



# **Energie-, CO<sub>2</sub>- und Kosteneinsparungen durch die Verwendung von Kunststofffenstern mit unterschiedlicher Verglasung**

## **im Vergleich zum einfach verglasten Aluminiumfenstern im Klima Neu Dehli, Indien**

**Kurzstudie des Passivhaus Instituts im Auftrag von  
ALUPLAST INDIA**

### **Bericht**

Dezember 2016

Autor  
Dr.-Ing. Benjamin Krick

## Inhalt

1	Einleitung.....	2
2	Methode .....	2
2.1	Ermittlung der thermischen Kennwerte.....	2
2.2	Gebäudemodell und Standort.....	3
2.3	Ermittlung des Barwertes der Energieeinsparung.....	4
2.4	Ermittlung der CO <sub>2</sub> -Einsparung .....	4
3	Ergebnisse .....	5
3.1	Nutzkältebedarf .....	5
3.2	Energiebedarf, GWP .....	5
3.3	Lebenszykluskosten.....	6
4	Zusammenfassung .....	6

## 1 Einleitung

Die Einsparung von Energie zur Reduktion klimaschädlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen und zur Entlastung erneuerbarer Energiequellen ist eine der wichtigsten Aufgaben unserer Zeit. Im Bereich der Gebäudeenergieeffizienz geht Energieeinsparung in Heizklimaten regelmäßig mit einer Verringerung der Lebenszykluskosten sowie mit weiteren Vorteilen Hand in Hand. Am Beispiel von Fenstern und Verglasungen wird dies besonders deutlich.

In dieser durch das Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist im Auftrag von Aluplast India erstellten Studie konnten diese Effekte auch für Kühlklimata am Beispiel von New Delhi nachgewiesen werden.

## 2 Methode

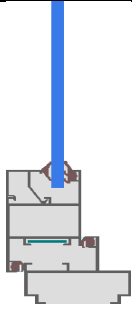
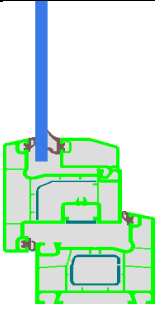
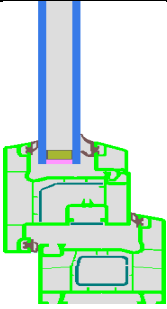
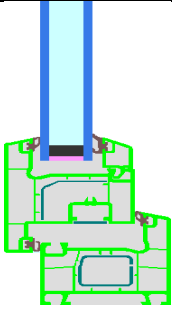
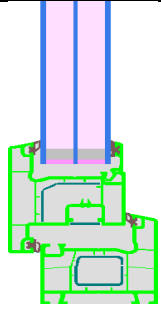
Zunächst wurden die thermischen Kennwerte eines Aluminiumfensters mit Einfachverglasung und eines Aluplast Ideal 2000 Fensterrahmens mit 4 verschiedenen Verglasungen ermittelt. Mit diesen Werten wurde im zweiten Schritt die Energiebilanz eines Beispielgebäudes mit dem Passivhaus Projektierungspaket (PHPP, Version 9.4) berechnet und die Einsparungen bezüglich Energiebedarf, Energiekosten und CO<sub>2</sub> in bestimmt. Dabei wurden die Energiekosten, Investitionskosten sowie alle benötigten Konstruktionszeichnungen durch Aluplast India geliefert.

### 2.1 Ermittlung der thermischen Kennwerte

Als Referenzrahmen wurden ein in Indien üblicher, einfach verglaster Aluminium Rahmen gewählt (vgl. Tabelle 1).

Dieser wird mit einem Aluplast Ideal 2000 Rahmen in den Varianten mit Einfach Verglasung, Isolierverglasung (2-fach Verglasung ohne Low-E-Beschichtung mit Luftfüllung im Scheibenzwischenraum), mit 2-fach- und mit 3-fach Wärmeschutzverglasung verglichen. Zusätzlich wurden die Einbau-Wärmebrücken für den Aluminium-Rahmen und den Kunststoff Rahmen ermittelt. Alle Berechnungen wurden mit Flixo 7 pro durchgeführt, vgl. Anhang 1. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse dargestellt.

**Tabelle 1:** Thermische Kennwerte und Investitionskosten der zugrunde gelegten Rahmen-Glas Kombinationen

Model					
Window	Standard Aluminum	Aluplast Ideal 2000	Aluplast Ideal 2000	Aluplast Ideal 2000	Aluplast Ideal 2000
$b_f$ [mm]	88	107			
$U_f$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	6,52	1,64	1,60	1,59	1,56
$\Psi_g$ [W/(mK)]	-0,015	-0,013	0,033	0,051	0,031
Glazing	Single	Single	Double	Double Low-e	Triple Low-e
$U_g$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	5,68		2,85	1,04	0,59
$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	5,83	3,92	2,43	1,45	1,11
$g$ [-]	0,85		0,78	0,45	0,36
Invest [€/m <sup>2</sup> ]	45	70	84	107	127
$\Psi_i$ [W/(mK)]	0,111	0,044			

## 2.2 Gebäudemodell und Standort

Für die Studie wurde durch den Auftraggeber der Standort New Delhi im sehr heißen Klima ausgewählt. Die Heiz- und Kühlgradstunden des Standorts zeigt Tabelle 2.

Das im Passivhaus Projektierungspaket modellierte Gebäude basiert auf einem durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellten Plan eines typischen Neubaus im Mehrgeschossigen Wohnungsbau. Modelliert wurde ein repräsentativer Ausschnitt eines Wohngeschosses. Nicht abgebildet wurde die sekundäre Wärmeabgabe in Folge solarer Einstrahlung auf den Rahmen. Aufgrund des besseren U-Wertes des Kunststoff Rahmens ist zu erwarten, dass sich die Ergebnisse durch Einbeziehung der sekundären Wärmeabgabe zugunsten der Ergebnisse durch Einbeziehung der Kunststofffenster verändern würden. Das Gebäude wird mittels einer Wärmepumpe (SPF = 2,5) gekühlt. Die Innentemperatur wurde ganzjährig mit 20°C angesetzt. Eine signifikanter Heizwärmebedarf fällt nicht an. Somit ist das Gebäude monovalent elektrisch versorgt. Abbildung 1 zeigt das Gebäude.



**Abbildung 1:** Zugrunde gelegtes Gebäude

**Tabelle 2:** Klimatische Kennwerte und Bauteilqualitäten des Referenzgebäudes

Parameter	Einheit	New Delhi
Heating degree hours	kKh/a	4
Cooling degree hours	kKh/a	36
U-value roof & exterior wall	W/(m <sup>2</sup> K)	0,72
U-value basement ceiling	W/(m <sup>2</sup> K)	0,92

### 2.3 Ermittlung des Barwertes der Energieeinsparung

Zur Ermittlung des Barwertes der Energieeinsparung wurden die folgenden Randbedingungen angesetzt: Nutzungszeitraum: 40 Jahre. Nominalzins: 6,5%, Inflation: 5%. Strompreis: 0,08 €/kWh (lt. Auftraggeber). Dividiert durch die Jahresarbeitszahl (SPF) der Wärmepumpe resultiert ein Nutzkältepreis (ohne Abschreibung und Wartung der Anlagentechnik) von 0,032 €/kWh. Die Ermittlung der Barwerte erfolgt entsprechend den nachfolgenden Gleichungen.

$$K_e = k_j \cdot B_B$$

$$k_j = Q_{\text{Energie}} \cdot k_{\text{Energie}}$$

$$B_B = \frac{1 - (1 + p_{\text{real}})^{t_B^{-1}}}{p_{\text{real}}}$$

$K_e$ : Barwert der Energiekosten [€]  
 $k_j$ : Jährliche Energiekosten [€]  
 $B_B$ : Barwertfaktor Betrachtungszeitraum [-]  
 $Q_{\text{Energie}}$ : Energiemenge [kWh]  
 $k_{\text{Energie}}$ : Energiekosten [€/kWh]  
 $p_{\text{real}}$ : Realzins  
 $t_B$ : Betrachtungszeitraum [a]

### 2.4 Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Einsparung

Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen wird der Endenergiebedarf für Heizen und Kühlen (Energieträger: Strom) mit dem CO<sub>2</sub>eq-Emissionsfaktor (auch global warming potential – GWP-Faktor genannt) multipliziert. Dieser Faktor enthält nicht nur das pro kWh Endenergie entstehende CO<sub>2</sub>, sondern inkludiert auch die Klimawirkung anderer Schadgase normiert auf CO<sub>2</sub>. Der CO<sub>2</sub>eq-Emissionsfaktor wurde in dieser Studie zu 0,70 kgCO<sub>2</sub>eq/ kWh<sub>End</sub> angesetzt.

