

# BERECHNUNG - NR. B18.203.041.480



LKI Konstruktiver Ingenieurbau

Labor für Bauphysik

Akkreditierte Prüfstelle

Notified Body

Inffeldgasse 24

8010 Graz

Austria

Tel.: +43 316 873 1301

Fax: +43 316 873 1320

E-Mail: [bauphysik@tugraz.at](mailto:bauphysik@tugraz.at)

Web: [www.bauphysik.tugraz.at](http://www.bauphysik.tugraz.at)

DVR: 008 1833 UID: ATU 574 77 929

**ANTRAGSTELLER:** Internorm International GmbH  
Ganglgutstraße 131  
4050 Traun  
Austria

**ANTRAG:** Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  einer Fensterrahmenkonstruktion nach EN ISO 10077-1

**GEGENSTAND:** Einflügeliges Holz-Aluminiumverbundfenster, Systembezeichnung des Herstellers: „**HV 450**“, Designstil „**home pure**“, mit unterschiedlichen **3-fach-Isolierverglasungen (36 mm** Glaselementdicke); Abstandhalter: „**ISO**“; Rahmenmaterial: **Fichtenholz und Funierschichtholz**; Darstellung siehe Beilagen

**DATUM:** 28.01.2019

**INHALT:**

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

Beilage 1: Querschnittszeichnung des umlaufenden Rahmens

Beilage 2: Gesamtzeichnung des Fensters

Beilage 3: Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes der Luftschicht

Beilage 4 - 13:  $U_g$ -Berechnungen der Verglasungsvarianten 1 bis 5 für die Isolier- sowie die Verbundverglasungen

**UMFANG:**

20 Seiten DIN A4, einschließlich Beilagen

File: B18-123-203041-480\_le.docm



## 1 ANTRAG

Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  in  $W/(m^2K)$  einer Fensterrahmenkonstruktion gemäß EN ISO 10077-1.

## 2 GELTENDE DOKUMENTE

- 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“

## 3 GEGENSTAND

Als Grundlage für die Berechnung diente die vom Auftraggeber übergebene CAD-Zeichnung des Fensterprofils mit der Systembezeichnung des Herstellers: „**HV 450**“, **Designstil „home pure**“ (siehe Beilagen 1 und 2).

Rahmenmaterial:	<b>Fichtenholz und Funierschichtholz</b>
Abstandhalter:	<b>„ISO“</b>
Größe:	1230 mm / 1480 mm
Fläche:	$A_w = 1,8204 \text{ m}^2$

### 3.1 GEOMETRISCHE DATEN (UMLAUFEND):

raumseitige projizierte Breite des umlaufenden Rahmens	$b_{f,i} =$	108	mm
raumseitige Projektion des Flächenanteils	$A_{f,i} =$	0,5387	$\text{m}^2$
außenseitige projizierte Breite des umlaufenden Rahmens	$b_{f,e} =$	108	mm
außenseitige Projektion des Flächenanteils	$A_{f,e} =$	0,5387	$\text{m}^2$
größte projizierte Breite des umlaufenden Rahmens	$b_f =$	108	mm
größte projizierte Fläche des umlaufenden Rahmens	$A_f =$	0,5387	$\text{m}^2$

Länge des Randverbundes

$l_g = 4,556 \text{ m}$

Verglasungsfläche

$A_g = 1,2817 \text{ m}^2$

### 3.2 VERGLASUNGSVARIANTE 1:

Glaspaketdicke: 36 mm  
Aufbau: 4/44Lu/6/8Ar/4/14Ar/b4  
Gasfüllung: 90 % Argon  
Beschichtung: auf Ebene 7  
Emissionsgrad: 0,03  
Glas:  $\lambda = 1,0 \text{ W/(mK)}$

### 3.3 VERGLASUNGSVARIANTE 2:

Glaspaketdicke: 36 mm  
Aufbau: 4/44Lu/4b/10Ar/3/12Ar/b33.2VSG  
Gasfüllung: 90 % Argon  
Beschichtung: auf Ebene 4 und 7  
Emissionsgrad: 0,03  
Glas:  $\lambda = 1,0 \text{ W/(mK)}$

### 3.4 VERGLASUNGSVARIANTE 3:

Glaspaketdicke: 36 mm  
Aufbau: 4/44Lu/4b/12Ar/4/12Ar/b4  
Gasfüllung: 90 % Argon  
Beschichtung: auf Ebene 4 und 7  
Emissionsgrad: 0,03  
Glas:  $\lambda = 1,0 \text{ W/(mK)}$

### 3.5 VERGLASUNGSVARIANTE 4:

Glaspaketdicke: 36 mm  
Aufbau: 4/44Lu/3b/12Ar/3/14Ar/b4  
Gasfüllung: 90 % Argon

