

BERECHNUNG - NR. B21.203.020.480

Labor für Bauphysik

Inffeldgasse 24
8010 Graz - Austria

Tel.: +43 316 873 1301
Fax: +43 316 873 1320

UID: ATU 574 77 929

bauphysik@tugraz.at
www.bauphysik.tugraz.at

ANTRAGSTELLER: Internorm International GmbH
Ganglgutstraße 131
4050 Traun
Austria

SPEZIFIKATION / NORM:

EN ISO 10077-1:2006-09
EN ISO 10077-1:2017-07
EN 673:2011-02

ANTRAG: Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten U_w gemäß EN ISO 10077-1.

MITGELTENDE DOKUMENTE:

EN ISO 6946:2017-07
EN 14351 1:2006+A2:2016-09

GEGENSTAND: **FENSTER**
Systembezeichnung: **HF510, Designstil home pure**

DARSTELLUNG:

Beschreibung: einflügeliges Einfachfenster

Größe: 1230 mm / 1480 mm

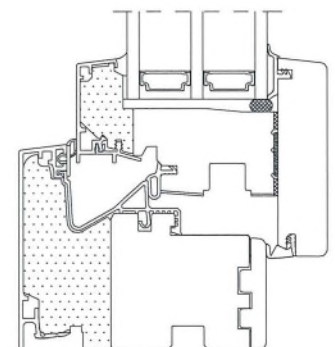
Füllungsdicke: 48 mm (verschiedene Füllungsvarianten)

Dichtungsebenen: - (keine beweglichen Elemente)

Abstandhalter: „Aluminium“

Rahmenmaterial: Aluminium, Fichtenholz und Funierschichtholz

Bemerkungen: -



Die vollständige Beschreibung aller leistungsrelevanten Produktdetails sind dem Punkt 3 „Gegenstand“ sowie den Beilagen zu entnehmen.

ERGEBNIS:

$$U_w = 0,78 \text{ W/(m}^2\text{K)} \text{ bis } 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die einzelnen berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten sowie deren Messunsicherheit sind dem Punkt 5 „Ergebnis“ zu entnehmen.

GELTUNG:

Die Gültigkeit des Berichts erstreckt sich auf den Gegenstand gemäß Punkt „Gegenstand“ und die angeführten Randbedingungen. Die Ermittlung einer/von Leistungseigenschaften gemäß Punkt „Antrag“ ermöglicht keine Aussage über weitere leistungs- und qualitätsbestimmende Eigenschaften der gegenständlichen Konstruktion. Eine Vervielfältigung darf nur in vollem Umfang erfolgen. Ergänzende Punkte der Geltung sowie Informationen zur Akkreditierung sind unter www.bauphysik.tugraz.at einzusehen. Für alle durchgeführten Arbeiten gelten ausschließlich allgemein die Geschäftsbedingungen der Technischen Universität Graz (www.tugraz.at) und im Speziellen die Geschäftsbedingungen des Labors für Bauphysik (www.bauphysik.tugraz.at) unter der Anwendung der salvatorischen Klausel.

INHALT:

- 1 Antrag
- 2 Geltende Dokumente
- 3 Gegenstand
- 4 Berechnung
- 5 Ergebnis
Beilagen

Graz, 06.08.2021

Dipl.-Ing. Christopher Leh
Zeichnungsberechtigter



Dipl.-Ing. Heinz Ferk
Laborleiter

1 ANTRAG

Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten U_w gemäß EN ISO 10077-1.

2 DOKUMENTE

2.1 SPEZIFIKATION / NORM

EN ISO 10077-1:2006-09	„Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Allgemeines“
EN ISO 10077-1:2017-07	„Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Allgemeines“
EN 673:2011-02	„Glas im Bauwesen – Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) – Berechnungsverfahren“

2.2 MITGELTENDE DOKUMENTE

EN ISO 6946:2017-07	„Bauteile und Bauelemente — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren“
EN 14351-1:2006+ A2:2016-09	„Fenster und Türen — Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil 1: Fenster und Außentüren“

3 GEGENSTAND

Als Grundlage für die Berechnung diente die vom Auftraggeber übergebene CAD-Zeichnung des Fensterprofils (siehe Beilage 1.1).

