



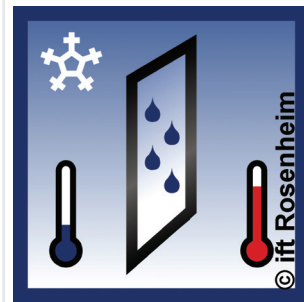
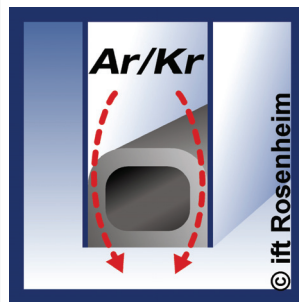
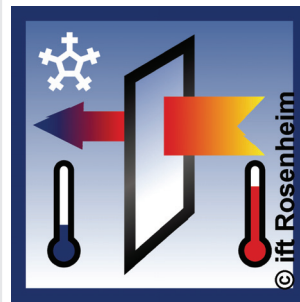
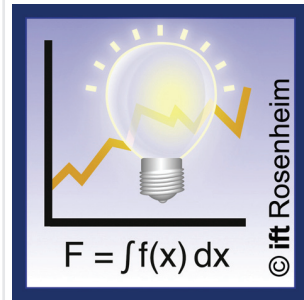
Das Institut für  
Fenster und Fassaden,  
Türen und Tore,  
Glas und Baustoffe

# Forschung & Entwicklung

Kurzbericht

sei ]j UYbhY'K } fa Y'Y]hZ \ ][ \_Y]h  
K Ufa Y'? UbhY

Dezember 2012





## Kurzbericht Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Thema</b>                     | Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern   |
| <b>Kurztitel</b>                 | Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante  |
| <b>Gefördert durch</b>           | Deutsches Institut für Bautechnik   |
| <b>Forschungsstelle</b>          | ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH<br>Theodor-Gietl-Straße 7-9<br>83026 Rosenheim   |
| <b>Projektleitung</b>            | Dipl.-Phys. Norbert Sack  |
| <b>Weitere Forschungsstellen</b> | Hochschule für angewandte Wissenschaften<br>Rosenheim<br>Prof. Dr. rer. nat. Franz Feldmeier<br><br>Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., München<br>Dipl. Ing. (FH) Wolfgang Albrecht |



Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante  
Inhaltsverzeichnis



**Inhaltsverzeichnis**

|                                       | <b>Seite</b> |
|---------------------------------------|--------------|
| <b>1 Motivation und Projektziel</b>   | <b>1</b>     |
| <b>2 Vorgehensweise</b>               | <b>3</b>     |
| <b>3 Durchgeführte Untersuchungen</b> | <b>5</b>     |
| 3.1 Untersuchungen Stufe              | 5            |
| 3.2 Untersuchungen Stufe 2            | 7            |
| <b>4 Danksagung</b>                   | <b>9</b>     |



## 1 Motivation und Projektziel

Bei Fenstern und Fassaden kommt der wärmetechnischen Bewertung sowie Optimierung der „Wärmebrücke Glasrandverbund“ durch den Einsatz von hochwärmedämmenden Mehrscheiben-Isoliergläsern und hochwärmedämmenden Rahmen in Zukunft ein höherer Stellenwert zu.

Die wärmetechnische Kenngröße zur Beurteilung des Glasrandverbundes ist der sog. längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient PSI. Die Ermittlung des PSI-Wertes erfolgt durch Berechnung nach EN ISO 10077-2. Hier für ist neben dem exakten geometrischen Querschnitt des Abstandhalters auch die Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit der eingesetzten Materialien notwendig.

Zum Teil können Wärmeleitfähigkeiten einschlägigen Normen entnommen werden. Die Wärmeleitfähigkeiten neuer Materialien müssen jedoch ermittelt werden. Hierzu werden von akkreditierten Stellen verschiedenste Messverfahren verwendet und teilweise stark abweichende Ergebnisse angegeben. Es wäre daher grundsätzlich notwendig, für die unterschiedlichen Materialien und Bearbeitungszustände geeignete Messverfahren festzulegen. Erste Arbeiten und Untersuchungen an verschiedenen kompetenten Stellen zeigen jedoch eine Reihe ernster Probleme.

