre befristeten Gültigkeitsdauer ausgestellt werden. Voraussetzung für eine Verlängerung um jeweils zwei Jahre ist die Nachmessung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit nach ift-Richtlinie WA-17 und Bestätigung des deklarierten Datenblattwertes innerhalb eines zulässigen Toleranzbereichs. Seit dieser Vereinbarung wurden die äquivalenten Wärmeleitfähigkeitswerte 2017, 2019 und 2021 nachgemessen (Stand Mai 2022).

Die vorstehend genannten Ergebnisse von Forschungsprojekten wurden zwischenzeitlich in die Regularien zur Erstellung von „Datenblättern Psi-Werte Fenster und Fassadenprofile“ aufgenommen (siehe nachfolgender Abschnitt 3.2).

Kompass ‚Warme Kante‘

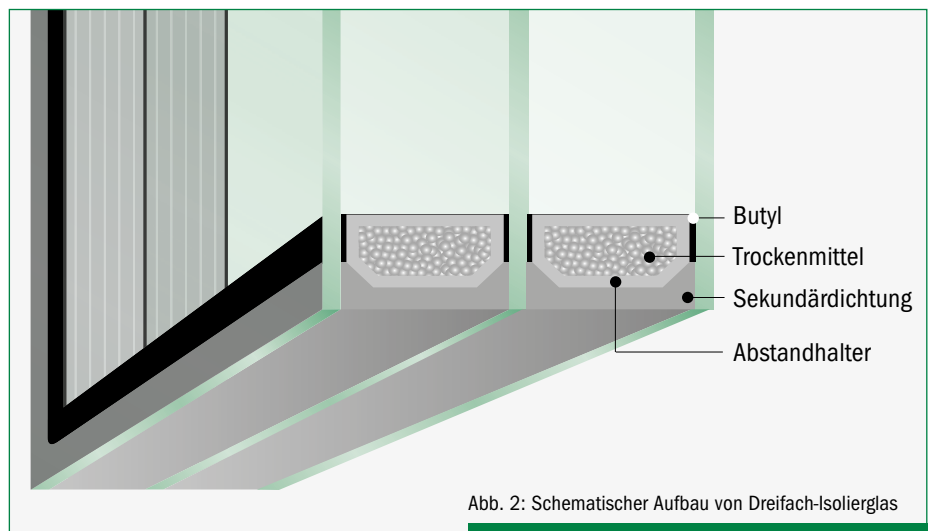
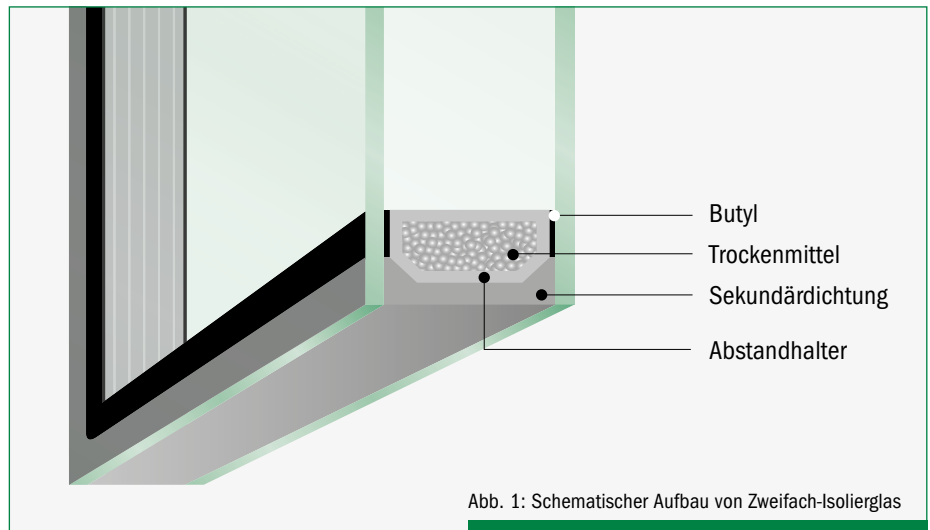
2.0 Was ist ‚Warme Kante‘?

2.1 Mehrscheiben-Isolierglas

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 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.



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“ bedeutet mehr Energieeffizienz für Fenster und Fassaden



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

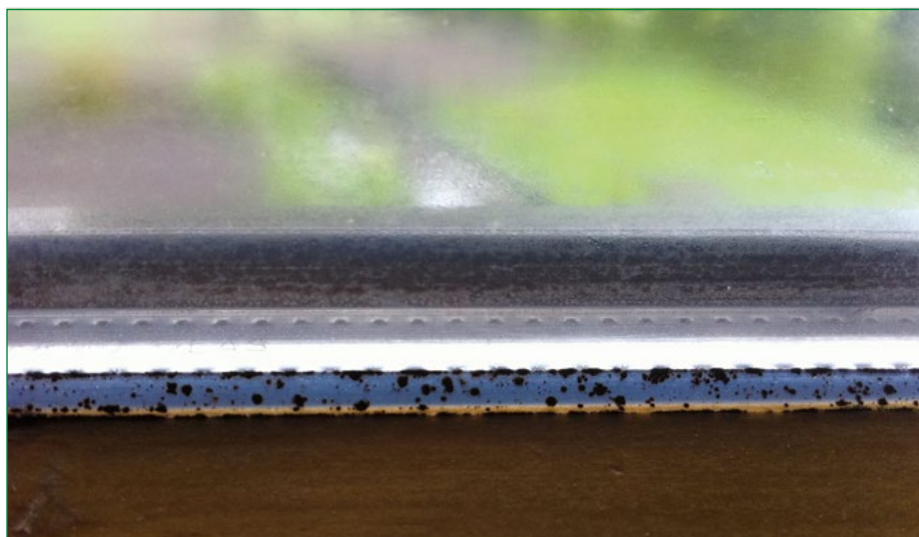


Abb. 4: Längerfristig droht dadurch Schimmelbildung, was nicht nur aus hygienischen Gründen inakzeptabel ist.