Systembezeichnung: *	HF510, Designstil home pure
Beschreibung:	einflügeliges Einfachfenster
Größe:	1230 mm / 1480 mm
Fensterfläche A_w :	1,8204 m ²
Glaspaketdicke:	48 mm (verschiedene Füllungsvarianten)
Dichtungsebenen:	- (keine beweglichen Elemente)
Abstandhalter:	„Aluminium“
Rahmenmaterial:	Aluminium, Fichtenholz und Funierschichtholz
Bemerkungen:	-

* Angaben laut Antragsteller

3.1 GEOMETRISCHE DATEN (UMLAUFEND)

raumseitige projizierte Breite des umlaufenden Rahmens	$b_{f,i} =$	99	mm
raumseitige Projektion des Flächenanteils	$A_{f,i} =$	0,4974	m ²
außenseitige projizierte Breite des umlaufenden Rahmens	$b_{f,e} =$	99	mm
außenseitige Projektion des Flächenanteils	$A_{f,e} =$	0,4974	m ²
größte projizierte Breite des umlaufenden Rahmens	$b_f =$	99	mm
größte projizierte Fläche des umlaufenden Rahmens	$A_f =$	0,4974	m ²
Länge des Randverbundes	$l_g =$	4,628	m
Verglasungsfläche	$A_g =$	1,3230	m ²

3.2 VERGLASUNGSVARIANTE 1

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	8 mm	VSG
	12 mm	Luft
	8 mm	Floatglas
	10 mm	Luft
	8 mm	VSG
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	3 %	

3.3 VERGLASUNGSVARIANTE 2

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	8 mm	Floatglas
	12 mm	Luft
	6 mm	Floatglas
	14 mm	Luft
	8 mm	Floatglas
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	3 %	

3.4 VERGLASUNGSVARIANTE 3

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	8 mm	VSG
	12 mm	90 % Argon
	8 mm	Floatglas
	10 mm	90 % Argon
	8 mm	VSG
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	3 %	

3.5 VERGLASUNGSVARIANTE 4

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	8 mm	VSG
	15 mm	90 % Argon
	4 mm	Floatglas
	12 mm	90 % Argon
	8 mm	VSG
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	3 %	

3.6 VERGLASUNGSVARIANTE 5

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	6 mm	Floatglas
	18 mm	90 % Argon
	4 mm	Floatglas
	16 mm	90 % Argon
	4 mm	Floatglas
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	3 %	

3.7 VERGLASUNGSVARIANTE 6

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	4 mm	Floatglas
	18 mm	90 % Argon
	4 mm	Floatglas
	18 mm	90 % Argon
	4 mm	Floatglas
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	3 %	

3.8 VERGLASUNGSVARIANTE 7

Verglasungsaufbau: (von außen nach innen)	4 mm	Floatglas
	18 mm	90 % Krypton
	4 mm	Floatglas
	18 mm	90 % Krypton
	4 mm	Floatglas
Beschichtung:	auf Ebene 2 und 5	
Emissionsgrad:	1 %	

3.9 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN

Rahmen umlaufend	$U_f =$	0,940	W/(m ² K)	$\pm 0,036$	W/(m ² K)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 1	$U_g =$	1,0	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 3
Verglasungsvariante 2	$U_g =$	0,9	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 4
Verglasungsvariante 3	$U_g =$	0,8	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 5
Verglasungsvariante 4	$U_g =$	0,7	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 6
Verglasungsvariante 5	$U_g =$	0,6	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 7
Verglasungsvariante 6	$U_g =$	0,5	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 8
Verglasungsvariante 7	$U_g =$	0,4	W/(m ² K)	$\pm 0,00$	W/(m ² K)	siehe Beilage 9

***Anmerkung:** Auf Wunsch des Antragstellers wird die Angabe des U_g -Wertes auf eine Dezimalstelle gerundet und ohne Messunsicherheit für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_w eingesetzt und ausgewiesen.