Eine andere Lösungsmöglichkeit besteht darin, nicht die Wärmeleitfähigkeit aller eingesetzter Materialien zu ermitteln, sondern eine „äquivalente Wärmeleitfähigkeit“ des kompletten Abstandhaltersystems. Diese Vorgehensweise vermeidet die oben angesprochenen Probleme, vereinfacht das Verfahren und verspricht weitere Vorteile.

Das Vorhaben sollte daher dazu dienen, ein eindeutiges Prüfverfahren zur Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern zu definieren.





## 2 Vorgehensweise

Zur Erreichung des Forschungszieles war entsprechend des eingereichten Forschungsantrages der in Tabelle 1 dargestellte Arbeitsplan vorgesehen.

**Tabelle 1** Arbeitsplan des Forschungsvorhabens

| Forschungsabschnitt | Leistungsbeschreibung  |
|---------------------|--|
| 1                   | <b>Festlegung der zu untersuchenden Systeme</b><br>Zusammen mit allen Projektpartnern werden die zu vermessenden Systeme festgelegt. Hierbei sind zu berücksichtigen: <ul style="list-style-type: none"><li>- Verwendete Materialien (Edelstahlsystem, Kunststoffsysteme)</li><li>- Abmessung der Probekörper (Messapparaturen der beteiligten Messstellen)</li><li>- Anzahl der Probekörper (Statistik)</li></ul>                                     |
| 2                   | <b>Herstellung der Probekörper</b><br>Die in AP1 festgelegten Varianten von Probekörpern werden durch einen Industriepartner hergestellt.  |
| 3                   | <b>Messung / Berechnung</b><br>Messung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit nach EN 12664. Die Messungen werden an mehreren Prüfstellen (ift Rosenheim, FIW München, Hochschule Rosenheim) durchgeführt. Die vermessenen Systeme werden parallel durch eine 2D-Simulation berechnet, um einen Vergleich zur bisherigen Vorgehensweise der detaillierten Berechnung zu erhalten. Es wird von ca. 14 unterschiedlichen Abstandhaltersystemen ausgegangen. |
| 4                   | <b>Auswertung der Untersuchungen</b><br>Die ermittelten Resultate werden detailliert ausgewertet: <ul style="list-style-type: none"><li>- Vergleich der Ergebnisse zwischen den Messstellen</li><li>- Statistische Auswertung nach EN ISO 10456</li></ul>  |
| 5                   | <b>Bericht/Dokumentation</b><br>Über das durchgeführte Vorhaben wird eine ausführliche Dokumentation erstellt. Aus den Ergebnissen wird ein Vorschlag für die Beschreibung einer eindeutigen Prüfmethode erarbeitet.   |



Detaillierte Überlegungen zum Beginn des Projektes führten zu der Entscheidung, das Projekt in zwei Stufen durchzuführen:

### **Stufe 1**

Durchführung von Untersuchungen/Messungen an ausgewählten Abstandhaltern mit dem Ziel

- einen Ringversuch zwischen unterschiedlichen Messstellen durchzuführen,
- Aussagen über den Einfluss des Feuchtgehaltes des Trocknungsmittel auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln,
- den Einfluss der Probekörperherstellung zu analysieren,
- einen Vorschlag für das eindeutige Messverfahren zu erarbeiten.

### **Stufe 2**

Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit aller im AK Warme Kante vertretenen Systeme und Vergleich dieser mit den durch Berechnung ermittelten Wärmeleitfähigkeiten

### 3 Durchgeführte Untersuchungen

#### 3.1 Untersuchungen Stufe 1

Durchführung von Untersuchungen/Messungen an ausgewählten Abstandhaltern mit dem Ziel

- Aussagen über den Einfluss der Orientierung von Abstandhaltern auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln,
- Aussagen über den Einfluss des Feuchtegehaltes des Trocknungsmittel auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln,
- Aussagen über den Einfluss von gefülltem und nicht gefülltem Hohlprofil auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln,
- die Reproduzierbarkeit der Messung zu analysieren,
- einen Ringversuch zwischen unterschiedlichen Messstellen durchzuführen,
- Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Techniken zur Klebung der Abstandhalter auf die Glasplatten durchzuführen sowie
- einen Vorschlag für das eindeutige Messverfahren zu erarbeiten.