### 3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Kurzstudie in Wort und Bild dargestellt. Eine Ergebnistabelle ist in Anhang 2 zu finden.

#### 3.1 Nutzkältebedarf

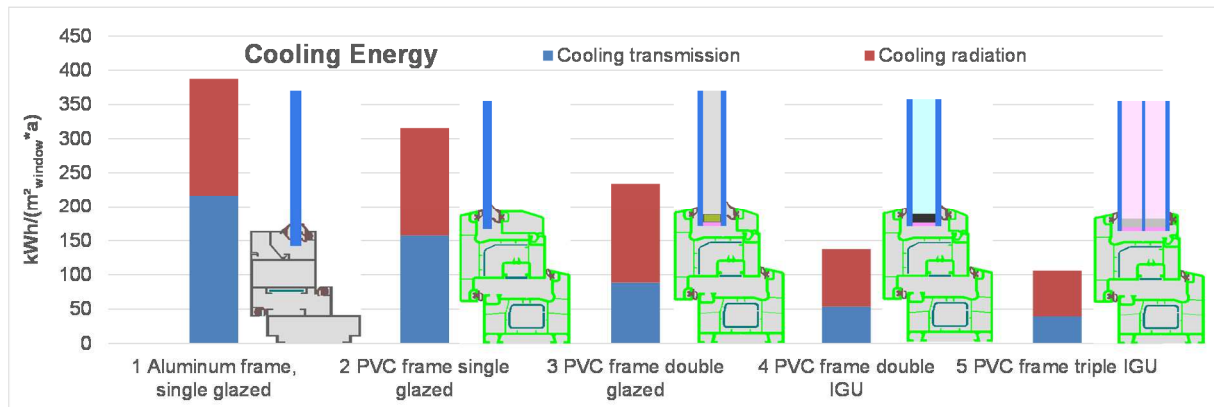


Abbildung 2: Kühlenergiebedarf für die untersuchten Varianten

Abbildung 2 visualisiert den durch die Fenster verursachten Kühlenergiebedarf der untersuchten Varianten bezogen auf den Quadratmeter Fensterfläche, separiert in Kühlenergiebedarf durch Transmission und Strahlung. Der Transmissionskältebedarf bildet die Wärmelasten durch Rahmen und Glas an. Er ist allein vom U-Wert der Fenster abhängig. Je besser der Fenster-U-Wert, umso geringer der Kühlenergiebedarf. Für die Wärmelasten durch Strahlung sind die Verglasungsfläche und der Gesamtdurchlassgrad der Verglasung g ausschlaggebend. Je geringer der g-Wert, umso geringer die Wärmelast. Auch an dieser Stelle wirken sich die den g-Wert erhöhenden Low-E-Beschichtungen der Isoliergläser positiv auf die Energiebilanz aus. Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass die Wärmelasten des einfach verglasten PVC-Fensters etwas niedriger sind als die des Aluminium Fensters. Dies liegt am etwas breiteren Rahmen, und daher etwas geringerer Glasfläche des PVC-Fensters.

#### 3.2 Strombedarf, GWP

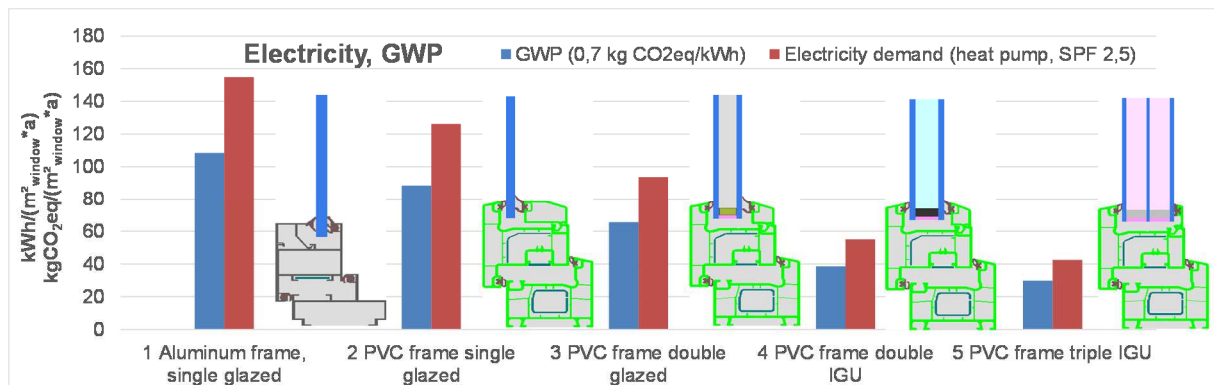


Abbildung 3: Bedarf an elektrischer Energie zur Kühlung und hierdurch verursachter CO<sub>2</sub>-Ausstoß

Der Bedarf an elektrischer Energie ist über den SPF (Seasonal Performance Factor) – hier 2,5

– direkt mit dem Nutzkältebedarf gekoppelt. Je geringer der Nutzkältebedarf, umso geringer der Bedarf an (zu zahlender) elektrischer Energie. Gleiches gilt für das Global Warming Potential GWP. Das Einsparpotential liegt beim Vergleich zwischen dem Aluminium Fenster und dem PVC-Fenster mit 3-fach Verglasung bei fast 80 kg CO<sub>2</sub>eq pro Quadratmeter Fensterfläche pro Jahr, entsprechend ca. 660 Fahrkilometer mit einem Golf VI 1,6 TDI.