3.10 LÄNGENBEZOGENE WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN

Füllung:						
Verglasungsvariante 1	$\Psi =$	0,091	W/(mK)	$\pm 0,003$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 2	$\Psi =$	0,093	W/(mK)	$\pm 0,004$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 3	$\Psi =$	0,097	W/(mK)	$\pm 0,004$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 4	$\Psi =$	0,104	W/(mK)	$\pm 0,004$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 5	$\Psi =$	0,092	W/(mK)	$\pm 0,003$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 6	$\Psi =$	0,089	W/(mK)	$\pm 0,003$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482
Verglasungsvariante 7	$\Psi =$	0,090	W/(mK)	$\pm 0,003$	W/(mK)	lt. B21.203.007.482

Anmerkung: Die unter Punkt 3 angeführten Messunsicherheiten wurden mit einem Vertrauensintervall von 95 % ermittelt.

4 BERECHNUNG

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters U_w ergibt sich nach:

$$U_w = \frac{\sum U_f * A_f + U_g * A_g + \sum \psi * l_g}{\sum A_f + A_g}$$

5 ERGEBNIS

Für das in der Beilage 2 dargestellte Fenster mit den unter Punkt 2.2 beschriebenen Füllungsvarianten und zugehörigem Abstandhalter ergeben sich sowohl nach EN ISO 10077-1:2006-09 als auch nach EN ISO 10077-1:2017-07 Wärmedurchgangskoeffizienten von:

BERÜCKSICHTIGTE VERGLASUNG	ERGEBNIS U_w	
Verglasungsvariante 1	1,2 W/(m ² K)	berechnet 1,22 W/(m ² K) ± 0,02 W/(m ² K)
Verglasungsvariante 2	1,1 W/(m ² K)	berechnet 1,15 W/(m ² K) ± 0,02 W/(m ² K)
Verglasungsvariante 3	1,1 W/(m ² K)	berechnet 1,09 W/(m ² K) ± 0,02 W/(m ² K)
Verglasungsvariante 4	1,0 W/(m ² K)	berechnet 1,03 W/(m ² K) ± 0,02 W/(m ² K)
Verglasungsvariante 5	0,93 W/(m ² K)	berechnet 0,927 W/(m ² K) ± 0,019 W/(m ² K)
Verglasungsvariante 6	0,85 W/(m ² K)	berechnet 0,846 W/(m ² K) ± 0,018 W/(m ² K)
Verglasungsvariante 7	0,78 W/(m ² K)	berechnet 0,776 W/(m ² K) ± 0,018 W/(m ² K)

Anmerkung: Die unter Punkt 5 angeführten Messunsicherheiten wurden mit einem Vertrauensintervall von 95 % ermittelt.