Kompass ‚Warme Kante‘

2.2 Definition ‚wärmetechnisch verbessert‘

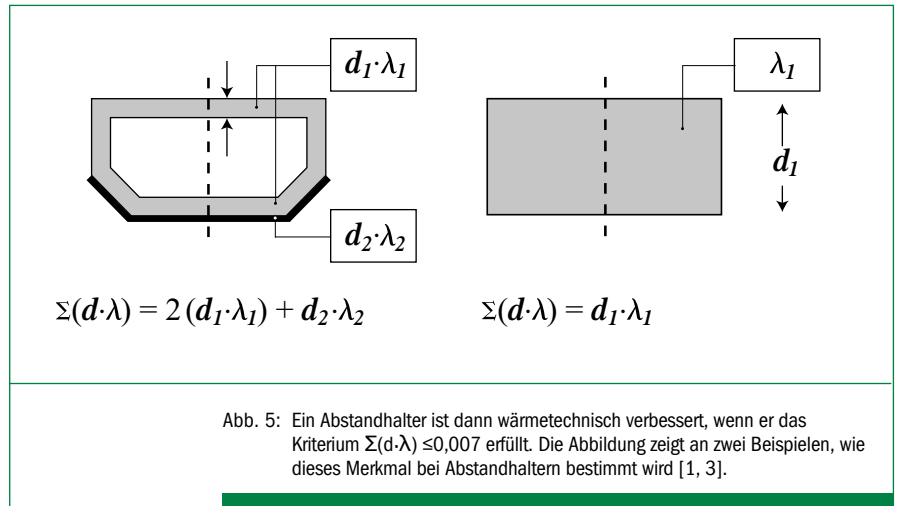
Kaum eine Wärmebrücke lässt sich so einfach beseitigen wie diejenige, die vom Aluminium-Abstandhalter im Übergangsbereich von Glas zu Rahmen verursacht wird. Für eine vergleichbare Verbesserung des U_W -Wertes eines Fensters oder des U_{CW} -Wertes einer Pfosten-Riegel-Fassade muss an anderer Stelle – 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 G der EN ISO 10077-1 [1] und für Vorhangfassaden gleichlautend im Anhang D der Norm EN ISO 12631 [3].

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

2.3 Abstandhalter-Kategorien

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



Material	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m K)	Material	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m K)
Aluminium	160	Polysulfid	0,40
Stahl	50	Molekularsieb	0,10
Nichtrostender Stahl	17	Polycarbonate	0,20
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.

Verbesserung des Isolierglas-Randverbunds nennt man ‚Warme Kante‘.

Edelstahl hat eine mehr als zehnmal geringere Wärmeleitfähigkeit als Aluminium (Tabelle 1). 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.

Der Isolierglashersteller hat eine Fülle unterschiedlichster Abstandhalterprodukte zur Wahl. Anders als beim Aluminium-Abstandhalter, der nach vierzig Jahren Koevolution mit Verarbeitungsmaschinen in einer herstellerunabhängigen, einheitlichen Geometrie endete, hat eine solche Systemkonsolidierung bei warmer Kante bislang nicht stattgefunden. Die Bandbreite ist insbesondere bezüglich der Verarbeitungstechnik groß.

Aus **starrten Hohlprofilen** werden trockenmittelbefüllte, butylierte Abstandhalterrahmen vorgefertigt. Dabei kommt es darauf an, ob das Profil vollmetallen ist,

wie z.B. Aluminium-, Stahl- oder Edelstahl-abstandhalter (Kategorie A), oder ob es sich um eine Hybridlösung aus Kunststoff mit separater Diffusionssperre handelt (Kategorie B oder C). Diese Diffusionssperre spielt als Haftfläche für Primär- und Sekundärdichtstoff für die Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems Mehrscheiben-Isolierglas eine entscheidende Rolle; sie kann metallen sein, d.h. aus gewalztem oder extrudiertem Metall (Kategorie B), oder sie besteht aus mehrschichtig aufgebauten Verbundfolien (Kategorie C).

Bei den **flexiblen Systemen** wird der Abstandhalter mit Hilfe von automatischen

Applikatoren direkt an der Isolierglaslinie auf die Scheiben aufgetragen. Das geschieht bei den thermoplastischen Systemen (TPS) durch Aufextrudieren einer heißen Masse aus dem Fass am Glasrand (Kategorie D), oder es werden vorgefertigte Schaumprofile von einer Rolle abgewickelt und entlang der Glaskante appliziert (Kategorie E).

Weitere Informationen, auch zum Austausch des Abstandhalters in einem Isolierglassystem, siehe BF-Information 020/2021 Erläuterungen und Hinweise zur EN 1279:2018-10. [15]

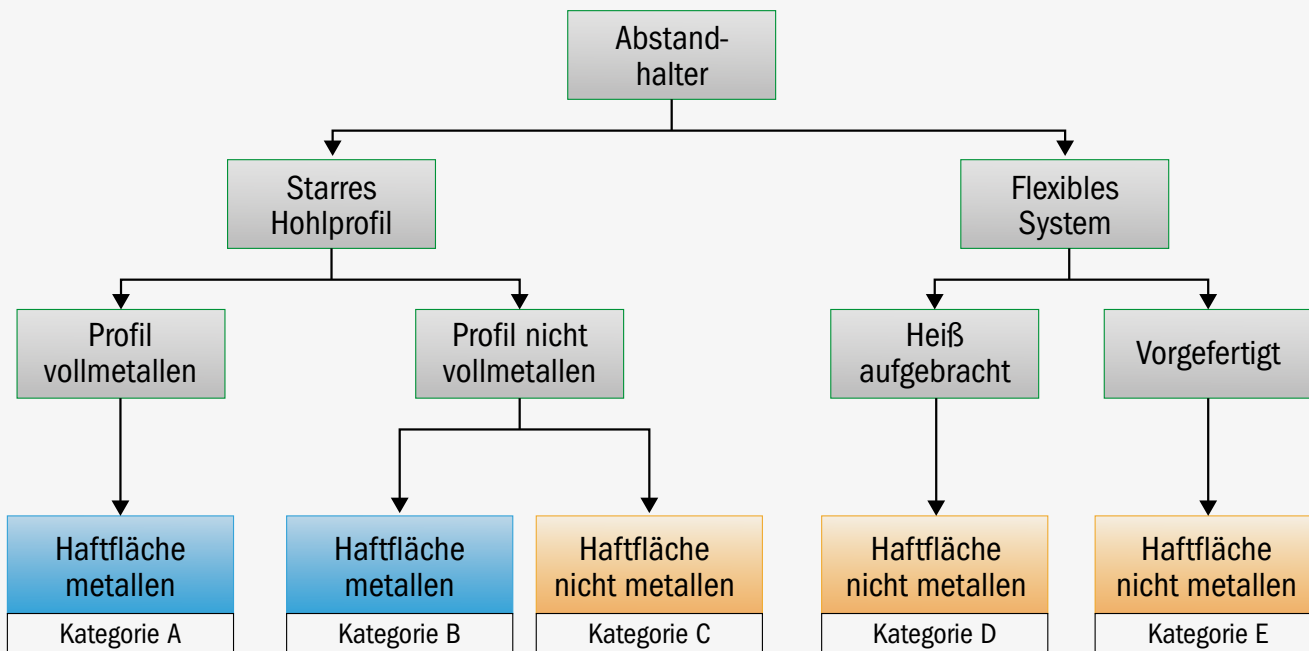


Abb. 6: Klassifizierung von Abstandhaltern in Anlehnung an EN 1279-1:2018-10 mit Zuordnung zu den Abstandhalterkategorien A bis E gemäß ift-Richtlinie VE-17 [7]. Quelle: BF-Information 020 [15]