An den hergestellten Probekörpern wurde der Wärmedurchlasswiderstand  $R_{ges}$  nach bzw. in Anlehnung an EN 12664 ermittelt. Die Messungen wurden bei einer mittleren Temperatur der Probe von  $(10 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  durchgeführt. Der Wärmedurchlasswiderstand der gesamten Probe  $R_{ges}$  ergibt sich bei Verwendung einer Plattenapparatur wie folgt:

$$R_{ges} = \frac{A \cdot (T_1 - T_2)}{\Phi}$$

Mit

- $\Phi$  Mittlere Leistung in W, die der Heizplatte zugeführt wird.  
 $A$  Messfläche in  $\text{m}^2$  (bei einer Zweiplattenapparatur 2 x die Fläche der Heizplatte)  
 $T_1$  mittlere Temperatur der Warmseite der Probe in K  
 $T_2$  mittlere Temperatur der Kaltseite der Probe in K

Aus dem gemessenen Wärmedurchlasswiderstand  $R_{ges}$  wurde der äquivalente Wärmedurchlasswiderstand der Abstandhalter  $R_{eq}$  wie folgt berechnet.

$$R_{eq} = R_{ges} - R_g$$

## Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnis



Der zur Berechnung benötigte Wärmedurchlasswiderstand der beiden Glasscheiben  $R_g$  wurde entsprechend Tabelle 2 verwendet. Hierbei wurde für Floatglas eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 1 \text{ W/(m K)}$  angenommen. Die reale Dicke von Floatglas  $d_g$  bei einer nominellen Dicke von 4 mm beträgt 3,8 mm.

**Tabelle 2** Wärmedurchlasswiderstand beider Glasscheiben  $R_g$

| Verwendetes Glas im Probekörper | Wärmedurchlasswiderstand beider Glasscheiben $R_g$ in ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ) |
|---------------------------------|--|
| 2 x 4 mm                        | 0,0076   |

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Abstandhaltes ergibt sich zu:

$$\lambda_{eq} = \frac{d_{SZR}}{R_{eq}}$$

Die Dicke des Scheibenzwischenraums  $d_{SZR}$  ergibt sich hierbei aus der ermittelten Gesamtdicke des Probekörper  $d_{ges}$  minus der Dicke der Glasplatten  $d_g$ .

$$d_{SZR} = d_{ges} - 2 \cdot d_g$$

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Stufe 1 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Orientierung von Abstandhaltern aus Hohlprofilen hat keinen signifikanten Einfluss auf wärmetechnischen Kenndaten.
2. Der Feuchtegehalt des Trocknungsmittels hat keinen signifikanten Einfluss auf wärmetechnischen Kenndaten des AH-Systems.
3. Die äq. Wärmeleitfähigkeiten für AH-Systeme (Hohlprofile), gefüllt mit Trocknungsmittel, sind höher als für AH-Systeme (Hohlprofile), die nicht gefüllt sind.
4. Im Rahmen der Ringmessung wurde eine Genauigkeit bei der Ermittlung der äq. Wärmeleitfähigkeit von  $\Delta\lambda/\lambda \approx \pm 10\%$  ermittelt.
5. Eine Ungenauigkeit der äq. Wärmeleitfähigkeit von  $\Delta\lambda/\lambda \approx \pm 10\%$  wirkt sich auf die Ungenauigkeit des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$  mit  $\Delta\Psi \approx \pm 0,001 \text{ W/(m K)}$  aus.
6. Die ursprünglich geplante Vereinfachung, bei der Herstellung der Probekörper Klebebänder einzusetzen, musste aufgrund möglicher zusätzlicher thermischer Kontaktwiderstände verworfen werden.

Mit den entsprechenden Erkenntnissen konnte die detaillierte Vorgehensweise zur Ermittlung der äq. Wärmeleitfähigkeit verabschiedet werden.

### 3.2 Untersuchungen Stufe 2

Ziel der Untersuchungen Stufe 2 war die Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten aller im AK Warme Kante vertretenen Systeme und Vergleich dieser mit denen durch Berechnung ermittelten äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten.

Die Ermittlung der äq. Wärmeleitfähigkeit erfolgte für je drei Probekörperpaare entsprechend dem in der Stufe 1 festgelegten Verfahrens.