Beilage 1 Querschnittszeichnung des Rahmens

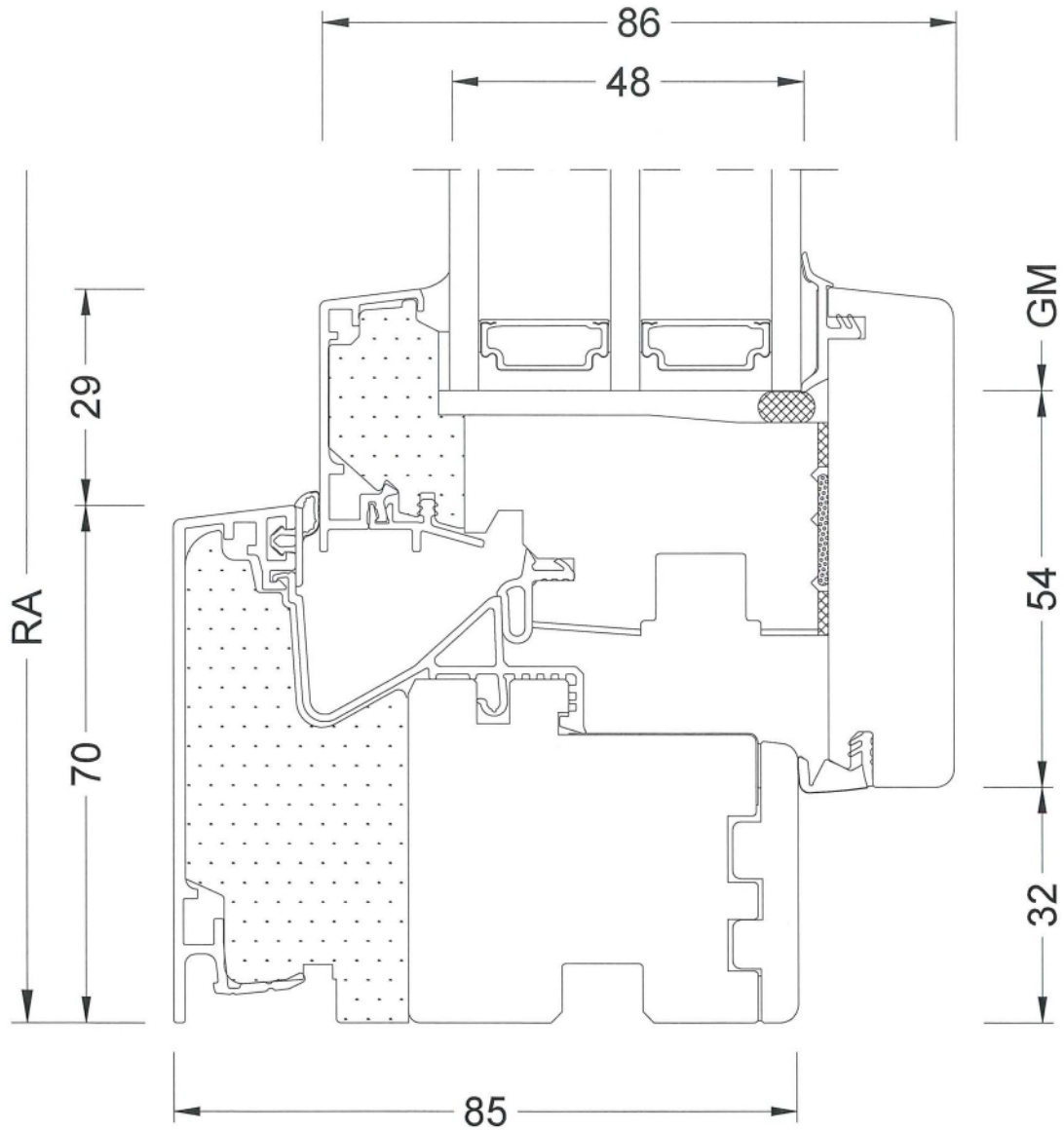


Abbildung 1: Querschnittszeichnung des umlaufenden Rahmens - Maßstab 1:1
(vom Antragsteller zur Verfügung gestellt, Glaspaket und Abstandhalter beispielhaft dargestellt)