Beschichtung: auf Ebene 4 und 7  
 Emissionsgrad: 0,03  
 Glas:  $\lambda = 1,0 \text{ W/(mK)}$

### 3.6 VERGLASUNGSVARIANTE 5:

Glaspaketdicke: 36 mm  
 Aufbau: 4/44Lu/4b/12Kr/4/12Kr/b4  
 Gasfüllung: 90 % Krypton  
 Beschichtung: auf Ebene 4 und 7  
 Emissionsgrad: 0,03  
 Glas:  $\lambda = 1,0 \text{ W/(mK)}$

### 3.7 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN:

Rahmen umlaufend	$U_f =$	0,922	W/(m <sup>2</sup> K)	lt. B18.203.023.482
Verglasungsvariante 1	$U_g =$	0,8*	W/(m <sup>2</sup> K)	siehe Beilage 5
Verglasungsvariante 2	$U_g =$	0,7*	W/(m <sup>2</sup> K)	siehe Beilage 7
Verglasungsvariante 3	$U_g =$	0,6*	W/(m <sup>2</sup> K)	siehe Beilage 9
Verglasungsvariante 4	$U_g =$	0,6*	W/(m <sup>2</sup> K)	siehe Beilage 11
Verglasungsvariante 5	$U_g =$	0,4*	W/(m <sup>2</sup> K)	siehe Beilage 13

**\*Anmerkung:** Auftragsgemäß wird die Angabe des  $U_g$ -Wertes auf eine Dezimalstelle gerundet für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  eingesetzt und ausgewiesen.

### 3.8 LÄNGENBEZOGENE WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN:

Glasrandverbund umlaufend, mit Verglasungsvariante 1	$\psi =$	0,026	W/(mK)	lt. B18.203.023.482
Glasrandverbund umlaufend, mit Verglasungsvariante 2	$\psi =$	0,027	W/(mK)	lt. B18.203.023.482
Glasrandverbund umlaufend, mit Verglasungsvariante 3	$\psi =$	0,025	W/(mK)	lt. B18.203.023.482
Glasrandverbund umlaufend, mit Verglasungsvariante 4	$\psi =$	0,024	W/(mK)	lt. B18.203.023.482
Glasrandverbund umlaufend, mit Verglasungsvariante 5	$\psi =$	0,028	W/(mK)	lt. B18.203.023.482

## 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

### 5.1 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT $U_w$ MIT VERGLASUNGSVARIANTE 1:

Für das in der Beilage 2 dargestellte Fenster mit der unter Punkt 3 beschriebenen Verglasungsvariante 1 und „ISO“-Abstandhalter ergibt sich sowohl nach EN ISO 10077-1:2006-09 als auch nach EN ISO 10077-1:2017-07 ein Wärmedurchgangskoeffizient von:

$$\underline{\underline{U_w = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}}}$$

(berechnet: 0,901 W/m<sup>2</sup>K)

### 5.2 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT $U_w$ MIT VERGLASUNGSVARIANTE 2:

Für das in der Beilage 2 dargestellte Fenster mit der unter Punkt 3 beschriebenen Verglasungsvariante 2 und „ISO“-Abstandhalter ergibt sich sowohl nach EN ISO 10077-1:2006-09 als auch nach EN ISO 10077-1:2017-07 ein Wärmedurchgangskoeffizient von:

$$\underline{\underline{U_w = 0,83 \text{ W/(m}^2\text{K)}}}$$

(berechnet: 0,833 W/m<sup>2</sup>K)

### 5.3 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT $U_w$ MIT VERGLASUNGSVARIANTE 3:

Für das in der Beilage 3 dargestellte Fenster mit der unter Punkt 3 beschriebenen Verglasungsvariante 3 und „ISO“-Abstandhalter ergibt sich sowohl nach EN ISO 10077-1:2006-09 als auch nach EN ISO 10077-1:2017-07 ein Wärmedurchgangskoeffizient von:

$$\underline{\underline{U_w = 0,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}}}$$

(berechnet: 0,758 W/m<sup>2</sup>K)

#### 5.4 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT $U_w$ MIT VERGLASUNGSVARIANTE 4:

Für das in der Beilage 2 dargestellte Fenster mit der unter Punkt 3 beschriebenen Verglasungsvariante 4 und „ISO“-Abstandhalter ergibt sich sowohl nach EN ISO 10077-1:2006-09 als auch nach EN ISO 10077-1:2017-07 ein Wärmedurchgangskoeffizient von:

$$\underline{\underline{U_w = 0,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}}}$$

(berechnet: 0,755 W/m<sup>2</sup>K)

#### 5.5 WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT $U_w$ MIT VERGLASUNGSVARIANTE 5:

Für das in der Beilage 2 dargestellte Fenster mit der unter Punkt 3 beschriebenen Verglasungsvariante 5 und „ISO“-Abstandhalter ergibt sich sowohl nach EN ISO 10077-1:2006-09 als auch nach EN ISO 10077-1:2017-07 ein Wärmedurchgangskoeffizient von:

$$\underline{\underline{U_w = 0,62 \text{ W/(m}^2\text{K)}}}$$

(berechnet: 0,625 W/m<sup>2</sup>K)

## 6 GELTUNG

Die Gültigkeit des Berichts erstreckt sich auf den Gegenstand gemäß „Punkt 3 Gegenstand“ und die angeführten Randbedingungen.

