

Prof. Dr. Franz Feldmeier
Bauphysik - Glas und Fassaden

Blumenstr 38
D 83109 Großkarolinenfeld
Telefon +49-8031-50844
Telefax +49-8031-50846
feldmeier@fh-rosenheim.de

Dr.F.Feldmeier Blumenstraße 38 83109 Großkarolinenfeld

Fa. Eckelt Glastechnik GmbH
Resthofstr.18
A-4400 Steyr

Versand per email

02.05.2005

**Gutachterliche Stellungnahme
W0505-1
(Ergänzung zu W9912-2)**

1 Grundlage

Ihr email vom 04.04.2005 mit den Anlagen VAR300 und VAR 572

2 Gegenstand

Thermische Berechnung von längenbezogenen Wärmebrücken (Psi-Wert) und punktbezogenen Wärmebrücken (Chi-Wert) des Systems Vario.
Berechnung auf Grundlage der Norm DIN EN ISO 10211-1:1995-11 und DIN EN ISO 10077-2:2003-12.

3 Durchführung

3.1 Vorbemerkung

Nach der grundlegenden DIN EN ISO 13789:1999-10, Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren, gilt:

$$H_T = \sum AU + \sum l \Psi + \sum \chi$$

Der Transmissionswärmeverlustkoeffizient H_T setzt sich aus der Fläche A mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten U und längenbezogenen (Länge l , Kennwert Ψ) und punktbezogenen (Kennwert χ) Wärmebrücken zusammen. Dabei spielt die Wahl des Maßsystems eine wichtige Rolle. Wählt man die Fläche groß, z. B. Außenmaße eines Gebäudes, so bleiben die Wärmebrückenkennwerte klein, und umgekehrt. Bei den vorliegenden Systemen kommen grundsätzlich zwei Möglichkeiten in Betracht.

- das Glasmaß: $H_T = A_g U_g + l_g \Psi_g$
dabei ist A_g die Glasfläche und l_g der Glasumfang
- das Achsmaß $H_T = A_A U_g + l_A \Psi_A$
dabei ist A_A die Fläche bzgl. der Achsen (Fugenmitte) und l_A der entsprechende Umfang.

Anmerkung:

Der Unterschied der Längen entspricht der Fugenbreite, also 20 mm

Der Transmissionswärmeverlustkoeffizient H_T kann durch Bezug auf die Fläche auch in einen (mittleren) U-Wert umgerechnet werden. Entwurf DIN EN 13947, Ausgabe: 2001-01 „Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangsfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Vereinfachtes Verfahren“ folgt diesem Verfahren.

Für das vorliegende Structural-Glazing-System ist eine Berechnung entsprechend dem alternativen Verfahren nach EN 13947 Anhang B zu empfehlen. Dieses Verfahren führt mit geringem Aufwand zu genauen Ergebnissen. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade ist dann wie folgt zu ermitteln:

$$U = \frac{\sum A_g U_g + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g}$$

dabei ist

A_g die Glasfläche in m^2

l_g der Glasumfang in m

U_g der Wärmedurchgangskoeffizient des Glases in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

Ψ_g längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizienten in W/mK

Anmerkung:

In dieser Formulierung ist der Einfluss der Fassadenprofile im längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten enthalten. Hierdurch werden unnötige Definitionen (z.B. Ansichtsbreite der Rahmenprofile bei SSG) und Kennwerte (z.B. U_f -Werte) und komplizierte Rechnungen vermieden.

3.2 Genauigkeit des Verfahrens:

Der Fehler in der Berechnung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten wird i.a. mit $\pm 0,005 \text{ W/mK}$ angenommen. Dieser Anhaltswert gilt auch für punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten. In der vorliegenden Berechnung konnte durch sorgfältige Fehlerreduktion die Genauigkeit der Chi-Werte auf ca. $0,001 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert werden.

Die im Ergebnis auf $0,001 \text{ W/mK}$ angegebenen Werte dienen zum Vergleich verschiedener Systeme und müssen im U-Wert auf **$0,01 \text{ W/mK}$** gerundet angegeben werden.

3.3 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Psi-Werte)

Die zweidimensionale Wärmestromberechnung und die Ermittlung von U-Werten und Psi-Werten erfolgte mit dem Programm WINISO V3.18. Hierzu wurden die Querschnitte auf Grundlage der Zeichnungen nach Anhang A erfasst und Materialkennwerte nach EN 10077-2 zugeordnet. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung wurde entsprechend den Vorgaben mit $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.

3.4 Punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Chi-Werte)

Punktbezogene Wärmebrücken treten in den vorliegenden Systemen durch kurze Klammern aus Edelstahl auf. Diese Klammern bilden eine mechanische Sicherung und verbinden Innen- und Außenscheibe. Die dreidimensionale Berechnung der Wärmeströme wurde mit WINISO3D V1.01 durchgeführt. Hierzu wurden die Detailstrukturen der Abstandhalter teilweise durch ein homogenes Material ersetzt, welches in der zweidimensionalen Berechnung identische Werte ergibt.

Zu Berechnung der Chi-Werte wurde der dreidimensionale Ausschnitt zuerst mit Klammer berechnet und der Gesamtwärmestrom festgestellt. Anschließend wurde das Bauteil entfernt und der Ausschnitt erneut berechnet. Die Differenz der Wärmeströme bezogen auf die Temperaturdifferenz ergibt direkt den Chi-Wert.

4 Ergebnis

Die Verglasung wurde als Wärmeschutzverglasung mit $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt. Bei der Bestimmung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten wurde als Bezugsmaß das Glasmaß verwendet. Der angegebene Psi-Wert enthält alle Einflüsse durch Glasrand, Abstandhalter und Pfosten/Riegelprofil. Die Umrechnung auf das Achsmaß erfolgt bei einem Glas mit $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einer Fugenbreite von ca. 20 mm nach:

$$\Psi_A = \Psi_g - 0,020m/2 \cdot 1,2 \text{ W/m}^2\text{K} = \Psi_g - 0,012 \text{ W/mK}$$

Beim vorliegenden System treten durch Eindrehanker in Edelstahlklammern punktbezogene Wärmebrücken auf, siehe Anlage A. Es werden folgende Bereiche unterschieden

- a) normale Kante
Kennwert für Kante inklusive Rahmen bezogen auf Glasmaß: Psi
- b) Kante mit Halteteil
Kennwert für Halteteil: Chi

Es wurden für die untersuchten Abstandhalter folgende längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Psi-Werte) siehe Anlage B1, und punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Chi-Werte) für die Halteteile ermittelt

	Psi in W/mK	Chi in W/K
Abstandhalter	Rand	Anker
Aluminium	0,207	0,002
Edelstahl	0,170	0,002

Die linienförmige Wärmebrücke und die punktbezogene Wärmebrücke beeinflussen sich gegenseitig nicht, so daß getrennte Werte angegeben werden können. Die Auswirkungen der Halter auf den Gesamt-U-Wert sind vernachlässigbar.

Anwendung auf die Standard-Elementgröße von $1,23 \times 1,48 \text{ m}^2$

	Edelstahl	W/K	Al-Standard	W/K
Breite	1.23 m	0.17 W/mK	0,418	0.21 W/mK
Höhe	1.48 m	0.17 W/mK	0,503	0.21 W/mK
Fläche	1.82 m ²	1.2 W/m ² K	2,184	1.2 W/m ² K
Variohalter	10 Stck	0.002 W/K	0,020	0.002 W/K
			3,126	3,343
k-mittel	1.72 W/m²K	1,72	1,84 W/m²K	1,84
Delta k	0.12 W/m²K			

5 Zusammenfassung

Der Glasrandbereich inklusive der Pfosten/Riegelprofile trägt erheblich zum Wärmeverlust bei und muß berücksichtigt werden. Die Kenngröße hierfür ist der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient (Psi-Wert). Dieser Wert liegt bezogen auf das Glasmaß für Abstandhalter aus Edelstahl (Wandstärke 0,15 mm) bei **0,17 W/mK**, aus Aluminium bei **0,21 W/mK**.

Die Werte gelten für Glas mit einem Wärmedurchgangskoeffizient U_g von 1,1 W/m²K bis 1,6 W/m²K.

Anmerkung:

Bezogen auf Achsmaße sind die Werte um 0,01 W/mK kleiner.

Der mittlere U-Wert wird durch den Einsatz eines Edelstahl-Abstandhalters relativ zu einem Al-Standard-Abstandhalter um ca. **0,12 W/m²K** reduziert (Elementgröße 1230 mm x 1480 mm). Bei kleineren Elementabmessungen ist die Verbesserung noch deutlicher.

Die Wärmebrücken durch das Halteteil können durch punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Chi-Wert) beschrieben werden. Die Chi-Werte liegen im Bereich von 0,001 W/K bis 0,002 W/K. Die Auswirkung der mechanischen Halterungen auf den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten des Systems können vernachlässigt werden.

Die Ermittlung des Bemessungswertes U_{CW} der Fassade sollte nach dem alternativen Verfahren nach EN 13947 Anhang B erfolgen. Ein Formulierungsvorschlag findet sich in Anlage D.

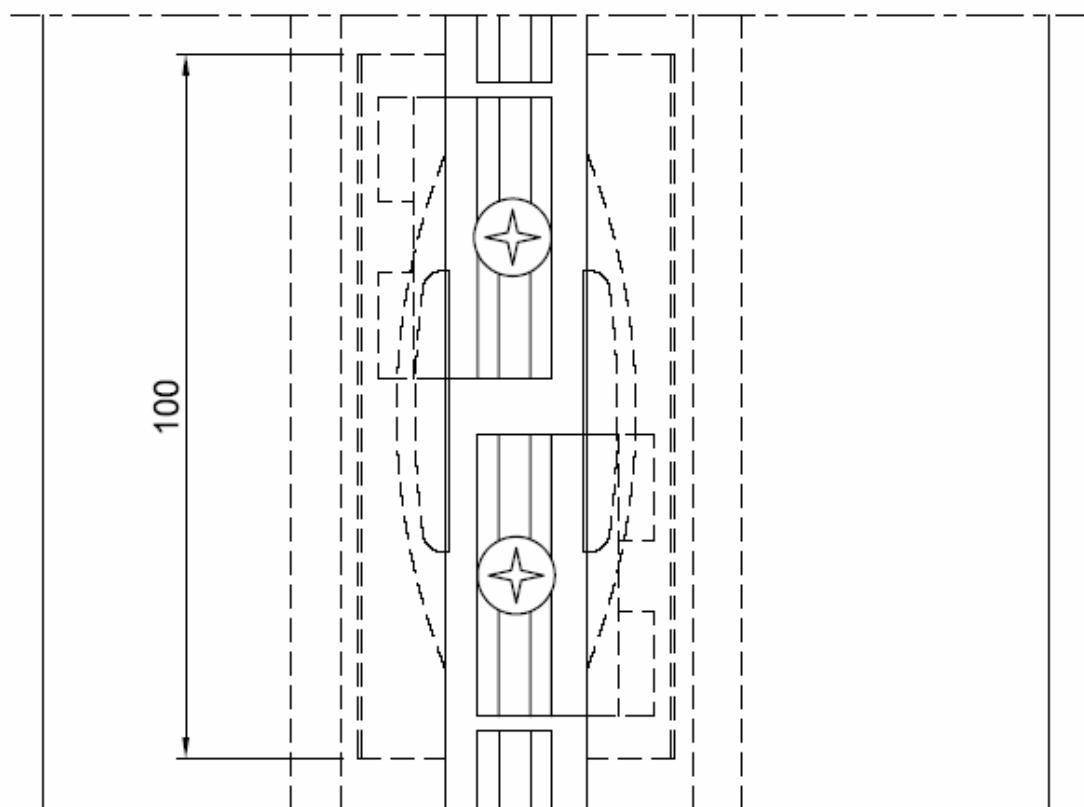
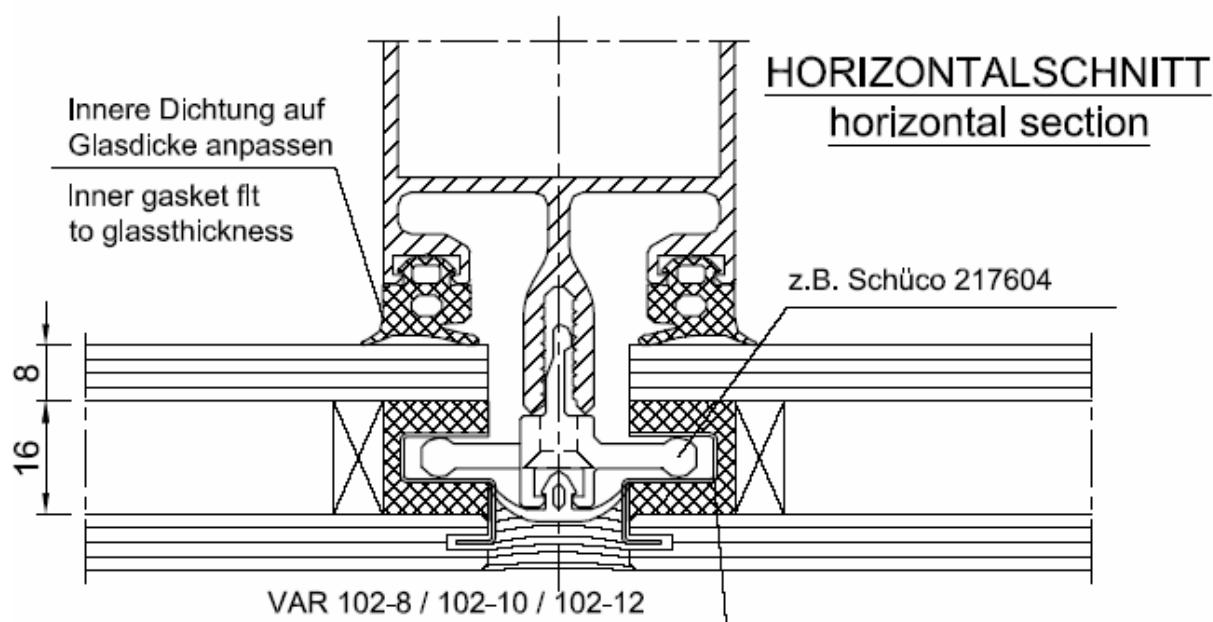
02.05.2005



Prof. Dr. rer. nat. F. Feldmeier

Anlage A

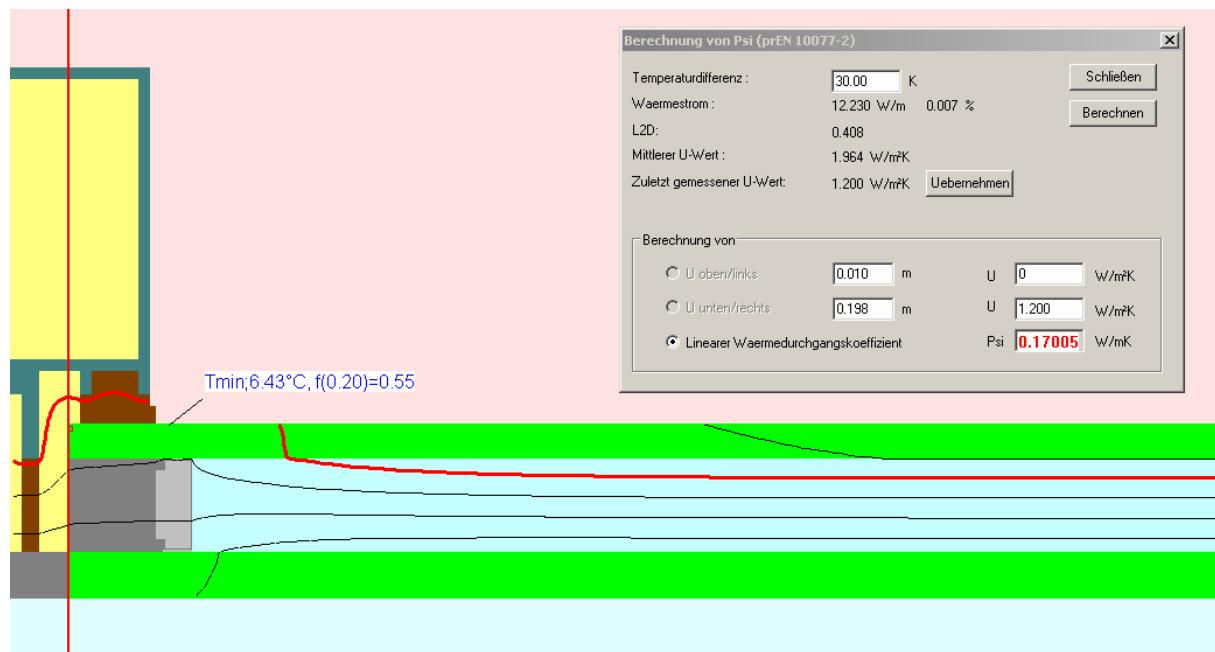
System Vario Halteteil

ANSICHT viewHORIZONTALSCHNITT
horizontal section

Anlage B

Vario mit AH Edelstahl

Auswertung:

 Ψ (Glasmaß) = **0,17 W/mK**Glasrandtemperatur bei Außen -10°C: **6,4°C**

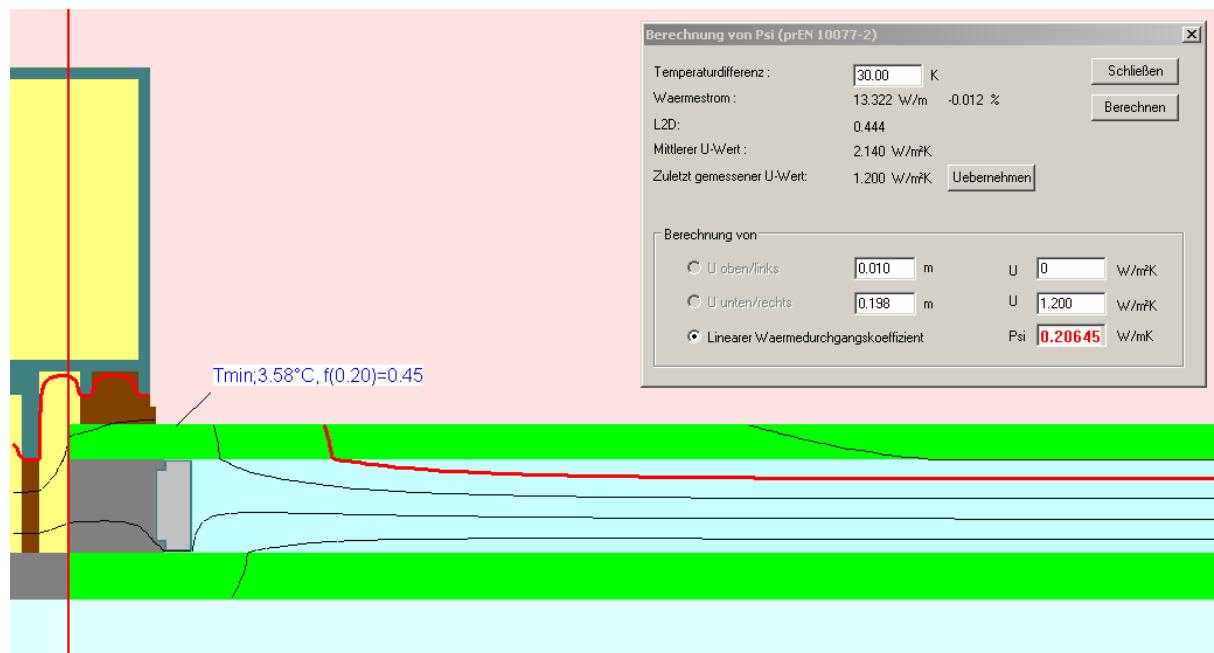
Material	L(W/mK), R(m²K/W)	T (°C)	Q(gesamt) (W/m)
Float	1.000		
****ADIABAT****			
Luft 10077-2			
Aluminium	200.000		
EPDM	0.250		
Butyl	0.240		
90%Argon 10%Luft 673			
Float e=0.06	1.000		
Luft innen 0,20	0.200	20.000	4.375
Luft innen 0,13	0.130	20.000	7.855
Luft außen 0,04	0.040	-10.000	-12.229
Zeolith	0.130		
Silikon	0.350		
Edelstahl	15.000		
	0,025		

Vario mit AH Aluminium

Auswertung:

$$\Psi \text{ (Glasmäß)} = 0,21 \text{ W/mK}$$

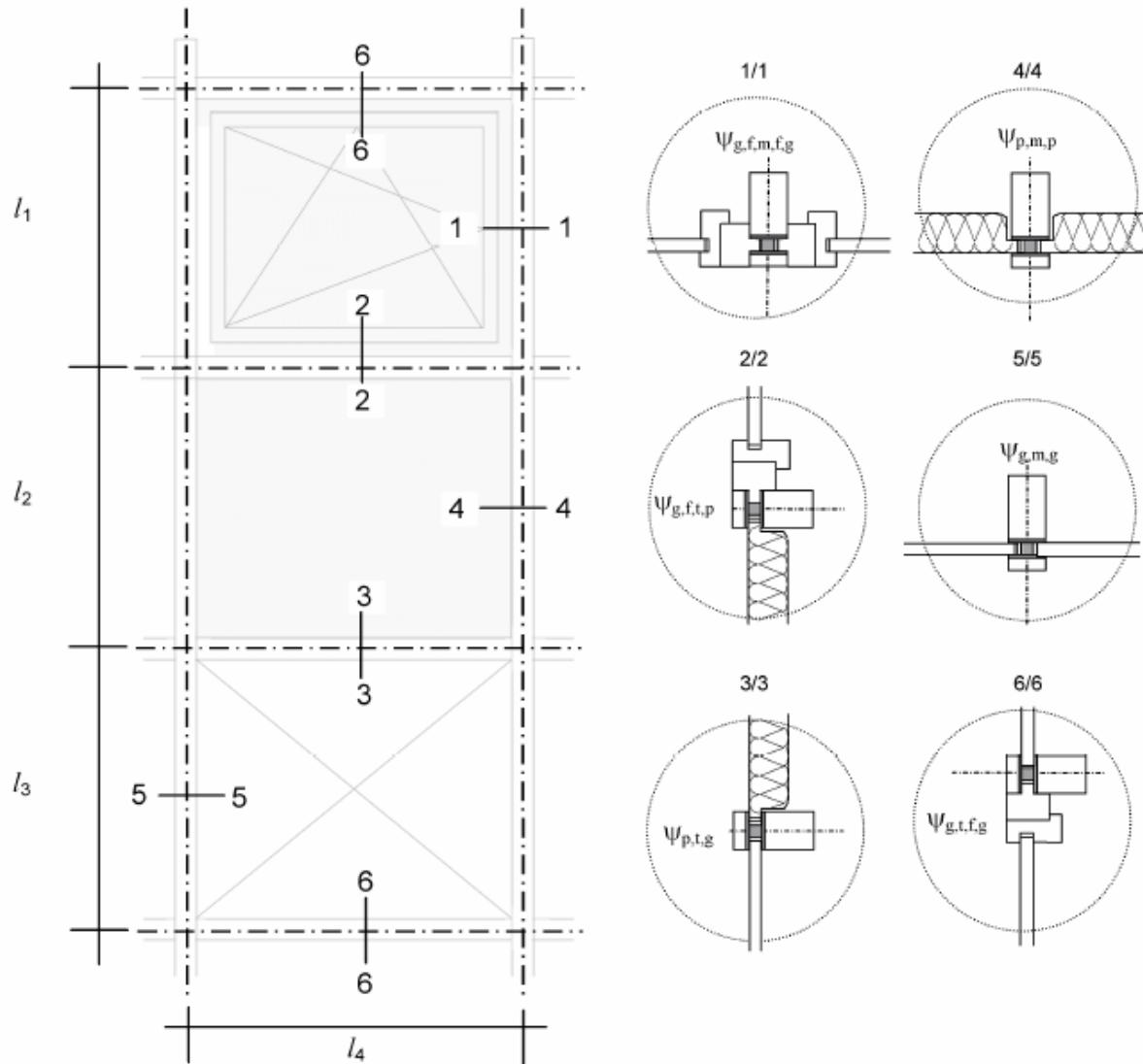
Glasrandtemperatur bei Außen -10°C: 3,6°C



Material	$L(\text{W/mK}), R(\text{m}^2\text{K/W})$	T (°C)	$Q(\text{gesamt})$ (W/m)
Float	1.000		
****ADIABAT****			
Luft 10077-2			
Aluminium	200.000		
EPDM	0.250		
Butyl	0.240		
90%Argon 10%Luft 673			
Float $e=0.06$	1.000		
Luft innen 0,20	0.200	20.000	5.028
Luft innen 0,13	0.130	20.000	8.292
Luft außen 0,04	0.040	-10.000	-13.323
Zeolith	0.130		
Silikon	0.350		
Edelstahl	15.000		
0,025	0.025		

Anlage C

prEN 13947:2002 (E)



$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum l \Psi}{\sum (A_g + A_p)}$$

$\sum l \Psi$ represents the summation over all required Ψ -values with corresponding lengths l

A_g, A_p are the areas of transparent and opaque filling elements determined as the product of the individual lengths l

The treatment of U -, Ψ -values and of the dimensions has to be in accordance with EN ISO 10211-1:1995-8, Annex C.

Anlage D

Formulierungsvorschlag ER 6

2.2.5 Energieeinsparung und Wärmedämmung (ER 6)

Für die jeweiligen Verglasungen sind U_g -Werte der folgenden Tabelle zu entnehmen oder nach EN 673:2003-06 zu ermitteln.

Tabelle: U_g -Werte in $W/(m^2 K)$

Glasaufbau	Beschichtung	Emissivität	SZR mit Luft	SZR mit Argon
8 - 16 - 6	Ebene 3	0,05	1,4	1,2
8 - 16 - 6	Ebene 2	0,03	1,4	1,1
8 - 20 - 6	Ebene 3	0,05	1,5	1,2
8 - 20 - 6	Ebene 2	0,03	1,4	1,2
8 - 24 - 6	Ebene 3	0,05	1,5	1,2
8 - 24 - 6	Ebene 2	0,03	1,4	1,2

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ_g ist der folgenden Tabelle zu entnehmen oder nach EN 10077-2:2003-12 zu ermitteln.

Tabelle: Ψ_g in W/mK^*

Abstandhalter des Isolierglases	
Edelstahl (Wandstärke 0,15 mm)	0,17
Aluminium	0,21

*) Die Werte gelten für Glas mit $1,1 W/m^2K \leq U_g \leq 1,6 W/m^2K$. Die Werte berücksichtigen die Wärmebrückenwirkung von Glasrand und Fassadenprofil.

Der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Fassade ist wie folgt zu ermitteln:

$$U_{CW} = \frac{\sum A_g U_g + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g}$$

dabei ist

A_g Glasfläche in m^2

l_g Glasumfang in m

U_g Wärmedurchgangskoeffizient des Glases in W/m^2K

Ψ_g längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient in W/mK