### 3.3 Lebenszykluskosten

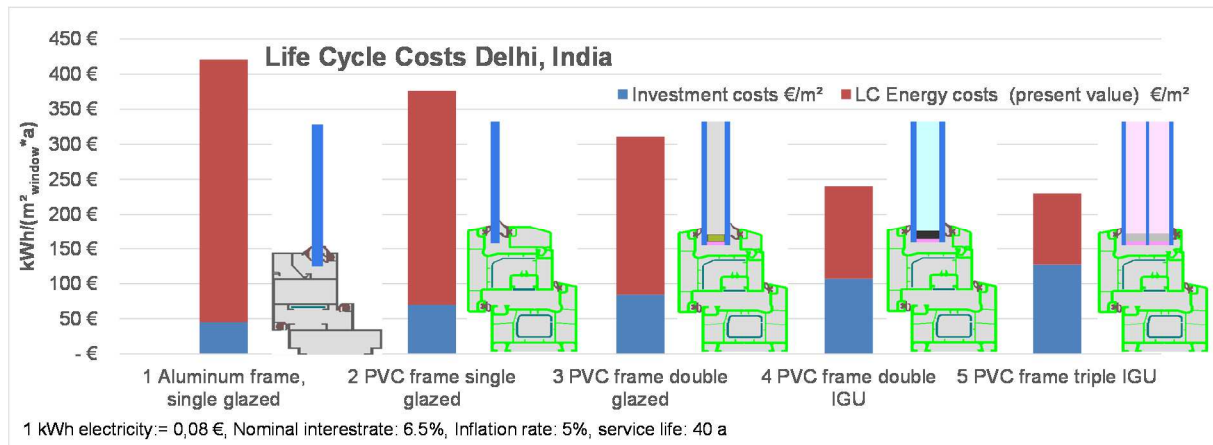


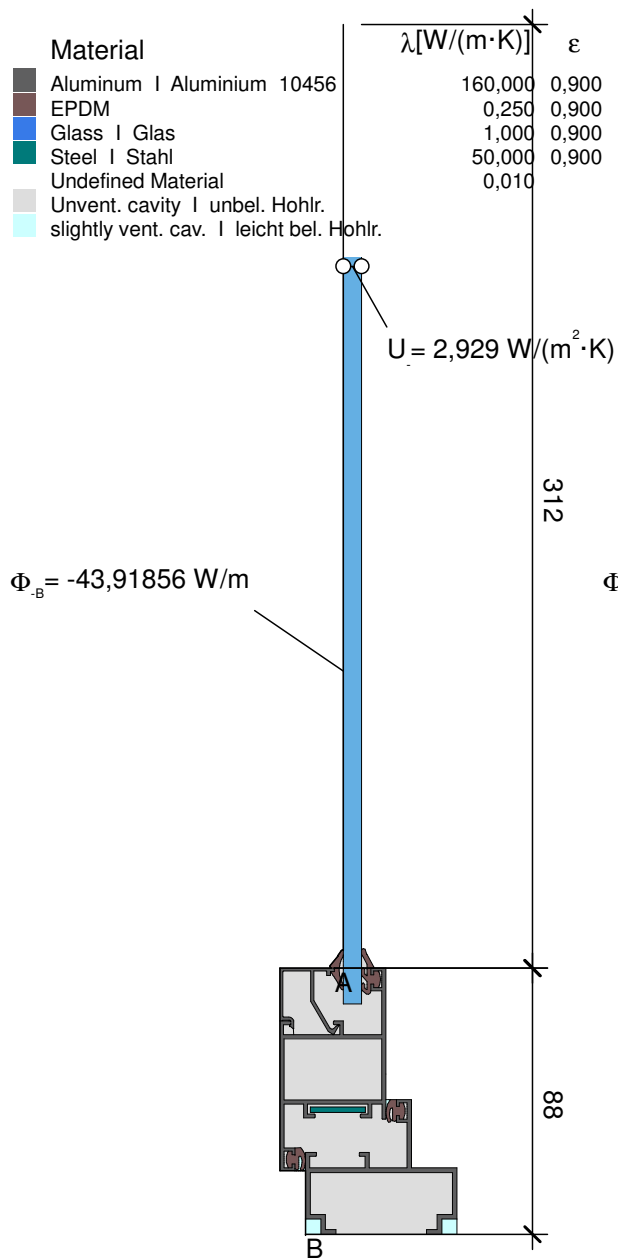
Abbildung 4: Lebenszykluskosten (40 Jahre) der untersuchten Varianten

Den höheren Investitionskosten der thermisch besseren Produkte stehen deutlich verringerte Energiekosten über die gesamte Nutzungsdauer der Komponenten (hier 40 Jahre) gegenüber. Mit Blick auf Abbildung 4 kann festgestellt werden, dass die thermisch hochwertigste Komponente mit leichtem Vorsprung auf das thermisch zweitbeste Fenster in dieser Studie mit den geringsten Lebenszykluskosten abschneidet. Am deutlichsten sind die Sprünge zwischen dem einfach- und 2-fach verglasten, sowie dem 2-fach und dem 2-fach Wärmeschutzverglasten PVC-Rahmen. Daraus lässt sich ableiten, dass in Verbindung mit PVC-Rahmen stets Wärmeschutzverglasungen eingesetzt werden sollten. Über den Kostenvorteil hinaus profitiert der Nutzer zusätzlich durch einen besseren Schallschutz und bessere thermische Behaglichkeit durch die Mehrfach-Verglasung.

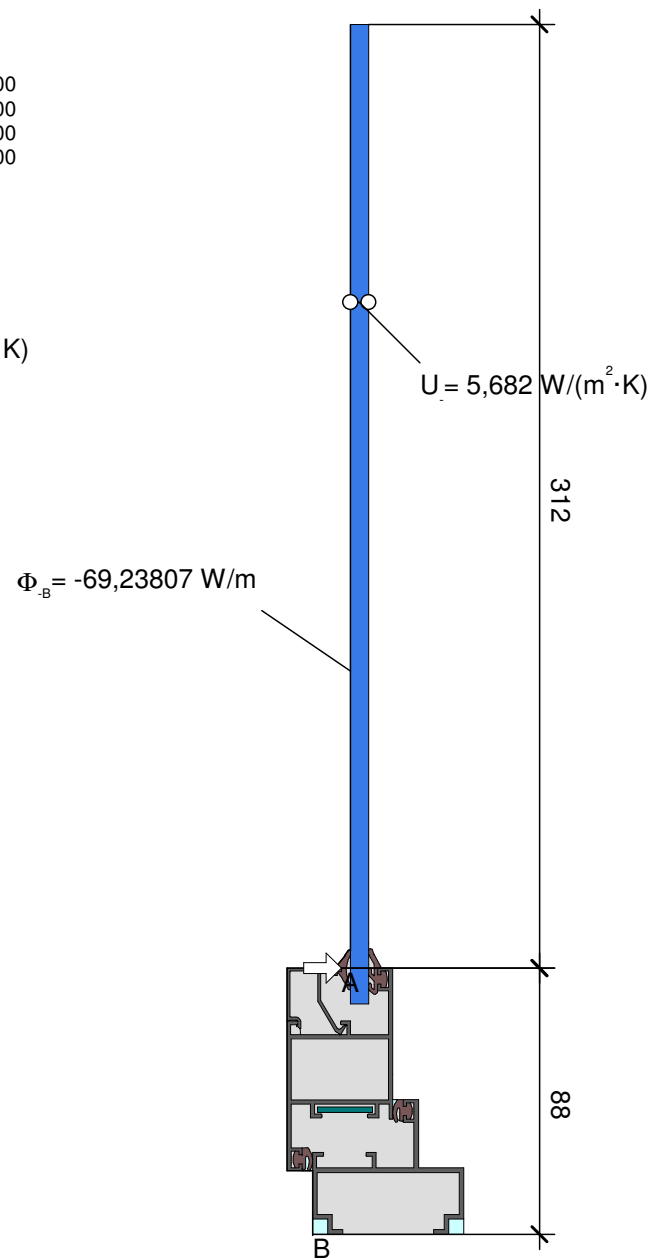
## 4 Zusammenfassung

Durch die vorliegende Studie konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Kunststofffenstern sowohl zu signifikanten Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen führt, als auch wirtschaftlich ist. Besonders deutlich wird dies in Verbindung mit 2- oder gar 3-fach Wärmeschutzverglasungen. Die jährlich vermeidbare Menge CO<sub>2</sub> pro Quadratmeter Fensterfläche entspricht im Vergleich zwischen dem einfach verglasten Aluminium Fenster und dem 3-fach verglasten PVC-Fenster einer Fahrleistung von 660 km mit einem Golf VI 1,6 TDI. Über den Kostenvorteil hinaus profitiert der Nutzer zusätzlich durch einen besseren Schallschutz und bessere thermische Behaglichkeit durch die Mehrfach-Verglasung.

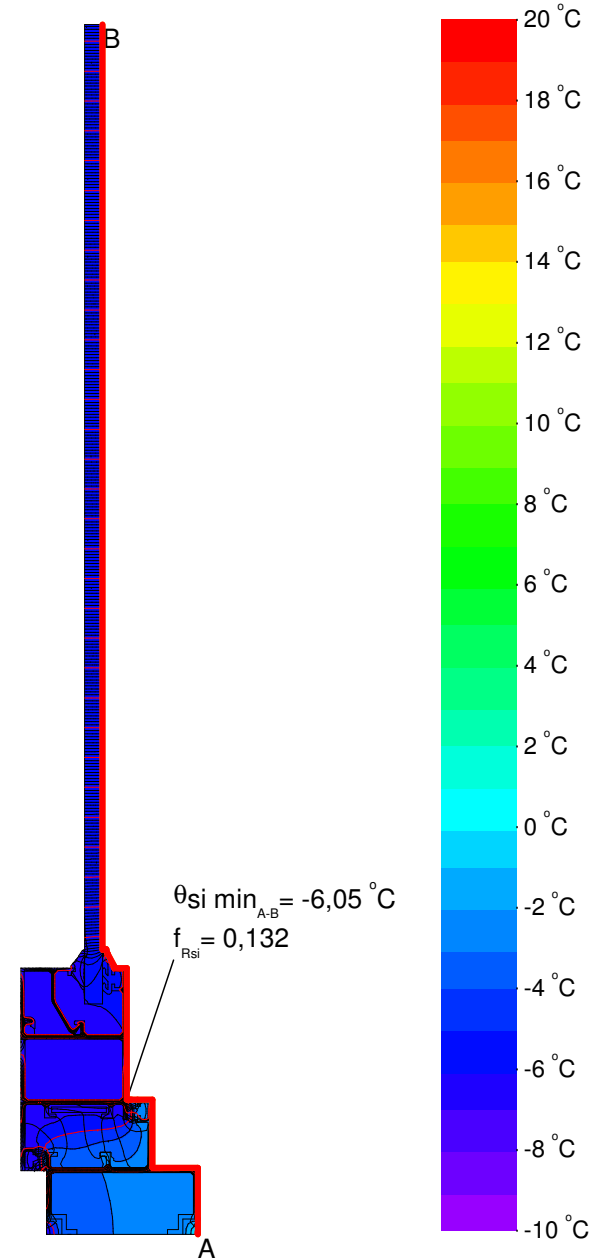
Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
Aluminum I Aluminium 10456	160,000	0,900
EPDM	0,250	0,900
Glass I Glas	1,000	0,900
Steel I Stahl	50,000	0,900
Undefined Material	0,010	
Unvent. cavity I unbel. Hohlr.		
slightly vent. cav. I leicht bel. Hohlr.		