Die Ermittlung einer/von Leistungseigenschaft/en gemäß „Punkt 1 Antrag“ ermöglicht keine Aussage über weitere leistungs- und qualitätsbestimmende Eigenschaften der gegenständlichen Konstruktion.

Die Gültigkeit bezieht sich jeweils auf die angeführten Berechnungen, Messergebnisse, Normen, Spezifikationen und Regelwerke, die für den Bericht relevant sind, sowie auf deren Erscheinungsdatum. Die Gültigkeit endet, wenn nachteilige Änderungen an der Konstruktion, Verarbeitung und Eigenschaften der eingesetzten Materialien vorgenommen werden.

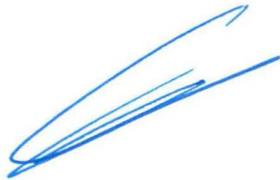
Es wird empfohlen, bei Verwendung zu klären, ob die Konformität noch sichergestellt ist, somit weder ergebnisbeeinflussende Änderungen am Gegenstand vorgenommen wurden, noch Änderungen der zugrundeliegenden Normen bezüglich eigenschaftsrelevanter Merkmale des Gegenstandes vorliegen.

Eine Vervielfältigung darf nur in vollem Umfang erfolgen. Eine gekürzte Form bzw. Auszüge müssen vor der Vervielfältigung schriftlich vom Labor für Bauphysik der Technischen Universität Graz genehmigt werden.

Angegebene Maßstäbe gelten nur für das Original.

Für alle durchgeführten Arbeiten gelten ausschließlich allgemein die Geschäftsbedingungen der Technischen Universität Graz ([www.tugraz.at](http://www.tugraz.at)) und im Speziellen die Geschäftsbedingungen des Labors für Bauphysik ([www.bauphysik.tugraz.at](http://www.bauphysik.tugraz.at)) unter der Anwendung der salvatorischen Klausel.

Graz, 28.01.2019



Dipl.-Ing. Christopher Leh  
Zeichnungsberechtigter



Dipl.-Ing. Heinz Ferk  
Laborleiter

Das Labor für Bauphysik wurde erstmals mit 04.08.2014 mit Bescheid BMWFW-92.714/0485-I/12/2014 gemäß - ISO/IEC 17025 als Prüfstelle mit der Identifikationsnummer 0152 von Akkreditierung Austria für die im Bescheid angeführten und unter [www.bmwfj.gv.at/akkreditierung](http://www.bmwfj.gv.at/akkreditierung) veröffentlichten Bereiche akkreditiert.

### Beilage 1: Querschnittszeichnung des umlaufenden Rahmens

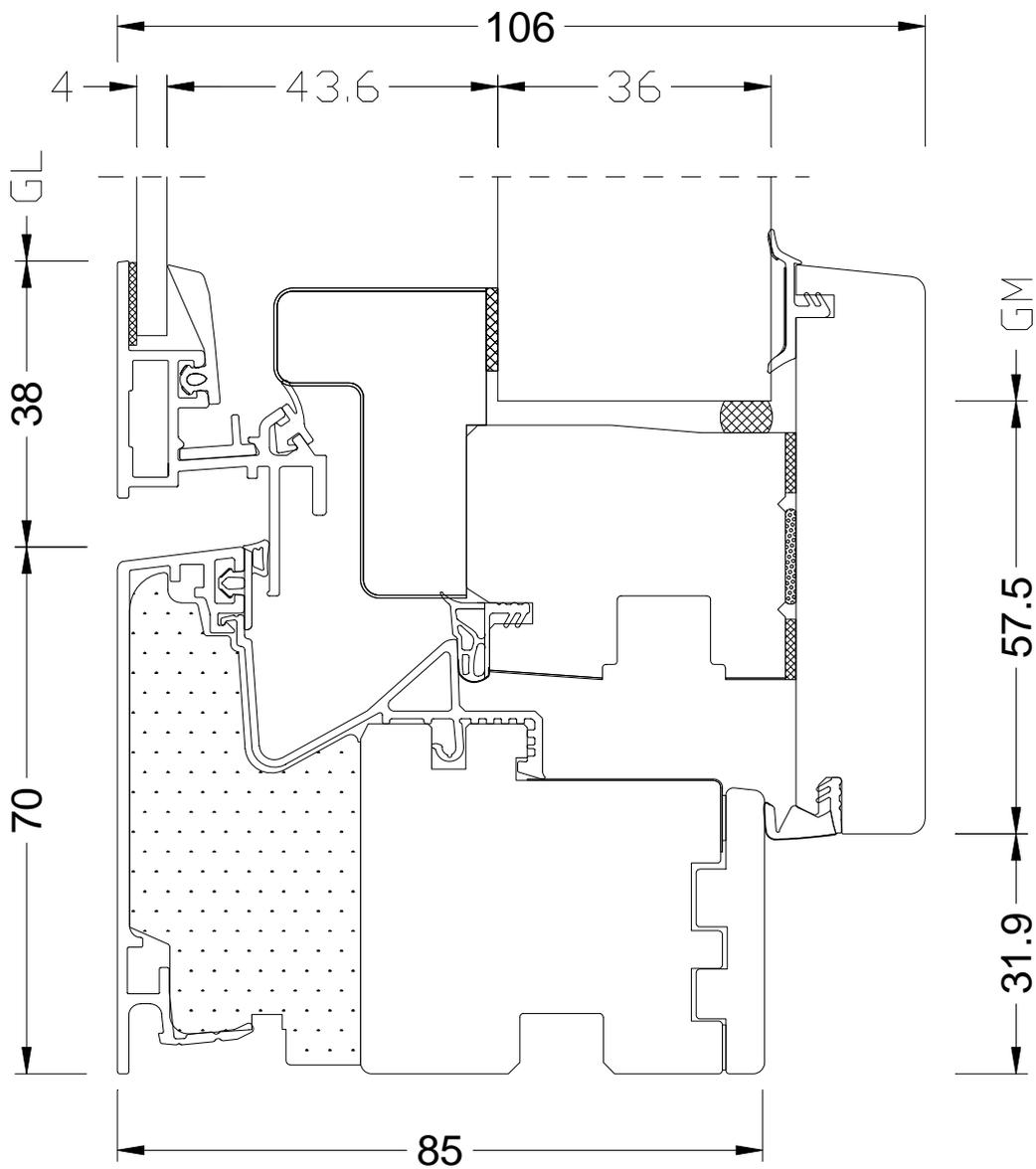


Abbildung 1: Querschnittszeichnung des umlaufenden Rahmens - Maßstab 1:1

(vom Antragsteller beigestellte Zeichnung)

## Beilage 2: Gesamtzeichnung des Fensters

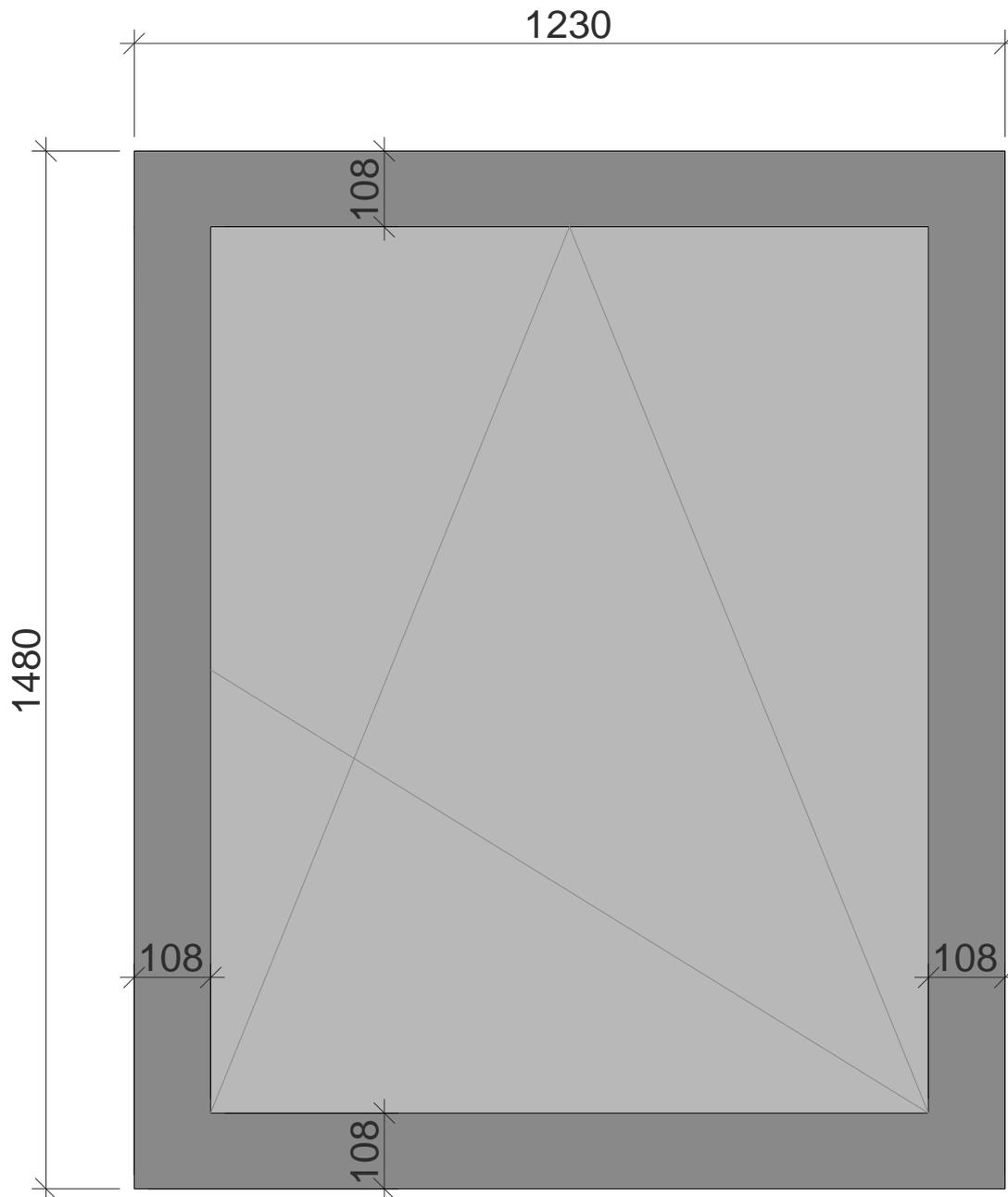


Abbildung 2: Symbolische Darstellung der Fensteransicht - Maßstab 1:10

### Beilage 3: Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes der Luftschicht

Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes einer unbelüfteten Luftschicht gemäß EN 673			
$\rho$	1,2320	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases
$\mu$	1,76E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases
$\lambda$	2,50E-02	W/mK	Wärmeleitfähigkeit des Gases
c	1008	J/kgK	spezifische Wärme des Gases
$t_2$	2,50	K	Temperatur auf E2
$t_3$	17,50	K	Temperatur auf E3
$\Delta T$	15,00	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes
$T_m$	283,00	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes
s	<b>44</b>	mm	Scheibenabstand in mm
$\varepsilon_1$	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_2$	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 <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
A	0,03500	-	Konstante
n	0,38000	-	Exponent
$\sigma$	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Stefan-Boltzmann-Konstante
$h_e$	25,00	W/m <sup>2</sup> K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
$h_i$	7,70	W/m <sup>2</sup> K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	<b>216.788</b>	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,71</b>	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>3,28</b>	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>1,86</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	<b>3,70</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_s = h_g + h_r$	<b>5,56</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases
$R_s = 1/h_s$	<b>0,180</b>	m <sup>2</sup> K/W	Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht

### Beilage 4: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 1 – nur Isolierverglasung

<b>Berechnung gemäß EN 673</b>			
$\rho$	1,6883	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
$\mu$	2,09E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
$\lambda$	1,73E-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
$t_3$	5,63	K	Temperatur auf Ebene 3
$\Delta T$	3,03	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
$T_m$	277,12	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
$d_1$	<b>6</b>	mm	Dicke der äußere Glasscheibe in mm
$s$	<b>8</b>	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
$d_2$	<b>4</b>	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_1$	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_2$	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 <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$A$	0,035	-	Konstante
$n$	0,38	-	Exponent
$\sigma$	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Stefan-Boltzmann-Konstante
$h_e$	25,00	W/m <sup>2</sup> K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
$h_i$	7,70	W/m <sup>2</sup> K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	<b>359</b>	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,68</b>	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>1,00</b>	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>2,17</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	<b>3,47</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	<b>5,64</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
$\rho$	1,6433	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
$\mu$	2,13E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
$\lambda$	1,77E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
$c$	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
$t_4$	5,70	K	Temperatur auf Ebene 4
$t_5$	17,43	K	Temperatur auf Ebene 5
$\Delta T_2$	11,73	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	284,57	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
$s_2$	<b>14</b>	mm	innerer Scheibenabstand in mm
$d_3$	<b>4</b>	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_3$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_4$	0,873	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	<b>6.583</b>	-	Grashofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,68</b>	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>1,00</b>	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>1,27</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	<b>0,19</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	<b>1,46</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d^*r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	<b>1,05</b>	Km <sup>2</sup> /W	
$U_g$	<b>0,955</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

## Beilage 5: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 1 – gesamte Verbundverglasung

### Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung eines Verbundfensters entsprechend der EN ISO 10077-1