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit für das wärmetechnisch verbesserte Abstandhaltersystem  $\lambda_{eq,2B}$  wurde aus den ermittelten Einzelwerten von  $\lambda_{eq}$  auf Grundlage einer statistischen Berechnung entsprechend ISO 10456 Anhang C für eine 90% Fraktile berechnet und entsprechend den Rundungsregeln nach EN ISO 10456 angegeben.

Mit der entsprechend ermittelten äquivalenten Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq,2B}$  wurden die repräsentativen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$  jedes untersuchten Abstandhaltersystems berechnet. Die Berechnung wurde hierbei nach **ift**-Richtlinie WA-08/1 „*Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter Teil 1: Ermittlung des repräsentativen  $\Psi$ -Wertes für Fensterrahmenprofile*“ durchgeführt.

Abweichend zur Richtlinie wurden für die Berechnungen der repräsentativen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$  für 2-fach und 3-fach-Isolierglasaufbauten dieselben Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda_{eq,2B}$  zugrunde gelegt.

Die im Rahmen der Stufe 2 ermittelten äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten stimmen für die meisten untersuchten Systeme gut mit den in den Datenblättern des Bundesverbandes Flachglas publizierten Werten überein. Bei einem System ist eine hohe Abweichung des messtechnisch ermittelten Wertes von dem entsprechend bislang verwendeten Wert festzustellen. Die Ursachen hierfür konnten im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht mehr festgestellt werden, bedürfen jedoch einer Analyse im Nachgang.

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante  
Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnis



Die mit den messtechnisch ermittelten äq. Wärmeleitfähigkeiten berechneten  $\Psi$ -Werte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den in den Datenblättern des Bundesverbandes Flachglas publizierten Werten. Vergleicht man die in den Datenblättern veröffentlichten  $\Psi$ -Werte mit den  $\Psi$ -Werten, die im Rahmen des Forschungsvorhabens ermittelt wurden, so kann festgestellt werden, dass die Abweichungen für alle Systeme, mit Ausnahme des o.g. einen Systems, geringer als  $0,005 \text{ W}/(\text{m K})$  sind. Unterschiede von weniger als  $0,005 \text{ W}/(\text{m K})$  sind im Rahmen der Ermittlung des U-Wertes von Fenstern nicht signifikant. Für eine Vielzahl der Systeme liegt die Abweichung der  $\Psi$ -Werte auf Grundlage der unterschiedlich ermittelten Wärmeleitfähigkeiten in der Größenordnung von  $0,002 \text{ W}/(\text{m K})$ .

Die im Rahmen des Vorhabens entwickelte Vorgehensweise zur experimentellen Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern führt somit zu äq. Wärmeleitfähigkeiten der wärmetechnisch verbesserten Abstandhalter, die mit der bislang angewandten Methode der numerischen Berechnung vergleichbar sind. Die im Rahmen des Vorhabens entwickelte Vorgehensweise kann somit zukünftig zur wärmetechnischen Charakterisierung von Abstandhaltersystemen herangezogen werden.

## 4 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Besonderer Dank gebührt auch den Mitgliedern des Arbeitskreises Warme Kante des Bundesverbandes Flachglas, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützen und somit zum Gelingen beitragen:



Bundesverband Flachglas e.V., Troisdorf



Allmetal GmbH, Wiedemar



Edgetech Europe GmbH, Heinsberg



Ensinger GmbH, Nufringen



Glas Trösch GmbH Sanco Beratung, Nördlingen



Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG, Merkendorf



Helmut Lingemann GmbH & Co. KG, Wuppertal



Kömmerring Chemische Fabrik GmbH, Pirmasens



NEDEX Chemie Deutschland GmbH, Moers



Rolltech A/S, Hjørring, Dänemark



Saint-Gobain Glass Solutions Suisse, Swisspacer, Kreuzlingen, Schweiz



Technoform Glass Insulation GmbH, Lohfelden



**ift** Rosenheim  
Theodor-Gietl-Str. 7-9  
83026 Rosenheim  
Telefon +49 (0) 8031 261-0  
Telefax +49 (0) 8031 261-290  
E-Mail: [info@ift-rosenheim.de](mailto:info@ift-rosenheim.de)  
<http://www.ift-rosenheim.de>