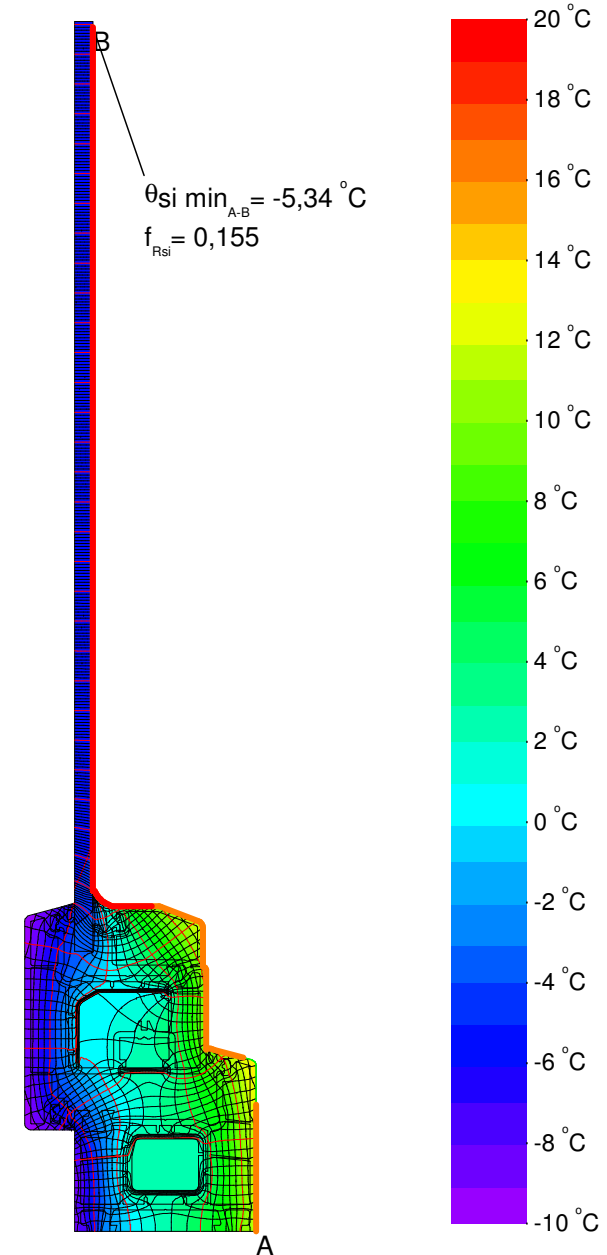
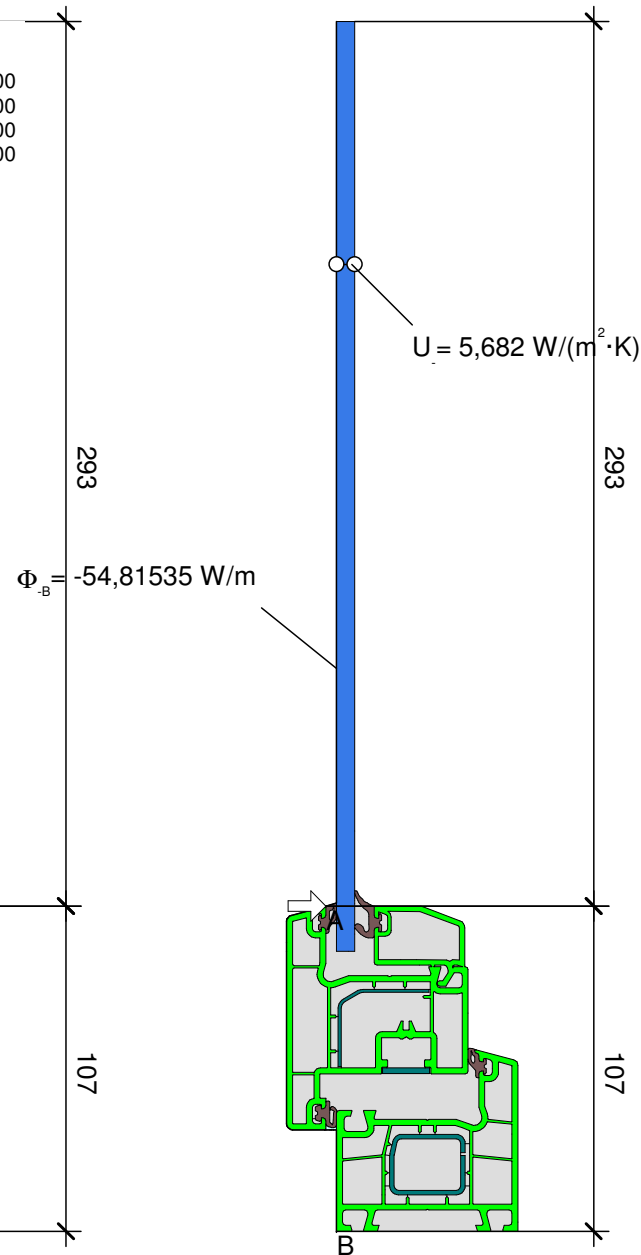
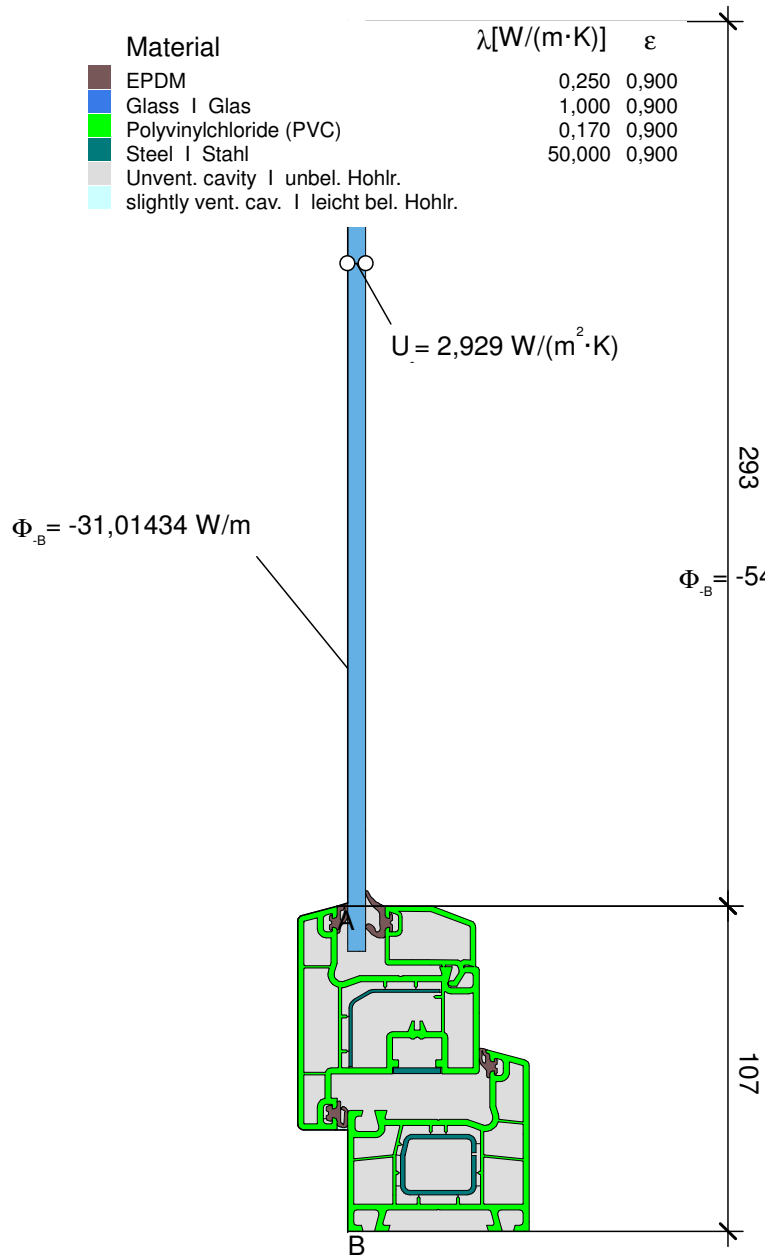
$$U_{f,A,B} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{43,919}{30,000} - 2,929 \cdot 0,312}{0,088} = 6,252 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



$$\psi_A = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g \cdot b_g - U_f \cdot b_f = \frac{69,238}{30,000} - 5,682 \cdot 0,312 - 6,252 \cdot 0,088 = -0,015 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
EPDM	0,250	0,900
Glass   Glas	1,000	0,900
Polyvinylchloride (PVC)	0,170	0,900
Steel   Stahl	50,000	0,900
Unvent. cavity   unbel. Hohlr.		
slightly vent. cav.   leicht bel. Hohlr.		