Beilage 2 Schematische Darstellung des Gegenstandes

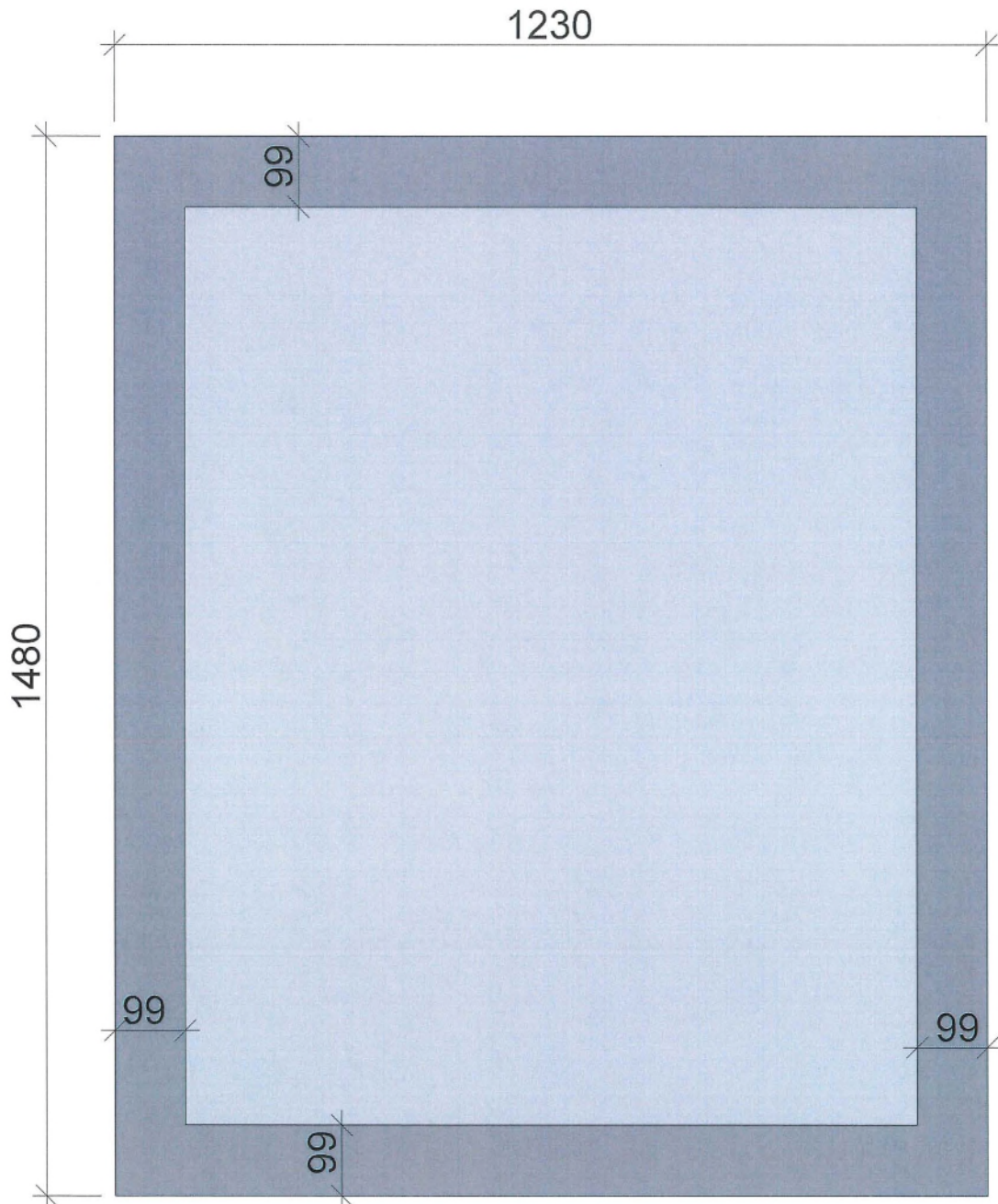


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Fensteransicht - Maßstab 1:10