3.0 Grundlagen für die BF-Datenblätter

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

Anstelle einer Berechnung der repräsentativen Psi-Werte aus den Wärmeleitfähigkeitswerten der Einzelmaterialien eines Abstandhalters wird zuerst die sog. äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ 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. 7).

Mit dieser gemessenen äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ werden anschließend nach dem sog. Two-Box-Modell die repräsentativen Psi-Werte für die BF-Datenblätter berechnet. Dabei 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. Die Berechnung mit der gemessenen äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ führt zum selben Wärmestrom wie eine Berechnung mit detailliert modelliertem Abstandhalter (Abb. 8).

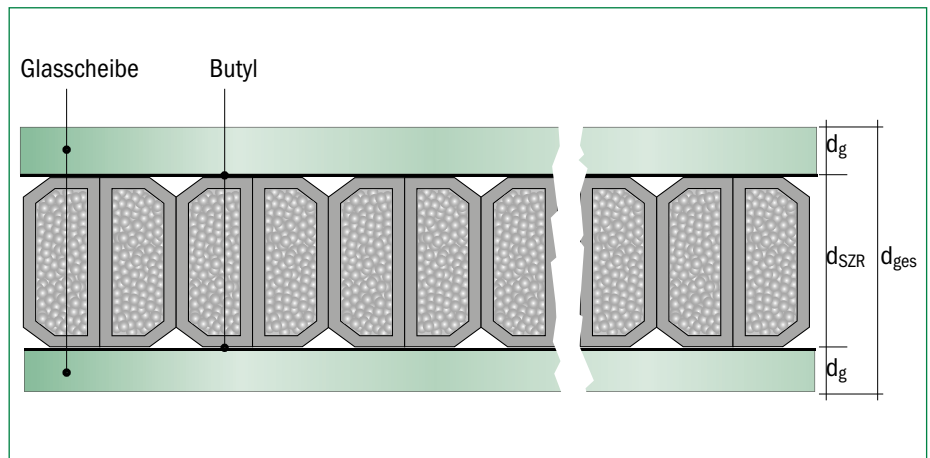


Abb. 7: Aufbau der Probekörper zur Messung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit eines Abstandhalters nach ift-Richtlinie WA 17/1 [5]

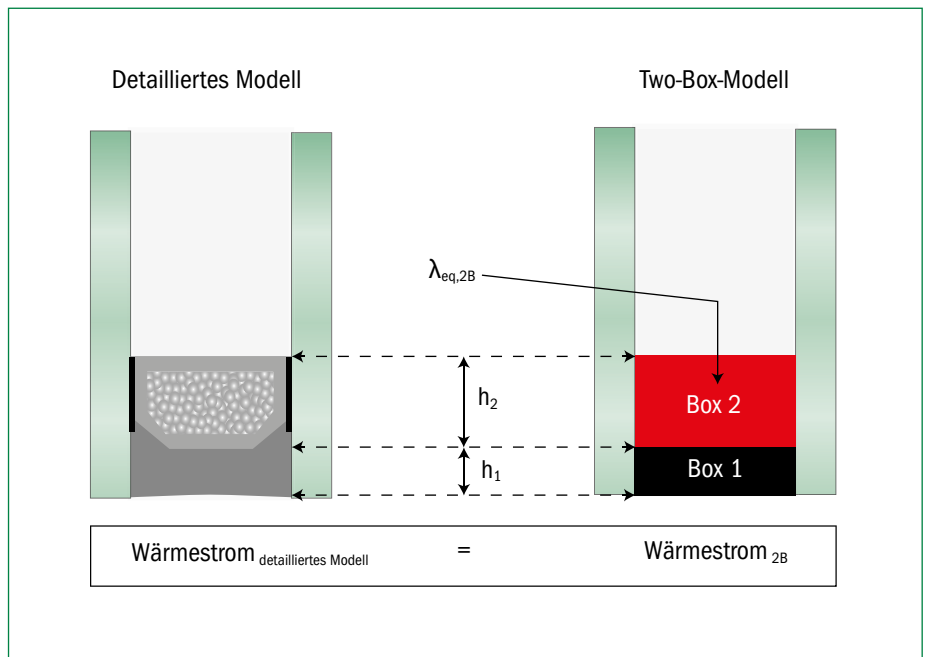


Abb. 8: Schematische Darstellung des Two-Box-Modells

Durch diese Vorgehensweise ist es nicht erforderlich, die Wärmeleitfähigkeitswerte der einzelnen Abstandhalter-Bestandteile zu bestimmen.

Bei individuellen wärmetechnischen Berechnungen nach EN ISO 10077-2 [2] kann durch die Anwendung des Two-Box-Modelles die aufwändige Modellierung des Isolierglas-Randverbunds entfallen. Ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ einmal messtechnisch ermittelt, können im Rechenmodell 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 seit April 2013 gültige messtechnische Grundlage findet sich auf den BF-Datenblättern der Untertitel „auf Basis messtechnischer Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter“. Ältere 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-22/2 dargestellt [4, 6].

BITTE BEACHTEN: Da die Abstandhaltersysteme unterschiedliche Bauhöhen h_2 haben, ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ 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. Diese ‚Regularien zur Erstellung von Datenblättern Psi-Werte Fenster und Fassadenprofile‘ sind auf Anfrage bei der Geschäftsstelle des BF erhältlich. Neben der Dokumentation zur Ermittlung der repräsentativen Psi-Werte muss ein Hersteller einen Nachweis der stofflichen Identität mit Hilfe von chemischer Charakterisierung gemäß ift-Richtlinie VE-17/1 sowie diverse Nachweise zur Sicherstellung der Eignung seines Abstandhaltersystems für die Herstellung von Mehrscheiben-Isolierglas vorlegen. Nur bei den vom Bundesverband Flachglas 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. **WO43** → 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 jeweiligen ift-Richtlinien verwiesen. [4, 6]

Auf den BF-Datenblättern wird für das Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Ψ -Werte eine Genauigkeit von $\pm 0,003$ W/(mK) angegeben. Diese Toleranzangabe soll darauf hinweisen, dass die dritte Nachkommastelle der Ψ -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-Adressen für die aktuell gültigen BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ und ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ finden Sie auf Seite 11.