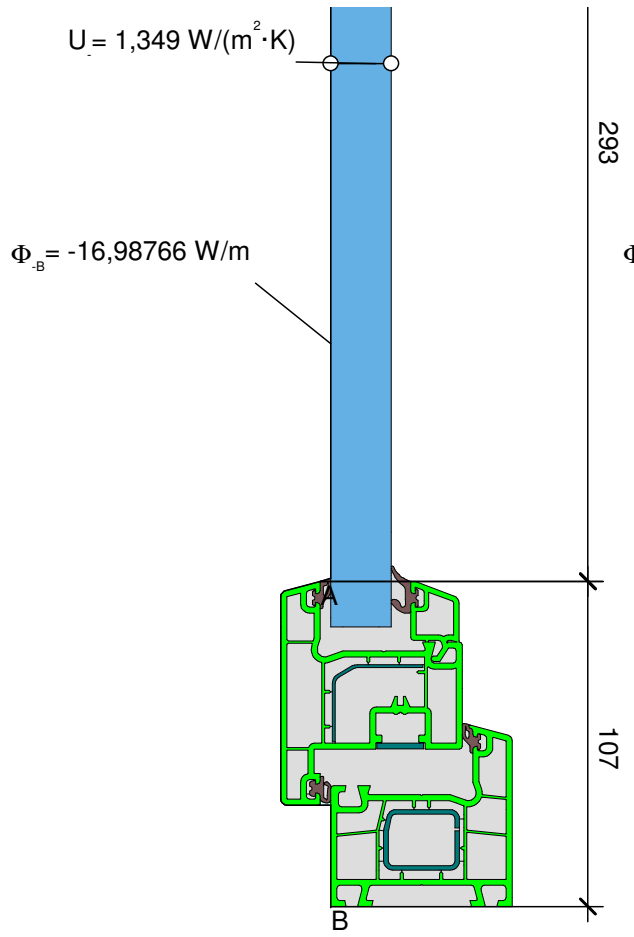


$$U_{iA,B} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{31,014}{30,000} - 2,929 \cdot 0,293}{0,108} = 1,648 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

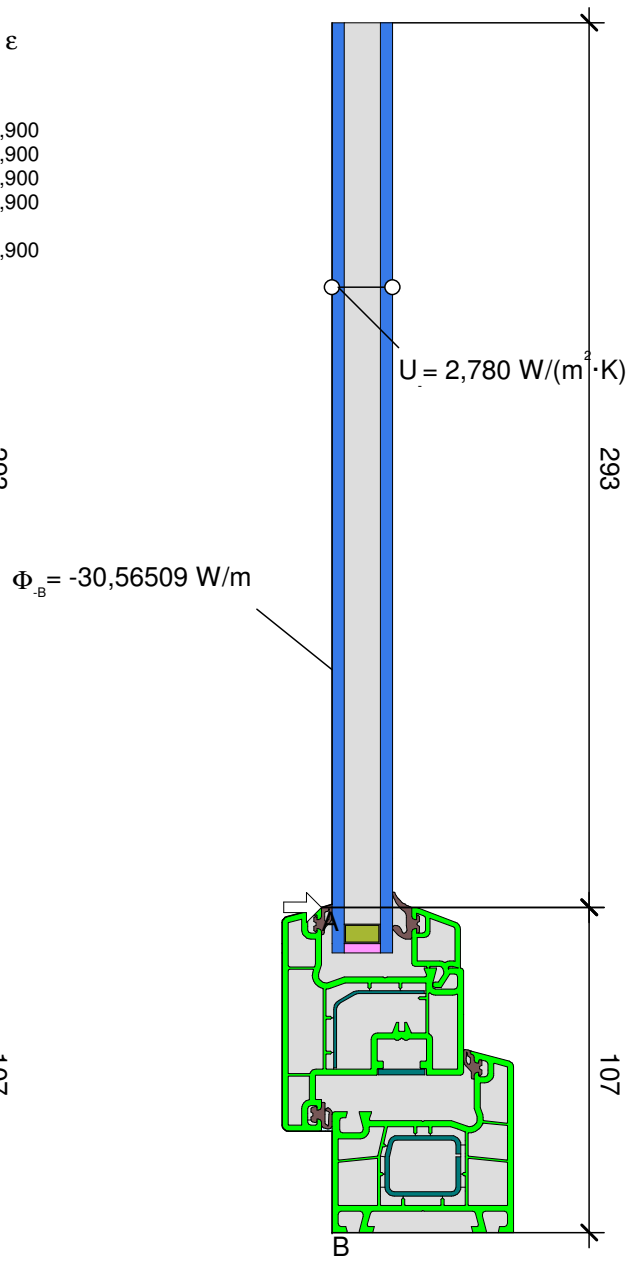
$$\psi_A = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g \cdot b_g - U_f \cdot b_f = \frac{54,815}{30,000} - 5,682 \cdot 0,293 - 1,648 \cdot 0,108 = -0,012 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$



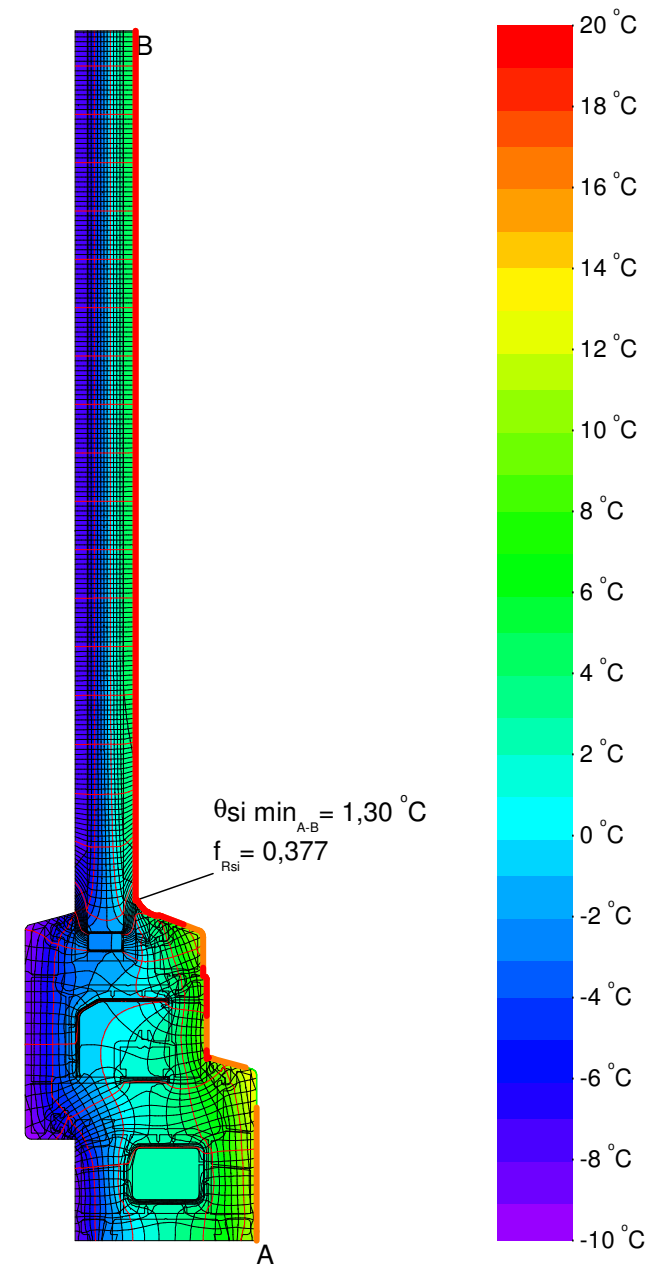
Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
Air 12 in 20 mm 2.78	0,066	
Aluminum I Aluminium 10456	160,000	
EPDM	0,250	0,900
Glass I Glas	1,000	0,900
Polysulfide I Polysulfid	0,400	0,900
Polyvinylchloride (PVC)	0,170	0,900
Silicagel (Trockenmittel) (1)	0,130	
Steel I Stahl	50,000	0,900
Unvent. cavity I unbel. Hohlr.		
slightly vent. cav. I leicht bel. Hohlr.		



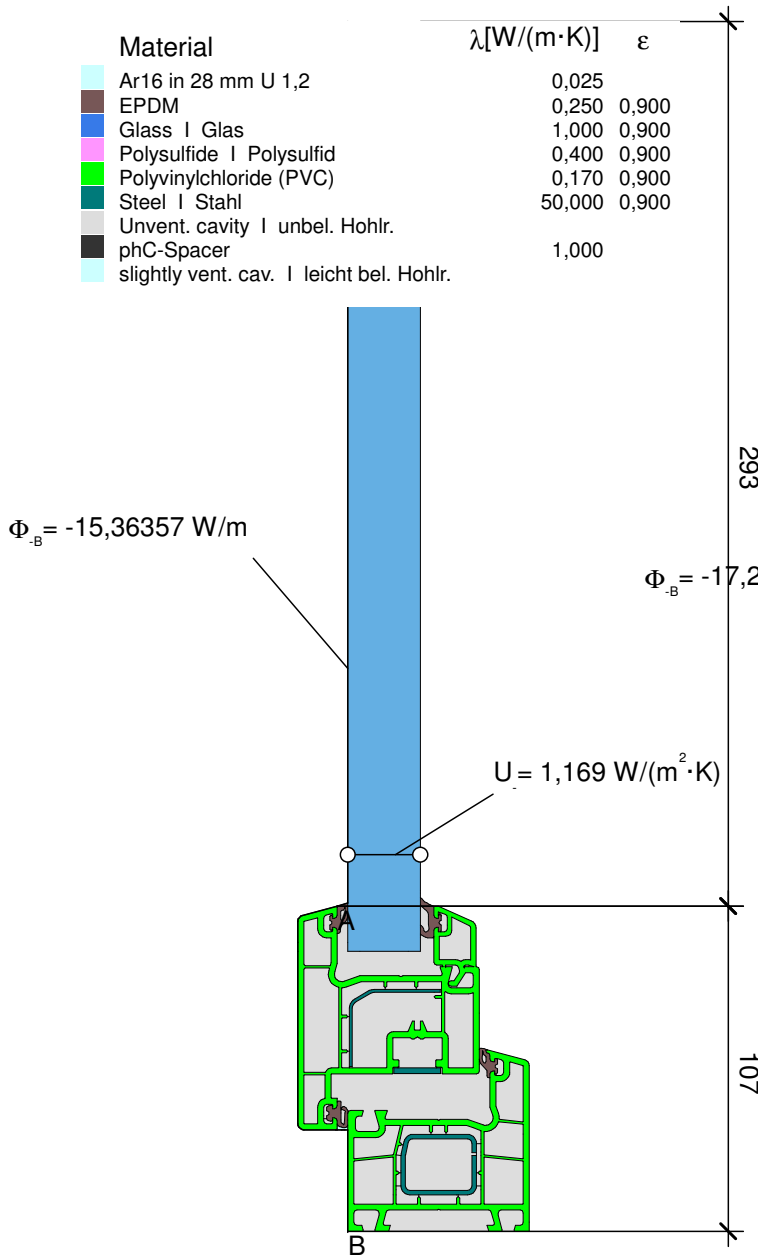
$$U_{f,A,B} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{16,988}{30,000} - 1,349 \cdot 0,293}{0,108} = 1,598 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



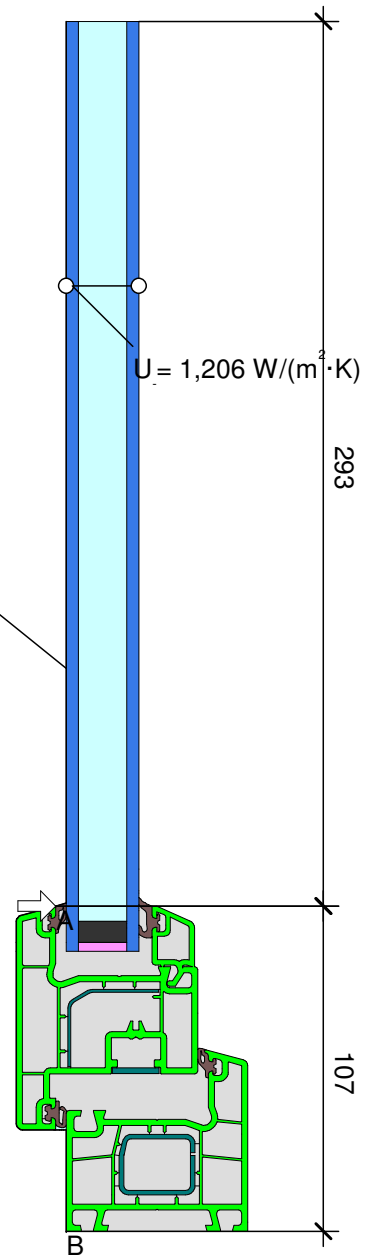
$$\psi_A = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g \cdot b_g - U_f \cdot b_f = \frac{30,565}{30,000} - 2,780 \cdot 0,293 - 1,598 \cdot 0,108 = 0,034 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$



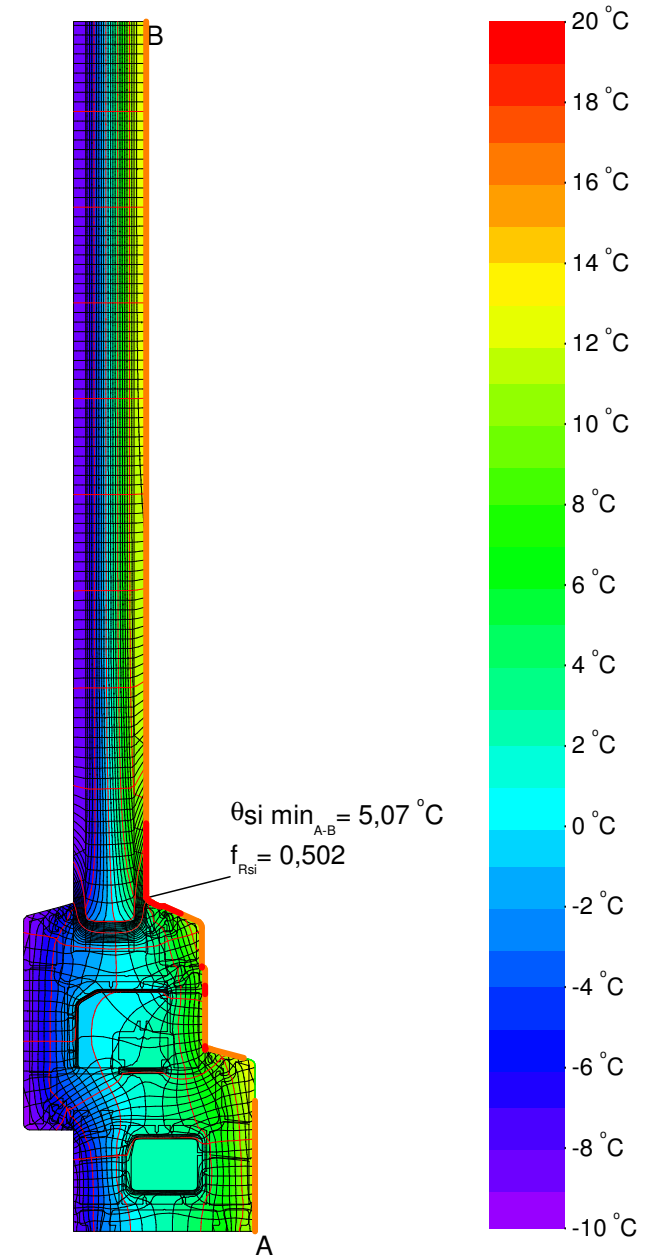
Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
Ar16 in 28 mm U 1,2	0,025	
EPDM	0,250	0,900
Glass   Glas	1,000	0,900
Polysulfide   Polysulfid	0,400	0,900
Polyvinylchloride (PVC)	0,170	0,900
Steel   Stahl	50,000	0,900
Unvent. cavity   unbel. Hohlr.		
phC-Spacer	1,000	
slightly vent. cav.   leicht bel. Hohlr.		