<u>Eingangsparameter:</u>			<u>Quelle / Formel*</u>
Innerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{si}$	0,13 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{se}$	0,04 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Wärmeleitfähigkeit Glas	$\lambda_1$	1 W/(mK)	EN ISO 10077-1
Dicke der äußeren Einfachverglasung	$d_1$	4 mm	
Dicke der Luftschicht zwischen innerer und äußerer Verglasung	$d_s$	44 mm	
Wärmedurchgangswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasung	$R_s$	0,180 m <sup>2</sup> K/W	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 3

#### Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{g1}$ und $U_{g2}$ :

Wärmedurchgangskoeffizient der äußeren Einfachverglasung	$U_{g1}$	5,747 W/m <sup>2</sup> K	$U_{g1} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_{si}}$
Wärmedurchgangswiderstand der inneren Isolierverglasung	$U_{g2}$	0,955 W/m <sup>2</sup> K	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 4

#### Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung:

Wärmedurchgangskoeffizienten der kombinierten Verglasung	$U_g$	0,812 W/m <sup>2</sup> K	$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}}$
--	-------	--------------------------	---

\*Anmerkung: Angeführte Formeln wurden der EN ISO 10077-1 entnommen

### Beilage 6: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 2 – nur Isolierverglasung

<b>Berechnung gemäß EN 673</b>			
$\rho$	1,6767	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
$\mu$	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
$\lambda$	1,74E-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
$t_3$	9,46	K	Temperatur auf Ebene 3
$\Delta T$	6,91	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
$T_m$	279,01	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
$d_1$	<b>4</b>	mm	Dicke der äußere Glasscheibe in mm
$s$	<b>10</b>	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
$d_2$	<b>3</b>	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_1$	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_2$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
$r$	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$A$	0,035	-	Konstante
$n$	0,38	-	Exponent
$\sigma$	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Stefan-Boltzmann-Konstante
$h_e$	25,00	W/m <sup>2</sup> K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
$h_i$	7,70	W/m <sup>2</sup> K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	<b>1.550</b>	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,68</b>	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>1,00</b>	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>1,74</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	<b>0,18</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	<b>1,92</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
$\rho$	1,6325	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
$\mu$	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
$\lambda$	1,78E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
$c$	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
$t_4$	9,50	K	Temperatur auf Ebene 4
$t_5$	17,41	K	Temperatur auf Ebene 5
$\Delta T_2$	7,91	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,45	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
$s_2$	<b>12</b>	mm	innerer Scheibenabstand in mm
$d_3$	<b>7</b>	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_3$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_4$	0,873	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	<b>2.709</b>	-	Grashofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,68</b>	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>1,00</b>	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>1,49</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	<b>0,19</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	<b>1,68</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d^*r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	<b>1,30</b>	Km <sup>2</sup> /W	
$U_g$	<b>0,770</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

## Beilage 7: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 2 – gesamte Verbundverglasung

### Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung eines Verbundfensters entsprechend der EN ISO 10077-1

<u>Eingangsparameter:</u>			<u>Quelle / Formel*</u>
Innerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{si}$	0,13 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{se}$	0,04 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Wärmeleitfähigkeit Glas	$\lambda_1$	1 W/(mK)	EN ISO 10077-1
Dicke der äußeren Einfachverglasung	$d_1$	4 mm	
Dicke der Luftschicht zwischen innerer und äußerer Verglasung	$d_s$	44 mm	
Wärmedurchgangswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasung	$R_s$	0,180 m <sup>2</sup> K/W	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 3

#### Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{g1}$ und $U_{g2}$ :

Wärmedurchgangskoeffizient der äußeren Einfachverglasung	$U_{g1}$	5,747 W/m <sup>2</sup> K	$U_{g1} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_{si}}$
Wärmedurchgangswiderstand der inneren Isolierverglasung	$U_{g2}$	0,770 W/m <sup>2</sup> K	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 6

#### Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung:

Wärmedurchgangskoeffizienten der kombinierten Verglasung	$U_g$	<u>0,674 W/m<sup>2</sup>K</u>	$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}}$
--	-------	-------------------------------	---

\*Anmerkung: Angeführte Formeln wurden der EN ISO 10077-1 entnommen

### Beilage 8: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 3 – nur Isolierverglasung

Berechnung gemäß EN 673			
$\rho$	1,6748	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
$\mu$	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
$\lambda$	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
$t_3$	10,08	K	Temperatur auf Ebene 3
$\Delta T$	7,53	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 äußere Glasscheibe in mm
s	12	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
$d_2$	4	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_1$	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_2$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
r	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
A	0,035	-	Konstante
n	0,38	-	Exponent
$\sigma$	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Stefan-Boltzmann-Konstante
$h_e$	25,00	W/m <sup>2</sup> K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
$h_i$	7,70	W/m <sup>2</sup> K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	2.906	-	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)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	1,45	W/m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	1,63	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
$\rho$	1,6305	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
$\mu$	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
$\lambda$	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
$t_5$	17,45	K	Temperatur auf Ebene 5
$\Delta T_2$	7,32	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,79	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
$s_2$	12	mm	innerer Scheibenabstand in mm
$d_3$	4	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_3$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_4$	0,873	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	2.494	-	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)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	1,49	W/m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	1,68	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d^*r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	1,39	Km <sup>2</sup> /W	
$U_g$	0,720	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