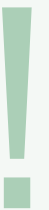
TIPP: Arbeiten Sie nicht mit lokal gespeicherten BF-Datenblatt-Kopien, sondern speichern Sie sich den Download-Link unter den Favoriten Ihres Internet-Browsers. So haben Sie jederzeit schnellen Zugriff auf die aktuell gültigen BF-Datenblätter und können sicherstellen, dass Sie mit zulässigen Versionen 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-22/2 für Fassadenprofile geregelt. [4, 6]

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, Geometrie und Kategorie 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. 9).

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/2021 – gültig bis zum 30.6.2023 ARBEITSKREIS 'WARME KANTE'

Datenblatt Psi-Werte Fenster

auf Basis messtechnischer Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter

	Produktname Produkt	Abstandhalter Bauhöhe in mm	Material	Dicke d in mm	
Profilbeschreibung		X	X	X	
		Profilkategorie X			
Repräsentative Rahmenseprofile	Repräsentative Glasbauten	Metall mit thermischer Trennung	Kunststoff	Holz	Holz/Metall
Repräsentativer Psi-Wert Zweischeiben-Wärmeglas W/m ² K	 Zweischeiben-Isolierglas $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,0XX	0,0XX	0,0XX	0,0XX
	 Dreischeiben-Isolierglas $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,0XX	0,0XX	0,0XX	0,0XX
Two-Box-Modell Kennwerte	 SZR Scheibenzwischenraum (SZR) in mm	$\lambda_{eq,28}$ 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 Fensterrahmenprofile“ festgelegten Rahmenbedingungen (Rahmenprofile, Verglasung, Glaseinstand, Rückenüberdeckung, Primär- und Sekundärdrüchstoff) 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 ² K angegeben. Das Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Psi-Werte hat eine Genauigkeit von ± 0,003 W/m ² K. Unterschiede von weniger als 0,005 W/m ² K sind nicht signifikant. Weitere Informationen sind dem Merkblatt 004/2008 "Kompass Warme Kante" des Bundesverband Flachglas zu entnehmen.			Ermittlung der Kennwerte durch: 	

Abb. 9: Layout der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘

Kompass ‚Warme Kante‘

4.2 U_w-Werte für Fenster

Gemäß EN ISO 10077-1 setzt sich der Wärmedurchgangskoeffizient U_w eines Fensters aus den flächenbezogenen Einzelwerten der Verglasung U_g und des Rahmens U_f sowie dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_g für den Übergangsbereich von Rahmen und Glas zusammen (Abb. 10 und 11). Der Wärmedurchgangskoeffizient U_g des Glases bezieht sich auf die ungestörte Mitte des Glases und der U_f-Wert des Rahmens auf den Rahmen ohne Verglasung [1].

Wo Glas und Rahmen aneinandergrenzen, ergibt sich eine geometrische und materialbedingte Wärmebrücke. Der Ψ_g-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. 10: Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von Fenstern [1]

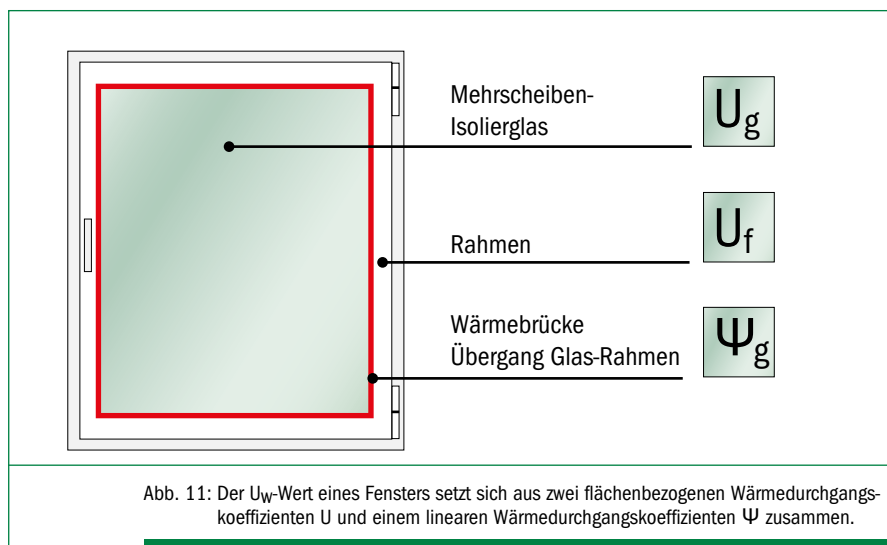
Die repräsentativen Psi-Werte erleichtern die Ermittlung des U_w-Wertes von Fenstern.

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

Tabelle 2: Indizes für die Bestandteile von Fenstern

	Einheit	Bezeichnung	Bestimmung
U _g	W/(m ² K)	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung	(1) berechnet nach EN 673 (bevorzugtes Verfahren) oder (2) gemessen nach EN 674
U _f	W/(m ² K)	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens	(1) berechnet nach EN ISO 10077-2 (bevorzugtes Verfahren) oder (2) aus Anhang F der EN ISO 10077-1 entnommen oder (3) gemessen nach EN 12412-2
Ψ _g	W/(mK)	Linearer Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmen-Glas-Übergangsbereichs	(1) berechnet nach EN ISO 10077-2 oder (2) aus Anhang G der EN ISO 10077-1 entnommen oder (3) Verwendung der BF Datenblätter ‚Psi-Werte Fenster‘ mit repräsentativen Ψ-Werten wärmethermisch verbesserter Abstandhalter (bevorzugtes Verfahren)

Tabelle 3: Wege zur Bestimmung der Eingangsdaten für den U_w-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 Ψ_g -Werte. Sie sind präziser und auf jeden Fall vorteilhafter als die pauschalierten Werte aus dem Anhang G 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].

Die Norm EN ISO 10077-2 lässt in ihrem Anhang F zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten ausdrücklich zu, dass repräsentative Ψ -Werte thermisch verbesserter Abstandhalter auf der Grundlage repräsentativer Profilabschnitte sowie repräsentativer Glaseinheiten festgelegt werden können [2]. Für die Beschreibung des Verfahrens wird auf die ift-Richtlinie WA-08/3 verwiesen [4].

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 Ψ -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 dürfen die repräsentativen Ψ -Werte nicht verwendet werden.
- Sind die Glasscheiben dicker als 4 mm, müssen die repräsentativen Ψ -Werte mit folgenden Zuschlägen erhöht werden:

- Pro mm größerer Glasdicke der Außenscheibe um 0,001 W/(mK)
 - Pro mm größerer Glasdicke der Innenscheibe um 0,002 W/(mK)
- 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 Ψ -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].

TIPP: In der Kurzversion des BF-Merkblatts 004/2018 – Psi-Werte Fenster ist die Vorgehensweise zur Bestimmung des U_w -Werts anschaulich als Flussdiagramm dargestellt. [16]

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




Tabelle 4: Rahmen-Vorgaben für die Anwendung der repräsentativen Ψ -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, Ψ_{mg} und Ψ_{tg} (siehe Kapitel 5.2).

Die BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘ können innerhalb des zulässigen Anwendungsbereiches nach ift-Richtlinie WA-22/2 für Festverglasungen in Pfosten-Riegel-Fassaden, jedoch NICHT für SSG (Structural Sealant Glazing)-Systeme verwendet werden.



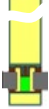
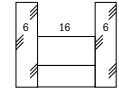
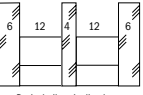
Monat 20XX – Nr. CWX – Änderungsindex X-0X/2021 – gültig bis zum 30.6.2023

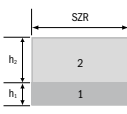
ARBEITSKREIS ‚WARME KANTE‘

Datenblatt Psi-Werte Fassadenprofile

auf Basis messtechnischer Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter

Profilbezeichnung	Produktname	Abstandhalter Bauhöhe in mm	Material	Dicke d in mm
	Produkt	X	X	X
		Profilkategorie X		

	Repräsentative Glasaufbauten	Holz-Metall	Metall mit wärmetechnischer Trennung (d ₁ = 100 mm)	Metall mit wärmetechnischer Trennung (d ₁ = 200 mm)
Repräsentative Fassadenprofile				
Repräsentativer Psi-Wert Zwischeibiges Isolierglas W/m ² K	 Zweischeiben-Isolierglas U _g = 1,1 W/m ² K	0,0XX	0,0XX	0,0XX
Repräsentativer Psi-Wert Dreischeibiges Isolierglas W/m ² K	 Dreischeiben-Isolierglas U _g = 0,7 W/m ² K	0,0XX	0,0XX	0,0XX

Two Box Modell Kennwerte		Scheibenzwischenraum (SZR) in mm	λ _{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 Fassadenprofile und Verglasungen für die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_g von Vorhangsfassaden. 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, 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/m²K angegeben. Das Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Psi-Werte hat eine Genauigkeit von ± 0,003 W/m²K. Unterschiede von weniger als 0,005 W/m²K sind nicht signifikant. Weitere Informationen sind dem Merkblatt 004/2008 "Kompass Warme Kante" des Bundesverband Flachglas zu entnehmen.

Ermittlung der Kennwerte durch:




Abb. 12: Layout der BF-Datenblätter ‚Psi-Werte Fassadenprofile‘

5.2 U_{cw}-Werte für Pfosten-Riegel-Fassaden

Der Wärmedurchgangskoeffizient U_{cw} von Vorhangfassaden wird nach EN ISO 12631 ermittelt [3]. In Pfosten-Riegel-Fassaden können Festverglasungen, Fensterelemente oder Paneele eingebaut sein (Abb. 14). Am Übergangsbereich zwischen den Fassaden-Füllungsflächen und Pfosten-Riegel-Flächen entstehen verschiedenste Wärmebrücken, die bei der Ermittlung von U_{cw} 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 Ψ_{mg} und Ψ_{tg} . Sie sind präziser und in der Regel vorteilhafter als die pauschalierten Tabellenwerte aus dem Anhang D der EN ISO 12631 [3].

Die Norm EN ISO 12631 lässt in ihrem Anhang D zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten ausdrücklich zu, dass repräsentative Ψ -Werte thermisch verbesserter Abstandhalter auf der Grundlage repräsentativer Profilteile und repräsentativer Glaseinheiten ermittelt werden können [2]. Für die Beschreibung des Verfahrens wird auf die ift-Richtlinien WA-08/3 und WA-22/2 verwiesen [4, 5].

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

Flächenbezogene
Wärmedurchgangskoeffizienten U

Längenbezogene
Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ

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

Abb. 13: Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_{cw} von Fassaden nach dem Verfahren mit Beurteilung der einzelnen Komponenten. Der U_{cw}-Wert setzt sich aus fünf flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten U und sechs verschiedenen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ zusammen [3].

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

Tabelle 5: Indizes für die Bestandteile eines Fassadenelements

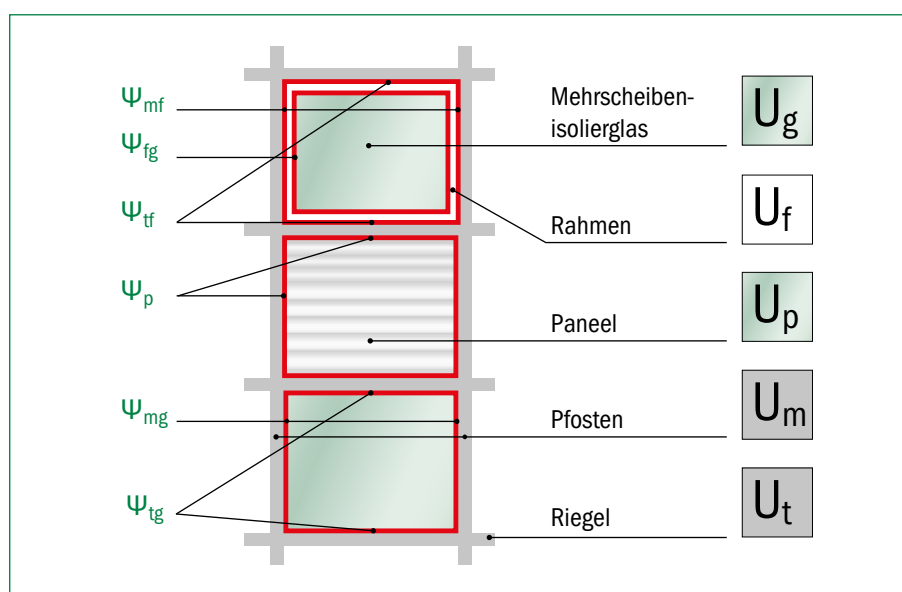


Abb. 14: Musterfassadenelement gemäß EN ISO 12631 [3]

5.3 Anwendung der repräsentativen Psi-Werte für Fassadenprofile

Gemäß ift-Richtlinie WA-22/2 [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 Ψ -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 Ψ -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 Ψ -Werte für Fassadenprofile

TIPP: In der Kurzversion des BF-Merkblatts 004/2018 – Psi-Werte Fassadenprofile ist die Vorgehensweise zur Bestimmung des U_{cW} -Werts anschaulich als Flussdiagramm dargestellt. [17]

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 das ift Rosenheim.



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

Stand der Mitgliederliste: Mai 2022



Allmetal GmbH Abstandhalter für Isolierglas, D



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



BAUWERK – Ingenieurbüro für Bauphysik und Fenstertechnik, Rosenheim, D



Edgetech Europe GmbH, Heinsberg, D



Ensinger GmbH, Nufingen, D



FENZI S.p.A., Tribiano, I



Flachglas MarkenKreis GmbH, Gelsenkirchen, D



Glas Trösch Holding AG, Bützberg, CH



HELIMA GmbH, Wuppertal, D



hics-hausstetter irina chemical support, Rosenheim, D



IGK Isolierglasklebstoffe GmbH, Hasselroth, D



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



Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH, Lauenförde, D



Isolar Glas-Beratung GmbH, Kirchberg/Hunsrück, D



Kömmerling Chemische Fabrik GmbH, Pirmasens, D



Nedex Chemie Deutschland GmbH, Moers, D



Pilkington Holding GmbH, Gelsenkirchen, D



Rolltech A/S, Hjørring, DK



SANCO Beratung Glas Trösch GmbH, Nördlingen, D



Technoform Glass Insulation GmbH, Lohfelden, D



Thermoseal Group Limited, Birmingham, GB



Uniglas GmbH & Co. KG, Montabaur, D



Vetrotech Saint Gobain (International) AG Swisspacer Kreuzlingen, CH



Wolftech GmbH, Cham, D

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 [8]. Dabei wurden erstmals Abstandhaltersysteme 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 [9].

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 entwickelt. 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 G sowie EN ISO 12631, Anhang D [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 Ψ -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 BF-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.

Die seit der letzten Überarbeitung des Kompasses vom März 2017 durchgeführten Forschungsvorhaben sind in der Einleitung zu diesem Merkblatt aufgeführt.

6.3 Ausblick

Der BF-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 Zuschläge für Sprossenfenster vorgegeben (Abb. 15).

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. Des Weiteren wird der Abstand der Sprosse zu den Glasscheiben und die Sprossenbreite nicht berücksichtigt.

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

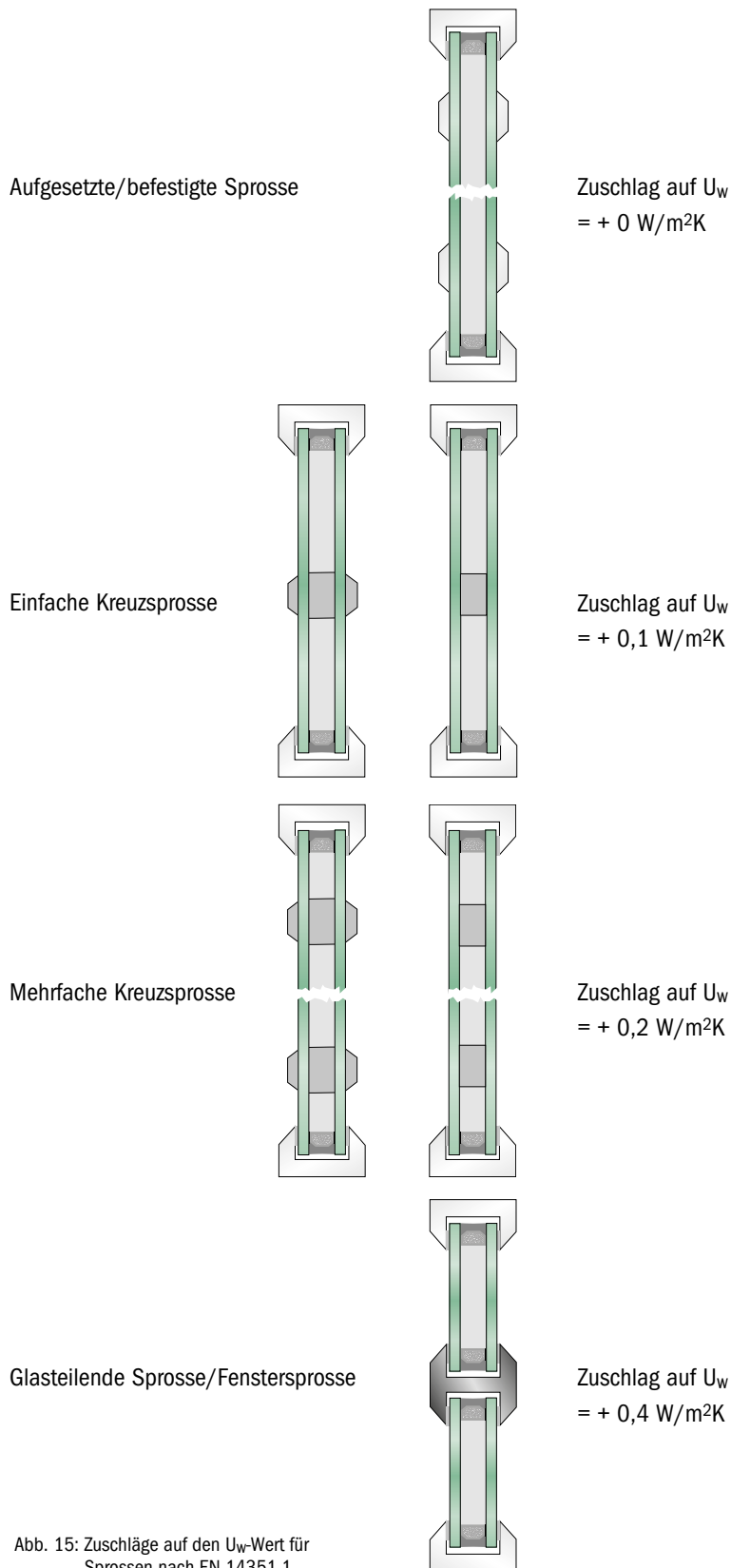


Abb. 15: Zuschläge auf den U_w -Wert für Sprossen nach EN 14351-1

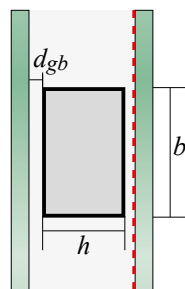
7.2 Das Forschungsvorhaben der Ad-hoc-Gruppe ‚Sprossen‘ des BF

Mit einer detaillierten Berechnung nach EN ISO 10077-2 lassen sich lineare Wärmedurchgangskoeffizienten für Sprossen (Sprossen-Psi-Werte) ermitteln. Dadurch 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.

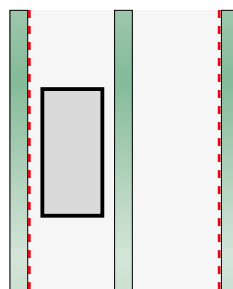
In einem Forschungsvorhaben am ift Rosenheim, initiiert und finanziert durch die Ad-hoc-Gruppe ‚Sprossen‘ des BF, wurde deshalb das Thema Sprossen wärmetechnisch untersucht. Ziel war es, durch Berechnung von längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_{gb} für unterschiedliche Sprossenarten pauschale Sprossen-Psi-Werte zu ermitteln. Diese wurden in Tabellenform zur Aufnahme in die EN ISO 10077 vorgeschlagen und sind seit der Ausgabe 2018-01 im Anhang G der Norm enthalten. [1]

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. 16 und Tab. 8). [12]

Aufbau 1:
2-fach Verglasung
mit einer Sprosse



Aufbau 2.1:
3-fach Verglasung
mit einer Sprosse



Aufbau 2.2:
3-fach Verglasung
mit zwei Sprossen

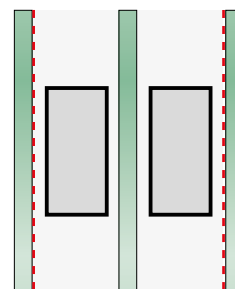


Abb. 16: Schematische Darstellung der Aufbauten für die Berechnung von Ψ_{gb} -Werten für Sprossen in Zweifach- und Dreifach-Verglasungen [11]

Einflussgröße	Relevanz
Beschichtung (Emissionsgrad) der Glasscheiben	Beschichtung hat Einfluss auf Ψ_{gb} -Werte
Wärmeleitfähigkeit des Materials der Sprosse	Unterscheidung in zwei Materialgruppen (Aluminium oder Kunststoff) sinnvoll
Beidseitiger Abstand d_{gb} der Sprossen zum Glas	Je größer d_{gb} , umso geringer der Ψ_{gb} -Wert
Breite b der Sprosse	Ψ_{gb} -Werte steigen mit zunehmender Sprossenbreite an
Bei Dreifach-Isolierglas: Sprossen in einem oder in beiden SZR ^{*)}	Signifikanter Einfluss
Wandstärke der Sprossen	Kein signifikanter Einfluss
Höhe der Sprossen h	Kein signifikanter Einfluss (entscheidend ist der Abstand d_{gb} zum Glas)

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

^{*)} 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 Ψ_{gb} ($gb = \text{glazing bar}$) 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. 17: Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von Sprossenfenstern

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens [12] wurden zwei Tabellen (siehe Tabellen

9 und 10) mit pauschalen Sprossen-Psi-Werten in die EN ISO 10077-1 integriert, für folgenden Anwendungsbereich:

- Für Sprossen (Hohlkammerprofile) aus Metall und Kunststoff
- Sprossenbreite $b \leq 30 \text{ mm}$ (siehe Abb. 16)
- Abstand $d_{gb} \geq 2 \text{ mm}$ und $d_{gb} \geq 4 \text{ mm}$ (siehe Abb. 16)

Art der Verglasung	Abstand zwischen Glasscheibe und Sprosse d_{gb} in mm	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient für verschiedene Arten von Verglasungen Ψ_{gb}	
		Zweischeiben- oder Dreischeiben-Isolierverglasung, unbeschichtetes Glas, Luft- oder Gaszwischenraum	Zweischeiben ^a - oder Dreischeiben ^b -Isolierverglasung, Glas mit niedrigem Emmissionsgrad, Luft- oder Gaszwischenraum
Zweischeibenverglasung	≥ 2	0,03	0,07
	≥ 4	0,01	0,04
Dreischeibenverglasung mit Sprosse in einem Hohlraum	≥ 2	-/-	0,03
	≥ 4	-/-	0,01
Dreischeibenverglasung mit Sprosse in beiden Hohlräumen	≥ 2	-/-	0,05
	≥ 4	-/-	0,02

^a Mit einer beschichteten Scheibe bei Zweischeibenverglasungen ^b Mit zwei beschichteten Scheiben bei Dreischeibenverglasungen

Tabelle 9: Werte für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für in Mehrscheiben-Isolierglas integrierte Sprossen aus Metall ($\lambda \leq 160 \text{ W/mK}$) [1]

Art der Verglasung	Abstand zwischen Glasscheibe und Sprosse d_{gb} in mm	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient für verschiedene Arten von Verglasungen Ψ_{gb}	
		Zweischeiben- oder Dreischeiben-Isolierverglasung, unbeschichtetes Glas, Luft- oder Gaszwischenraum	Zweischeiben ^a - oder Dreischeiben ^b -Isolierverglasung, Glas mit niedrigem Emmissionsgrad, Luft- oder Gaszwischenraum
Zweischeibenverglasung	≥ 2	0,00	0,04
	≥ 4	0,00	0,02
Dreischeibenverglasung mit Sprosse in einem Hohlraum	≥ 2	-/-	0,02
	≥ 4	-/-	0,01
Dreischeibenverglasung mit Sprosse in beiden Hohlräumen	≥ 2	-/-	0,03
	≥ 4	-/-	0,02

^a Mit einer beschichteten Scheibe bei Zweischeibenverglasungen ^b Mit zwei beschichteten Scheiben bei Dreischeibenverglasungen

Tabelle 10: Werte für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für in Mehrscheiben-Isolierglas integrierte Sprossen aus Kunststoff ($\lambda \leq 0,30 \text{ W/mK}$) [1]

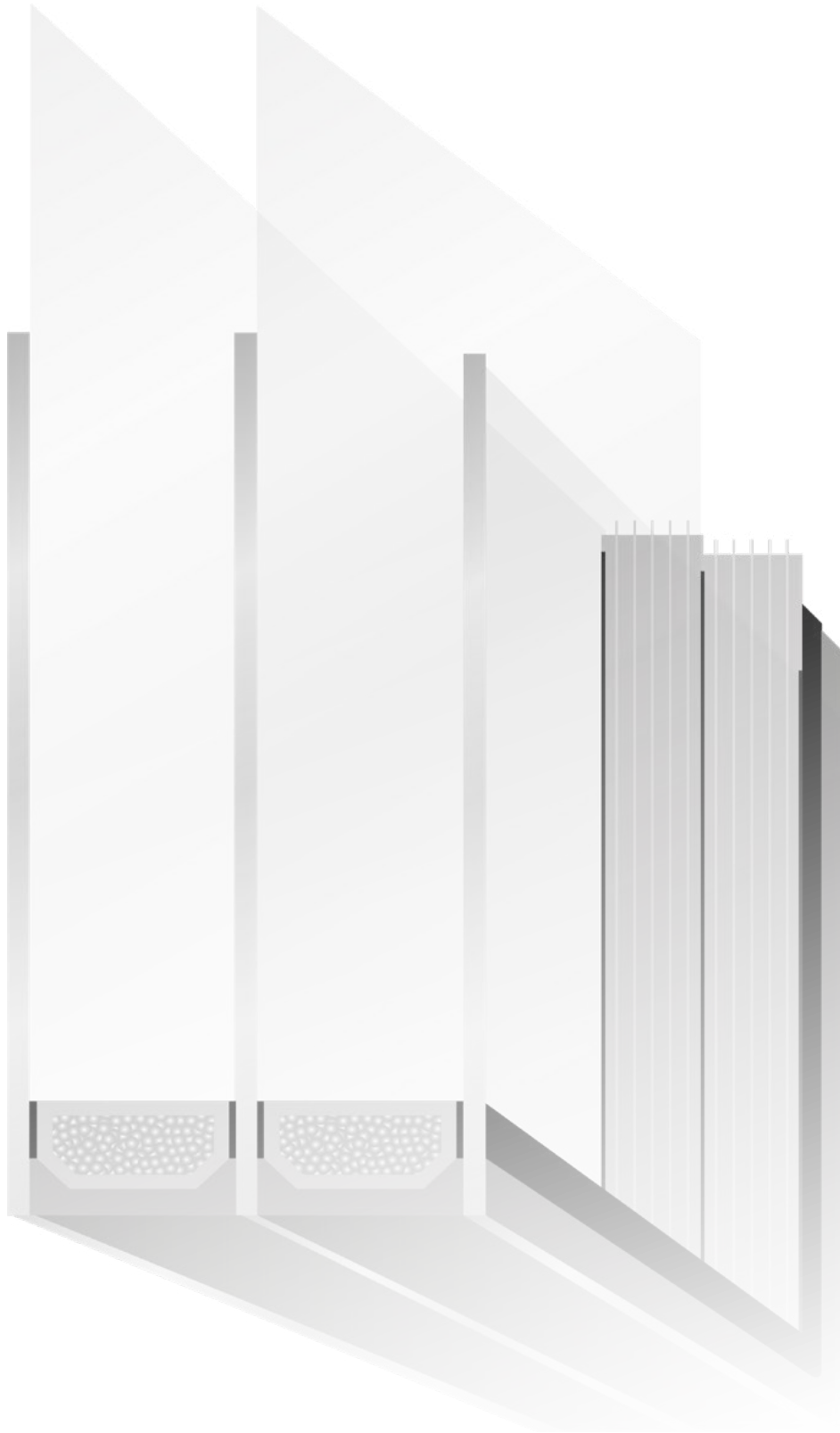
Anmerkung:

Der Inhalt des Kapitels 7 ist im März 2017 in leicht modifizierter Form auch als separate BF-Information 007/2017, U_w -Wert Berechnung von Sprossenfenstern' erschienen. [14]

8.0 Literatur

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Merkblatts waren die angegebenen, nachfolgend aufgeführten Dokumente gültig. Gegebenenfalls ist darauf zu achten, dass die jeweils aktuellen Versionen dieser Dokumente benutzt werden.

- [1] EN ISO 10077-1:2020-10
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Allgemeines
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [2] EN ISO 10077-2:2018-01
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [3] EN ISO 12631:2018-01
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 Ψ -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-22/2
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter – Teil 3: Ermittlung des repräsentativen Ψ -Wertes für Fassadenprofile
Rosenheim, ift Rosenheim, August 2016
- [7] ift-Richtlinie VE-17/1
Produktkenndaten und Prüfverfahren für den Nachweis der Verwendbarkeit von Abstandhaltersystemen im Isolierglas-Randverbund; Teil 1: Hohlprofile – nicht vollständig metallene Abstandhalter
Rosenheim, ift Rosenheim, Mai 2021
- [8] Abschlussbericht "Forschungsvorhaben Warm Edge"
Rosenheim, ift Rosenheim, Juli 1999
- [9] Forschungsvorhaben "Psi-Wert Fenster – Qualitätskriterien für die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_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
- [10] Kurzbericht "Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante"
Rosenheim, ift Rosenheim, Dezember 2012
- [11] Abschlussbericht "Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern"
Rosenheim, ift Rosenheim, Dezember 2012, ISBN 978-3-86791-339-3
- [12] 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)
- [13] ift-Forschungsbericht, Ψ -Wert Vergleichsrechnungen. Abschlussbericht Ermittlung des Einflusses auf Ψ -Werte durch die Anwendung der beiden unterschiedlichen Verfahren für die Behandlung von Hohlräumen in EN ISO 10077-2:2017
Rosenheim, ift Rosenheim, Dezember 2017 (unveröffentlicht)
- [14] BF-Information 007/2017 "U_w-Wert Berechnung von Sprossenfenstern"
Troisdorf, Bundesverband Flachglas, 2017
- [15] BF-Information 020/2021 – Änderungsindex 1 – Januar 2022 "Erläuterungen und Hinweise zur DIN EN 1279:2018-10"
Troisdorf, Bundesverband Flachglas, 2022
- [16] Kurzversion BF-Merkblatt 004/2018 Psi-Werte Fenster
Troisdorf, Bundesverband Flachglas, 2018
- [17] Kurzversion BF-Merkblatt 004/2018 Psi-Werte Fassadenprofile
Troisdorf, Bundesverband Flachglas, 2018



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

Unter Mitwirkung von: ift Rosenheim · Redaktionelle Inhalte erstellt durch: Ingrid Meyer-Quel Beratungsbüro für warme Kante und Glas · 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