Beilage 3 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 1

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	1,2471	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	1,74E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	2,47E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	1008	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t_2	2,66	K	Temperatur auf Ebene 2
t_3	10,64	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	7,98	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T_m	279,65	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d_1	9	mm	Dicke der äußeren Glasscheibe in mm
s	12	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d_2	8	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ε_1	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε_2	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h_e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h_i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	2 472	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	2,06	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	0,18	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	2,24	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	1,2145	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	1,78E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	2,53E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	1008	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t_4	10,78	K	Temperatur auf Ebene 4
t_5	17,34	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT_2	6,56	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	287,06	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s_2	10	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d_3	9	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ε_3	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε_4	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	1 042	-	Grashofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	2,53	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	0,19	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	2,72	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	1,01	Km ² /W	
U_g	0,990	W/m²K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

Beilage 4 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 2

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	1,2496	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	1,74E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	2,46E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	1008	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t ₂	2,62	K	Temperatur auf Ebene 2
t ₃	9,54	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	6,92	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T _m	279,08	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d ₁	8	mm	Dicke der äußeren Glasscheibe in mm
s	12	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d ₂	6	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ε ₁	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε ₂	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h _e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h _i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T^2 \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	2 165	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt Zahl (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	2,05	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	0,18	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	2,23	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	1,2169	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	1,78E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	2,52E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	1008	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t ₄	9,64	K	Temperatur auf Ebene 4
t ₅	17,38	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT ₂	7,74	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
T _{m,2}	286,51	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s ₂	14	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d ₃	8	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ε ₃	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε ₄	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T^2 \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	3 404	-	Grasshofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt-Zahl (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	1,80	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_3 + 1/\epsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	0,19	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	2,00	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	1,14	Km ² /W	
U_g	0,877	W/m²K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

Beilage 5 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 3

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	1,6729	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	1,75E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t ₂	2,62	K	Temperatur auf Ebene 2
t ₃	10,65	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	8,03	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T _m	279,63	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d ₁	9	mm	Dicke der äußeren Glasscheibe in mm
s	12	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d ₂	8	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ε ₁	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε ₂	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h _e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h _i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
G _r =g*s ³ *ΔT*ρ ² /T _m μ ²	3 080	-	Grashof-Zahl
Pr=μ*c/λ	0,68	-	Prandtl'sche Zahl
Nu=A*(G _r *Pr) ^{0,4}	1,00	-	Nusselt Zahl (wenn Nu<1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
h _g =Nu*λ/s	1,46	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
h _r =4σ*(1/ε ₁ +1/ε ₂ -1) ⁻¹ *T _m ³	0,18	W/m ² K	Strahlungsleitwert
h _{s1} =h _g +h _r	1,64	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	1,6290	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	1,79E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t ₄	10,75	K	Temperatur auf Ebene 4
t ₅	17,38	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT ₂	6,63	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
T _{m,2}	287,07	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s ₂	10	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d ₃	9	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ε ₃	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε ₄	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
G _r =g*s ³ *ΔT ₂ *ρ ² /T _{m,2} μ ²	1 302	-	Grasshofsche Zahl
Pr=μ*c/λ	0,68	-	Prandtl-Zahl
Nu=A*(G _r *Pr) ^{0,4}	1,00	-	Nusselt-Zahl (wenn Nu<1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
h _g =Nu*λ/s	1,79	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn Nu<1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
h _r =4σ*(1/ε ₃ +1/ε ₄ -1) ⁻¹ *T _{m,2} ³	0,19	W/m ² K	Strahlungsleitwert
h _{s2} =h _g +h _r	1,98	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
1/U _g =1/h _e +Σd*r+1/h _{s1} +1/h _{s2} +1/h _i	1,31	Km ² /W	
U _g	0,762	W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

Beilage 6 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 4

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	1,6725	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	1,75E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t_2	2,60	K	Temperatur auf Ebene 2
t_3	10,80	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	8,20	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T_m	279,70	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d_1	9	mm	Dicke der äußeren Glasscheibe in mm
s	15	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d_2	4	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ε_1	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε_2	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h_e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h_i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	6 140	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,68	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	1,17	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	0,18	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	1,35	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	1,6286	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	1,79E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t_4	10,85	K	Temperatur auf Ebene 4
t_5	17,40	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT_2	6,55	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	287,12	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s_2	12	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d_3	9	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ε_3	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ε_4	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	2 221	-	Grasshofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,68	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	1,49	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	0,20	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	1,68	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	1,53	Km ² /W	
U_g	0,654	W/m²K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