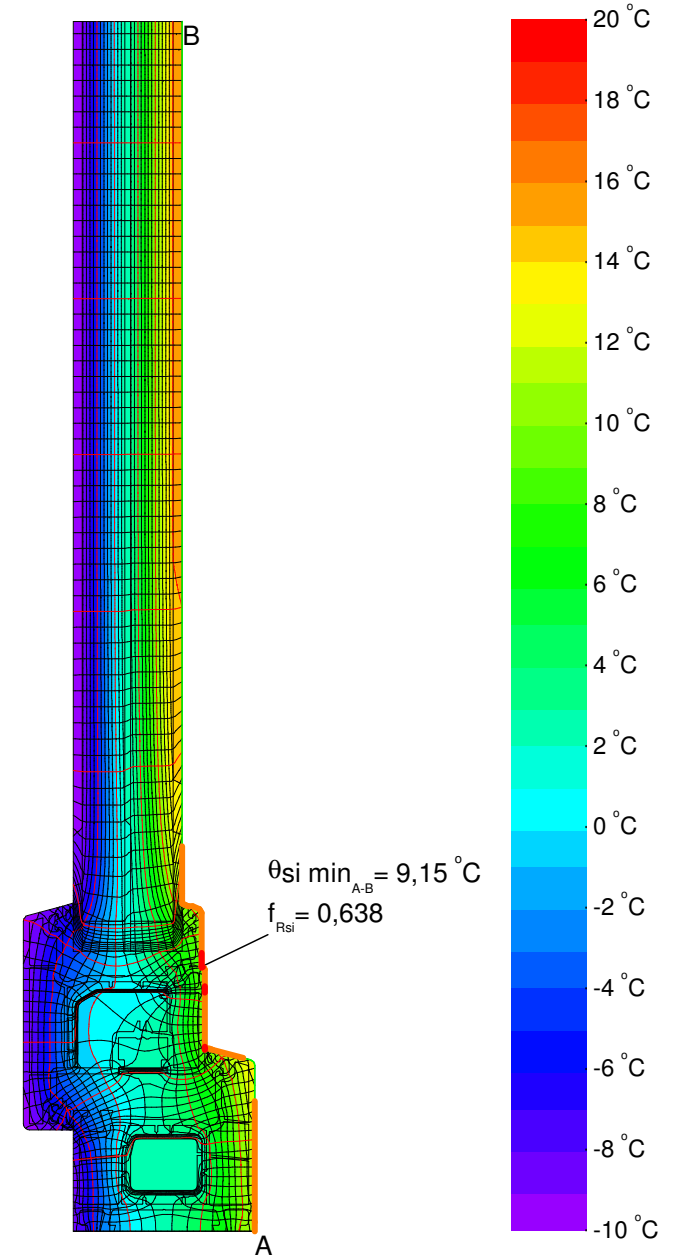
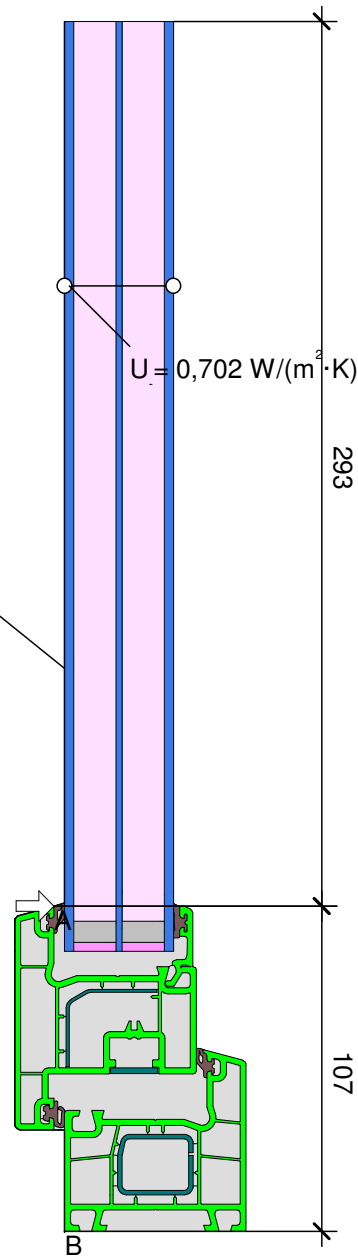
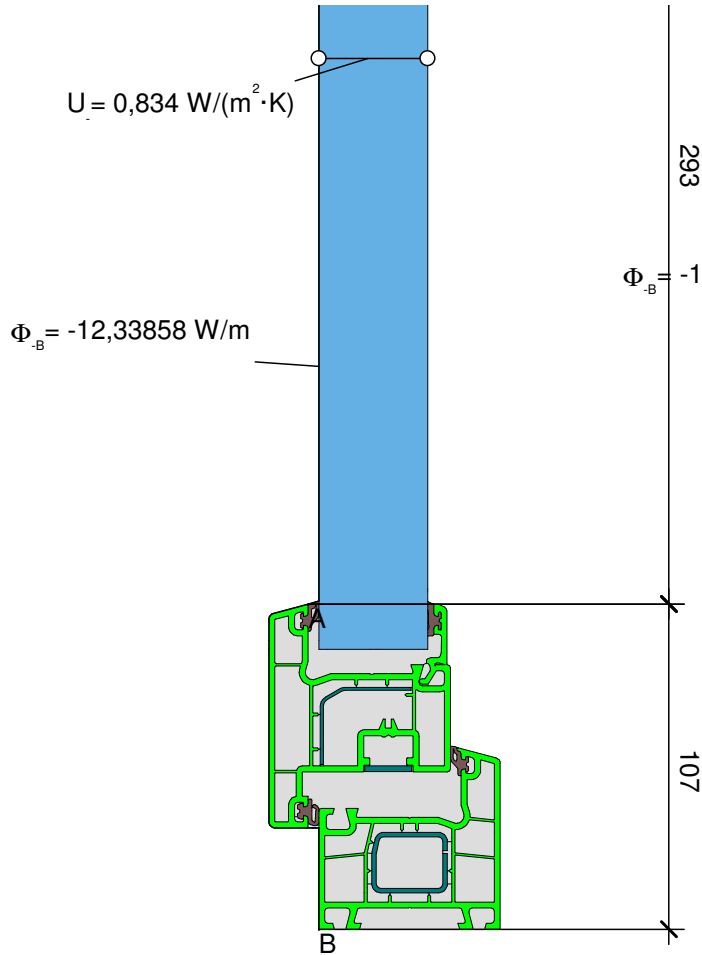
$$U_{fAB} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{15,364}{30,000} - 1,169 \cdot 0,293}{0,108} = 1,584 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



$$\psi_A = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g \cdot b_g - U_f \cdot b_f = \frac{17,227}{30,000} - 1,206 \cdot 0,293 - 1,598 \cdot 0,108 = 0,050 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

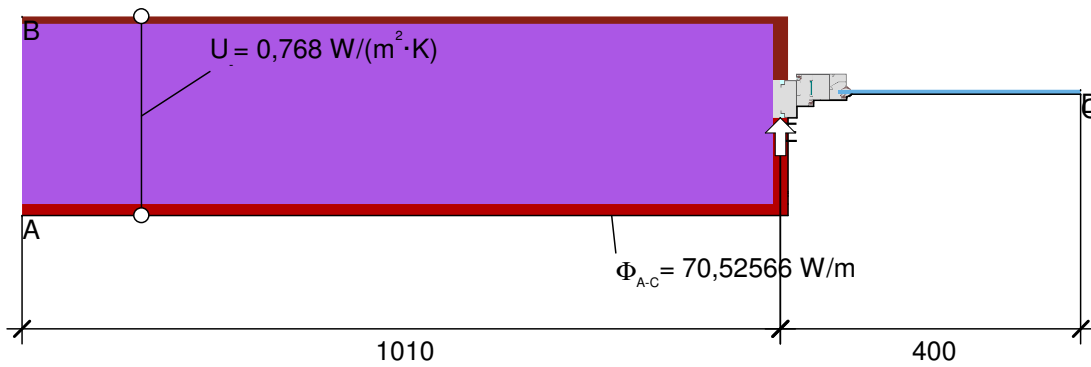


Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
Ar14 in 40 mm U 0,7	0,022	
EPDM	0,250	0,900
Glass   Glas	1,000	0,900
Polysulfide   Polysulfid	0,400	0,900
Polyvinylchloride (PVC)	0,170	0,900
Steel   Stahl	50,000	0,900
Unvent. cavity   unbel. Hohlr.		
phA-Spacer	0,200	
slightly vent. cav.   leicht bel. Hohlr.		



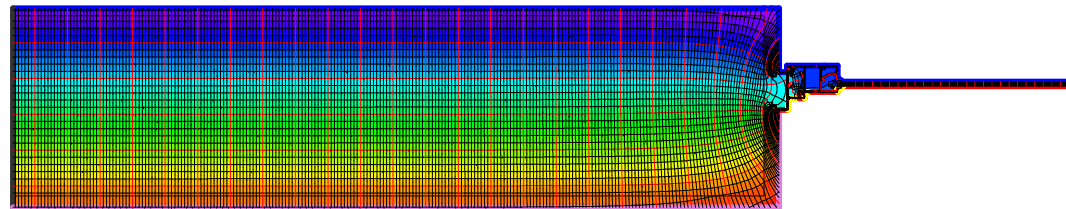
$$U_{fA,B} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{12,339}{30,000} - 0,834 \cdot 0,293}{0,108} = 1,556 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\psi_A = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g \cdot b_g - U_f \cdot b_f = \frac{12,097}{30,000} - 0,702 \cdot 0,293 - 1,556 \cdot 0,108 = 0,031 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

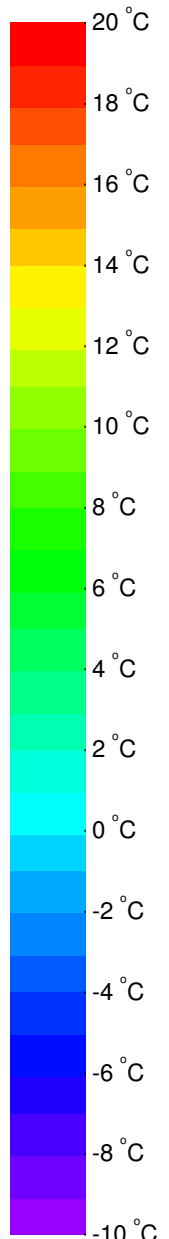


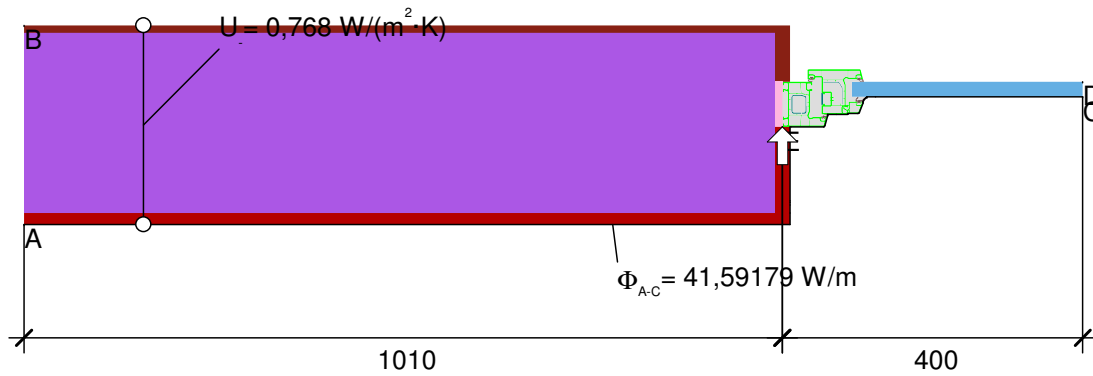
$$\psi_{A-E-C,*} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{70,526}{30,000} - 0,768 \cdot 1,010 - \frac{43,919}{30,000} = 0,111 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
Aluminum   Aluminium 10456	160,000	0,900
EPDM	0,250	0,900
Interior plaster   Gipsputz 10456	0,570	0,900
Organic compound plaster   Kunstharzputz 4108-4	0,700	0,900
Panel   Maske	0,035	0,900
Steel   Stahl	50,000	0,900
Undefined Material	0,010	
Unvent. cavity   unbel. Hohlr.		
Vollblöcke aus Leichtbeton mit LM21/DM, 450	0,220	0,900
slightly vent. cav.   leicht bel. Hohlr.		



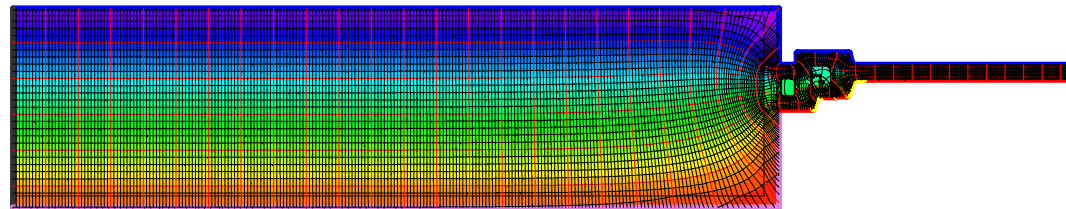
Randbedingung	$q$ [W/m²]	$\theta$ [°C]	$R$ [(m²·K)/W]	$\epsilon$
Adiabatic   Adiat	0,000			
Exterior   Außen		-10,000	0,040	
Interior   Innen		20,000	0,130	
Interior, frame, normal		20,000	0,130	
Interior, frame, reduced		20,000	0,200	
e 0,9 Cavity   Hohlraum				0,900



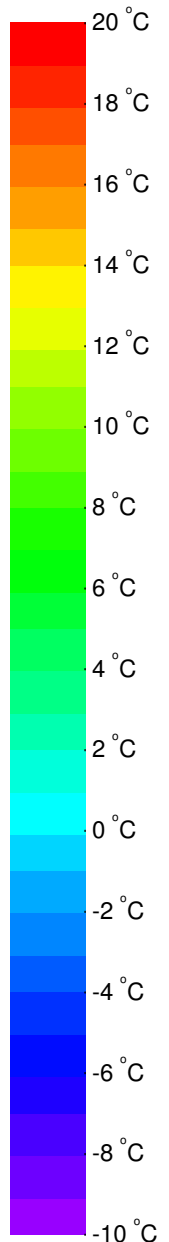


$$\psi_{A-E-C,*} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{41,592}{30,000} - 0,768 \cdot 1,010 - \frac{16,988}{30,000} = 0,044 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\epsilon$
EPDM	0,250	0,900
Interior plaster   Gipsputz 10456	0,570	
Organic compound plaster   Kunstharzputz 4108-4	0,700	
PU in-situ foam   PU-Ortschaum 040	0,040	0,900
Panel   Maske	0,035	0,900
Polyvinylchloride (PVC)	0,170	0,900
Steel   Stahl	50,000	0,900
Unvent. cavity   unbel. Hohlr.		
Vollblöcke aus Leichtbeton mit LM21/DM, 450	0,220	
slightly vent. cav.   leicht bel. Hohlr.		



Randbedingung	$q$ [W/m <sup>2</sup> ]	$\theta$ [°C]	$R$ [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	$\epsilon$
Adiabatic   Adiat	0,000			
Exterior   Außen		-10,000	0,040	
Interior   Innen		20,000	0,130	
Interior, frame, normal		20,000	0,130	
Interior, frame, reduced		20,000	0,200	
e 0,9 Cavity   Hohlraum				0,900



## Appendix 2: Table of results

	<b>1 Aluminum frame, single glazed</b>	<b>2 PVC frame single glazed</b>	<b>3 PVC frame double glazed</b>	<b>4 PVC frame double IGU</b>	<b>5 PVC frame triple IGU</b>
Cooling transmission [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>window</sub> *a)]	216	157	89	54	39
Cooling radiation [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>window</sub> *a)]	171	158	145	84	67
Cooling summ [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>window</sub> *a)]	387	316	234	138	106
<b>Energy demand</b>					
El. demand (heat pump, SPF 2,5) [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>window</sub> *a)]	155	126	94	55	43
GWP (0,7 kg CO <sub>2</sub> eq/kWh) [CO <sub>2</sub> eq/(m <sup>2</sup> <sub>window</sub> *a)]	108	88	66	39	30
<b>Energy costs [€/m<sup>2</sup><sub>window</sub>*a]</b>	12,39 €	10,10 €	7,49 €	4,40 €	3,40 €
<b>LC Energy costs (present value) [€/m<sup>2</sup><sub>window</sub>]</b>	375,59 €	306,18 €	227,01 €	133,42 €	103,08 €
<b>Investment costs [€/m<sup>2</sup><sub>window</sub>]</b>	45,00 €	70,00 €	84,00 €	107,00 €	127,00 €
<b>LC costs (40a) [€/m<sup>2</sup><sub>window</sub>]</b>	420,59 €	376,18 €	311,01 €	240,42 €	230,08 €