## Beilage 9: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 3 – gesamte Verbundverglasung

### Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung eines Verbundfensters entsprechend der EN ISO 10077-1

<u>Eingangsparameter:</u>			<u>Quelle / Formel*</u>
Innerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{si}$	0,13 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{se}$	0,04 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Wärmeleitfähigkeit Glas	$\lambda_1$	1 W/(mK)	EN ISO 10077-1
Dicke der äußeren Einfachverglasung	$d_1$	4 mm	
Dicke der Luftschicht zwischen innerer und äußerer Verglasung	$d_s$	44 mm	
Wärmedurchgangswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasung	$R_s$	0,180 m <sup>2</sup> K/W	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 3

#### Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{g1}$ und $U_{g2}$ :

Wärmedurchgangskoeffizient der äußeren Einfachverglasung	$U_{g1}$	5,747 W/m <sup>2</sup> K	$U_{g1} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_{si}}$
Wärmedurchgangswiderstand der inneren Isolierverglasung	$U_{g2}$	0,720 W/m <sup>2</sup> K	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 8

#### Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung:

Wärmedurchgangskoeffizienten der kombinierten Verglasung	$U_g$	0,636 W/m <sup>2</sup> K	$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}}$
--	-------	--------------------------	---

\*Anmerkung: Angeführte Formeln wurden der EN ISO 10077-1 entnommen

### Beilage 10: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 4 – nur Isolierverglasung

<b>Berechnung gemäß EN 673</b>			
$\rho$	1,6764	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
$\mu$	2,10E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
$\lambda$	1,74E-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
$t_3$	9,58	K	Temperatur auf Ebene 3
$\Delta T$	7,05	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
$T_m$	279,06	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
$d_1$	<b>3</b>	mm	Dicke der äußere Glasscheibe in mm
$s$	<b>12</b>	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
$d_2$	<b>3</b>	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_1$	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_2$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
$r$	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$A$	0,035	-	Konstante
$n$	0,38	-	Exponent
$\sigma$	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Stefan-Boltzmann-Konstante
$h_e$	25,00	W/m <sup>2</sup> K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
$h_i$	7,70	W/m <sup>2</sup> K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	<b>2.730</b>	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,68</b>	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>1,00</b>	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>1,45</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \cdot T_m^3$	<b>0,18</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	<b>1,63</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
$\rho$	1,6320	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
$\mu$	2,15E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
$\lambda$	1,78E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
$c$	567,9	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
$t_4$	9,62	K	Temperatur auf Ebene 4
$t_5$	17,45	K	Temperatur auf Ebene 5
$\Delta T_2$	7,84	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,54	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
$s_2$	<b>14</b>	mm	innerer Scheibenabstand in mm
$d_3$	<b>4</b>	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_3$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_4$	0,873	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	<b>4.258</b>	-	Grashofsche Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	<b>0,68</b>	-	Prandtl-Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	<b>1,00</b>	-	Nusselt-Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	<b>1,27</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeleitung des Gases (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_r = 4 \sigma \cdot (1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_4 - 1)^{-1} \cdot T_{m,2}^3$	<b>0,19</b>	W/m <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	<b>1,47</b>	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d^*r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	<b>1,47</b>	Km <sup>2</sup> /W	
$U_g$	<b>0,679</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

## Beilage 11: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 4 – gesamte Verbundverglasung

### Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung eines Verbundfensters entsprechend der EN ISO 10077-1

<u>Eingangsparameter:</u>			<u>Quelle / Formel*</u>
Innerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{si}$	0,13 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{se}$	0,04 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Wärmeleitfähigkeit Glas	$\lambda_1$	1 W/(mK)	EN ISO 10077-1
Dicke der äußeren Einfachverglasung	$d_1$	4 mm	
Dicke der Luftschicht zwischen innerer und äußerer Verglasung	$d_s$	44 mm	
Wärmedurchgangswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasung	$R_s$	0,180 m <sup>2</sup> K/W	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 3

#### Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{g1}$ und $U_{g2}$ :

Wärmedurchgangskoeffizient der äußeren Einfachverglasung	$U_{g1}$	5,747 W/m <sup>2</sup> K	$U_{g1} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_{si}}$
Wärmedurchgangswiderstand der inneren Isolierverglasung	$U_{g2}$	0,679 W/m <sup>2</sup> K	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 10

#### Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung:

Wärmedurchgangskoeffizienten der kombinierten Verglasung	$U_g$	<u>0,604 W/m<sup>2</sup>K</u>	$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}}$
--	-------	-------------------------------	---

\*Anmerkung: Angeführte Formeln wurden der EN ISO 10077-1 entnommen

## Beilage 12: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 5 – nur Isolierverglasung

<b>Berechnung gemäß EN 673</b>			
$\rho$	3,3721	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 1
$\mu$	2,31E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 1
$\lambda$	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
$t_3$	10,08	K	Temperatur auf Ebene 3
$\Delta T$	7,55	K	Temperaturdifferenz zwischen den Grenzflächen des Gaszwischenraumes 1
$T_m$	279,31	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 1
$d_1$	4	mm	Dicke der äußere Glasscheibe in mm
$s$	12	mm	äußerer Scheibenabstand in mm
$d_2$	4	mm	Dicke der mittleren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_1$	0,837	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_2$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
Neigung	90	°	Neigung des Glases aus der Horizontalen
$r$	1,00	mK/W	spezifischer Wärmedurchlasswiderstand für Glas
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$A$	0,035	-	Konstante
$n$	0,38	-	Exponent
$\sigma$	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Stefan-Boltzmann-Konstante
$h_e$	25,00	W/m <sup>2</sup> K	äußerer Wärmeübergangskoeffizient
$h_i$	7,70	W/m <sup>2</sup> K	innerer Wärmeübergangskoeffizient
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2 / T_m \mu^2$	9,759	-	Grashof-Zahl
$Pr = \mu \cdot c / \lambda$	0,71	-	Prandtl'sche Zahl
$Nu = A \cdot (G_r \cdot Pr)^n$	1,01	-	Nusselt Zahl (wenn $Nu < 1$ dann wird $Nu = 1$ gesetzt)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,88	W/m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s1} = h_g + h_r$	1,06	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 1
$\rho$	3,2812	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Gases im Zwischenraum 2
$\mu$	2,36E-05	kg/ms	dynamische Viskosität des Gases im Zwischenraum 2
$\lambda$	1,07E-02	W/mK	Leitfähigkeit des Gases im Zwischenraum 2
$c$	321,3	J/kgK	spezifische Wärme des Gases im Zwischenraum 2
$t_4$	10,12	K	Temperatur auf Ebene 4
$t_5$	17,47	K	Temperatur auf Ebene 5
$\Delta T_2$	7,35	K	Temperaturdifferenz zwischen Grenzflächen des Gaszwischenraumes 2
$T_{m,2}$	286,79	K	absolute mittlere Temperatur des Gaszwischenraumes 2
$s_2$	12	mm	innerer Scheibenabstand in mm
$d_3$	4	mm	Dicke der inneren Glasscheibe in mm
$\varepsilon_3$	0,0366	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$\varepsilon_4$	0,873	-	korrigiertes Emissionsvermögen
$G_r = g \cdot s^3 \cdot \Delta T_2 \cdot \rho^2 / T_{m,2} \mu^2$	8,386	-	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)
$h_g = Nu \cdot \lambda / s$	0,89	W/m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> K	Strahlungsleitwert
$h_{s2} = h_g + h_r$	1,09	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchlasskoeffizient des Gases im Zwischenraum 2
$1/U_g = 1/h_e + \sum d \cdot r + 1/h_{s1} + 1/h_{s2} + 1/h_i$	2,05	Km <sup>2</sup> /W	
$U_g$	0,489	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

## Beilage 13: $U_g$ - Berechnung Verglasungsvariante 5 – gesamte Verbundverglasung

### Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung eines Verbundfensters entsprechend der EN ISO 10077-1

#### Eingangsparameter:

			<u>Quelle / Formel*</u>
Innerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{si}$	0,13 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$R_{se}$	0,04 m <sup>2</sup> K/W	EN ISO 10077-1
Wärmeleitfähigkeit Glas	$\lambda_1$	1 W/(mK)	EN ISO 10077-1
Dicke der äußeren Einfachverglasung	$d_1$	4 mm	
Dicke der Luftschicht zwischen innerer und äußerer Verglasung	$d_s$	44 mm	
Wärmedurchgangswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasung	$R_s$	0,180 m <sup>2</sup> K/W	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 3

#### Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{g1}$ und $U_{g2}$ :

Wärmedurchgangskoeffizient der äußeren Einfachverglasung	$U_{g1}$	5,747 W/m <sup>2</sup> K	$U_{g1} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_{si}}$
Wärmedurchgangswiderstand der inneren Isolierverglasung	$U_{g2}$	0,489 W/m <sup>2</sup> K	berechnet nach EN 673, siehe Beilage 12

#### Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ der kombinierten Verglasung:

Wärmedurchgangskoeffizienten der kombinierten Verglasung	$U_g$	<u>0,449 W/m<sup>2</sup>K</u>	$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}}$
--	-------	-------------------------------	---

\*Anmerkung: Angeführte Formeln wurden der EN ISO 10077-1 entnommen