Beilage 7 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 5

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	1,6737	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	1,75E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t_2	2,55	K	Temperatur auf Ebene 2
t_3	10,44	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	7,89	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T_m	279,50	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d_1	6	mm	Dicke der äußeren Glasscheibe in mm
s	18	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d_2	4	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ϵ_1	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ϵ_2	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h_e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h_i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	10 233	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,68	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,01	-	Nusselt Zahl (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,98	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1) \cdot T_m^3$	0,18	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	1,16	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	1,6295	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	1,79E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t_4	10,48	K	Temperatur auf Ebene 4
t_5	17,46	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT_2	6,99	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,97	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s_2	16	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d_3	4	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ϵ_3	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ϵ_4	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	5 627	-	Grashofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,68	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt-Zahl (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	1,12	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_3 + 1/\epsilon_4 - 1) \cdot T_{m,2}^3$	0,19	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	1,31	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	1,81	Km ² /W	
U_g	0,553	W/m²K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

Beilage 8 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 6

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	1,6748	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	1,75E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t_2	2,53	K	Temperatur auf Ebene 2
t_3	10,10	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	7,57	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T_m	279,32	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d_1	4	mm	Dicke der äußeren Glasscheibe in mm
s	18	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d_2	4	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ϵ_1	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ϵ_2	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h_e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h_i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$Gr = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	9 847	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,68	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (Gr \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt Zahl (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,97	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1) \cdot T_m^3$	0,18	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	1,15	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	1,6305	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	1,79E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t_4	10,13	K	Temperatur auf Ebene 4
t_5	17,47	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT_2	7,33	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,80	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s_2	18	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d_3	4	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ϵ_3	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ϵ_4	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$Gr = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	8 430	-	Grasshofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,68	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (Gr \cdot Pr)^n$	1,00	-	Nusselt-Zahl (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,99	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn Nu < 1 dann wird Nu = 1 gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_3 + 1/\epsilon_4 - 1) \cdot T_{m,2}^3$	0,19	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	1,19	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	1,89	Km ² /W	
U_g	0,528	W/m²K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

Beilage 9 U_g-Berechnung der Verglasungsvariante 7

Berechnung gemäß EN 673			
ρ	3,3730	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
μ	2,31E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
λ	1,05E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 1
c	321,3	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 1
t_2	2,53	K	Temperatur auf Ebene 2
t_3	9,94	K	Temperatur auf Ebene 3
ΔT	7,41	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
T_m	279,23	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
d_1	4	mm	Dicke der äußere Glasscheibe in mm
s	18	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
d_2	4	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
ϵ_1	0,0126	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ϵ_2	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Stefan-Boltzmann-Konstante
h_e	25,00	W/m ² K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
h_i	7,70	W/m ² K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	32 345	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,59	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,92	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	0,06	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	0,99	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
ρ	3,2821	kg/m ³	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
μ	2,36E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
λ	1,07E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
c	321,3	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
t_4	9,97	K	Temperatur auf Ebene 4
t_5	17,47	K	Temperatur auf Ebene 5
ΔT_2	7,50	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,72	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
s_2	18	mm	innerer Scheibenabstand in mm
d_3	4	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
ϵ_3	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
ϵ_4	0,0126	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	28 929	-	Grasshofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,52	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,91	W/m ² K	Wärmeleitung des Gases (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\epsilon_3 + 1/\epsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	0,07	W/m ² K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	0,97	W/m ² K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	2,22	Km ² /W	
U_g	0,4497	W/m²K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung