



Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen  
durch die Verwendung von  
blaugelb Trio**therm+**  
im Vergleich zu  
Montagewinkeln aus Stahl und zum  
Fenstereinbau bündig mit der Außenwand

Kurzstudie des Passivhaus Instituts im Auftrag von  
Meesenburg Großhandel KG

**Bericht**

April 2019

Autor  
Dr.-Ing. Benjamin Krick

## Inhalt

1	Einleitung.....	2
2	Methode .....	2
2.1	Ermittlung der thermischen Kennwerte des Fensters .....	2
2.2	Ermittlung der thermischen Kennwerte der Einbausituation.....	3
2.3	Ermittlung der Energie- und CO <sub>2</sub> -Einsparung .....	6
3	Ergebnisse .....	7

## 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. Für den Gebäudebereich ist das Passivhaus seit Jahrzehnten an dieser Stelle wegweisend denn es zeigt, dass Energie- und Kosteneinsparungen mit einer Erhöhung des Wohnkomforts regelmäßig Hand in Hand gehen.

Wichtig sind hier gut umsetzbare Lösungen auch im Detail. Eine solche Lösung ist das blaugelb Trio**therm**+, mit welchem sich Fenster schnell, sicher und sauber in der Dämmebene der Fassade montieren lassen.

In dieser durch die Passivhaus Institut GmbH im Auftrag der Meesenburg Großhandel KG erstellten Studie werden die Energieeinsparungen durch das blaugelb Trio**therm**+ im Vergleich zu Standard-Stahlwinkeln und zur Montage bündig zur Außenwand untersucht.

## 2 Methode

Zunächst wurden die thermischen Kennwerte eines Kunststofffensters mit Dreifach-Verglasung durch 2-dimensionale Wärmestromsimulation ermittelt. Sodann wurden nach gleicher Methode die Einbau-Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Fensters vor, beziehungsweise in einer Betonwand im Wärmedämmverbundsystem berechnet. Dabei wurde zwischen der Montage mit blaugelb Trio**therm**+, einer Montage mittels Stahlwinkeln, sowie der Montage bündig zur Außenwand unterschieden. Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten wurden zunächst ohne die Stahlwinkel bestimmt. Die zusätzlichen Verluste durch die Stahlwinkel wurden mittels 3D-Wärmestromsimulation bestimmt und zu den Verlusten addiert.

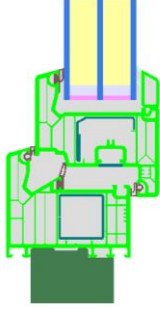
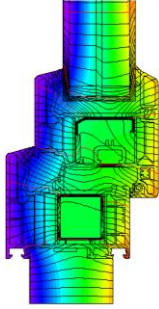

Aus den so ermittelten Kennwerten wurden in Anschluss die jährlichen Energie- sowie CO<sub>2</sub>-Einsparungen für unterschiedliche Klimate errechnet.

### 2.1 Ermittlung der thermischen Kennwerte des Fensters

Als Referenzrahmen wurden ein üblicher Kunststoffrahmen mit 3-fach Verglasung angenommen. Für die 3D-Wärmestromsimulation wurde dieser vereinfacht, jedoch mit gleichen thermischen Kennwerten modelliert (vgl. Tabelle 1).

Alle 2D-Berechnungen wurden mit Infomind Flixo 8.1 pro durchgeführt, vgl. Anhang 1. Die 3D-Berechnungen wurden mit Physibel Solido erstellt.

**Tabelle 1:** Thermische Kennwerte des verwendeten Fensterrahmens und des vereinfachten Modells.  $U_w$  bezieht sich auf eine Fenstergröße von 1,23\*1,38 m.

Model			
Fensterschnitt	Unten Modell   Isothermendarstellung	Oben Modell   Isothermendarstellung	Vereinfachtes Modell
$b_f$ [mm]	154	124	124
$U_f$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,08	1,15	1,15
$\Psi_g$ [W/(mK)]	0,025	0,025	
$U_g$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,52		
$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,795		

## 2.2 Ermittlung der thermischen Kennwerte der Einbausituation

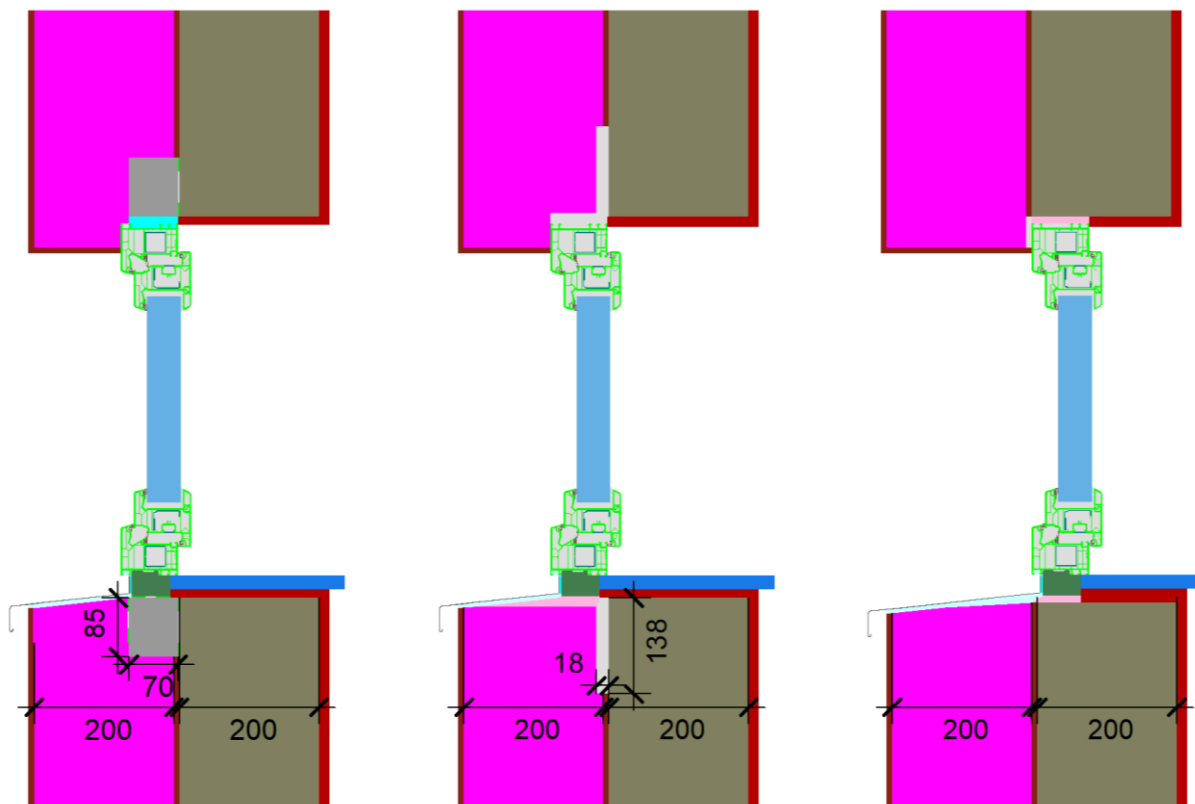
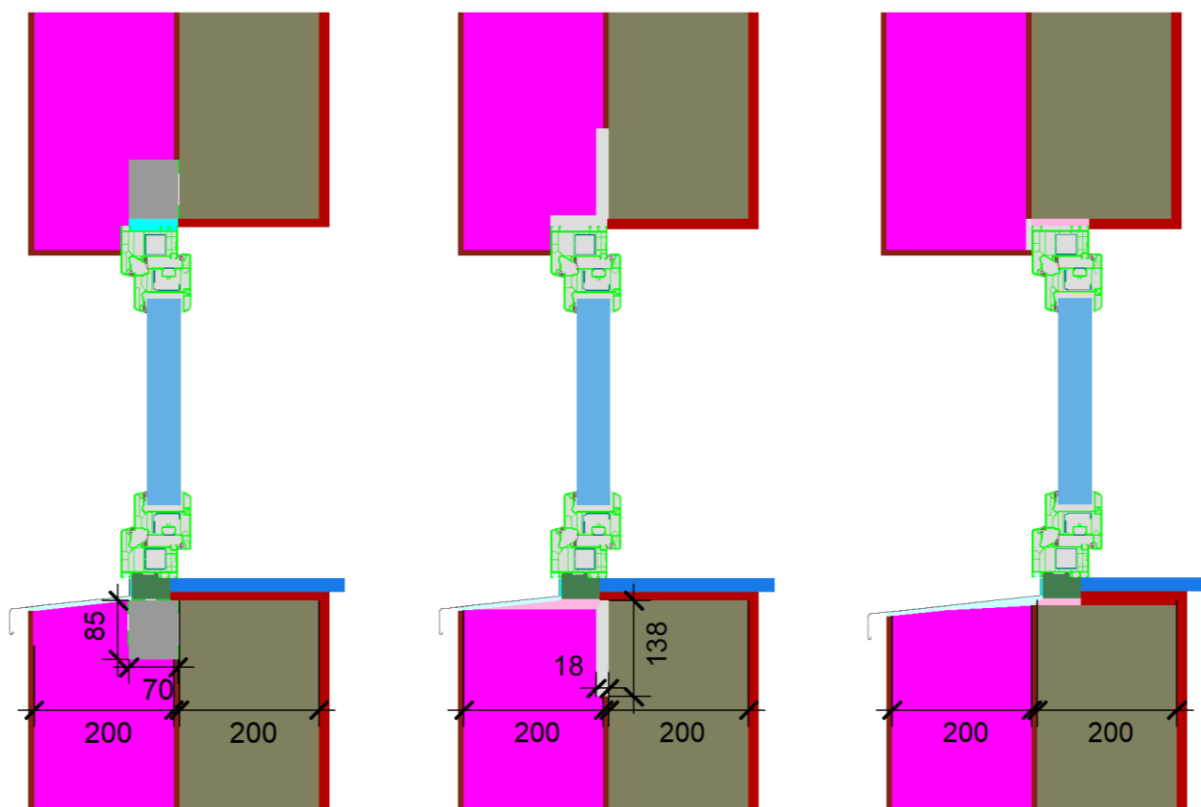


Abbildung 1 zeigt die durch den Auftraggeber vorgegebenen Einbausituationen. Die Wand besteht aus 20 cm Stahlbeton mit 20 cm Dämmung aus EPS (0,032 W/(mK)). Der U-Wert beträgt 0,15 W/(m<sup>2</sup>K). Für die Einbausituation unten mit blaugelb Trio**therm**+ wurde ein Wärmebrückenverlustkoeffizient von 0,029 W/(mK), für die Einbausituation oben 0,004

W/(mK) ermittelt. Diese guten Kennwerte werden durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des blaugelb Trio**therm**+ sowie durch die gute Lage des Fensters in der Dämmebene erreicht. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Eingebauten Fensters beträgt damit 0,82 W/(m<sup>2</sup>K). Das für Passivhausfenster geforderte Behaglichkeitskriterium für die Klimazone kühl-gemäßigt von 0,85 W/(m<sup>2</sup>K) wird erreicht.

Für den gefalzten Stahlwinkel muss die Wärmedämmung ausgeklinkt werden. Dies wurde bei der Modellierung berücksichtigt. Der hieraus resultierende Lufthohlraum verschlechtert den Wärmebrückenverlustkoeffizienten oben auf 0,019 W/(mK). Unten kann der entstehende Hohlraum teilweise mit Bauschaum gefüllt werden, der Wärmebrückenverlustkoeffizient verbessert sich auf 0,021 W/(mK), jeweils noch ohne Berücksichtigung der Stahlwinkel.

Die Einbausituation bündig zum Mauerwerk ist heute noch weit verbreitet. Wie die Berechnungen zeigen, ist sie thermisch sehr ungünstig. Für die Einbausituation unten wurde ein Wärmebrückenverlustkoeffizient von 0,162 W/(mK) ermittelt. Er ist damit knapp 6 mal höher, als mit blaugelb Trio**therm**+. Der Grund hierfür ist, dass das gut leitende Mauerwerk unterhalb der Fensterbank sehr stark auskühlen kann. Außerdem entsteht dort eine massive Wärmebrücke. In der gewählten Position überschneiden sich die Dämmebenen der Wand und des Fensters nicht mehr. Auch dieser geometrische Effekt vergrößert den Wärmeverlust, wie auch am Anschluss oben beobachtet werden kann. Trotz Überdämmung des Fensterrahmens beträgt die Wärmebrücke hier 0,058 W/(mK) und ist damit über 14 mal höher, als mit blaugelb Trio**therm**+. Der Wärmedurchgangskoeffizient des eingebauten Fensters beträgt damit 1,04 W/(m<sup>2</sup>K). Das für Passivhausfenster geforderte Behaglichkeitskriterium für die Klimazone kühl-gemäßigt von 0,85 W/(m<sup>2</sup>K) wird weit verfehlt.



**Abbildung 1:** 2D-Modelle der Einbausituationen. Links mit blaugelb Trio**therm**+. Mitte für den Einbau mit Stahlwinkeln. Rechts bündig mit der Wand.

Im Falle des Einbaus mit Stahlwinkeln wird das Fenster unten und seitlich jeweils von 3, oben von zwei Stahlwinkeln gehalten. Abbildung 2 zeigt den angenommenen Winkel (Materialstärke 2 mm, Falztiefe 12 mm, Schenkellänge 140/60 mm, Breite 80 mm). Bei diesen Winkeln handelt es sich um punktuelle Wärmebrücken, die mittels 3D-Wärmestromsimulation bestimmt werden können. Für den Winkel unten wurde ein punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient von 3,96 mW/K, für seitlich und oben 0,397 mW/K berechnet. Bezogen auf die Anzahl und den Abstand der Winkel ergibt sich hieraus eine zusätzliche längebezogene Wärmebrücke von 0,0097 W/(mK) unten und 0,0076 W/(mK) seitlich und oben.

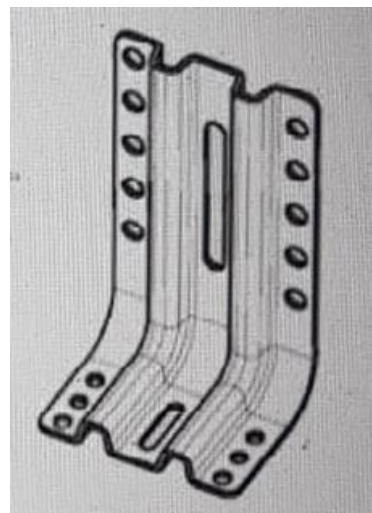


Abbildung 2: Angenommener Stahlwinkel

Hieraus errechnet sich für den Anschluss unten eine Gesamt-Wärmebrücke von 0,031 W/(mK) und 0,027 für den Anschluss oben. Der Wärmedurchgangskoeffizient des eingebauten Fensters beträgt damit 0,88 W/(m<sup>2</sup>K). Die Verwendung der Stahlwinkel anstelle des blaugelb Triotherm+ führt zu einer Erhöhung des U-Wertes des Fensters im eingebauten Zustand von 0,06 W/(m<sup>2</sup>K). Das für Passivhausfenster geforderte Behaglichkeitskriterium für die Klimazone kühl-gemäßigt von 0,85 W/(m<sup>2</sup>K) wird verfehlt. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse zusammen. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Modelle für die 3D-Wärmestromsimulation.

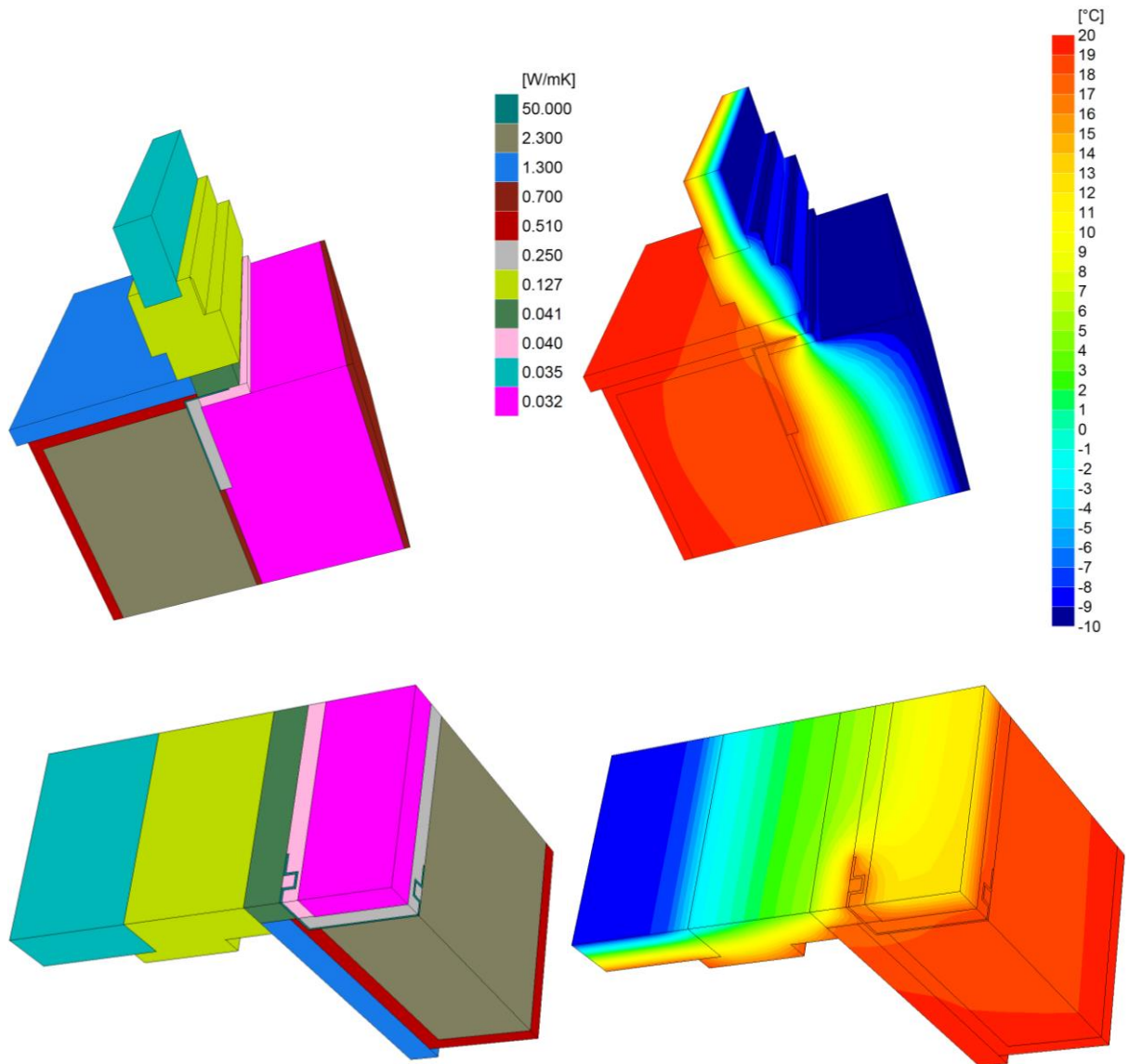


Abbildung 3: Anschluss unten: Ausschnitte aus den 3D-Modellen. Links: Materialien, Rechts Isothermendarstellung.

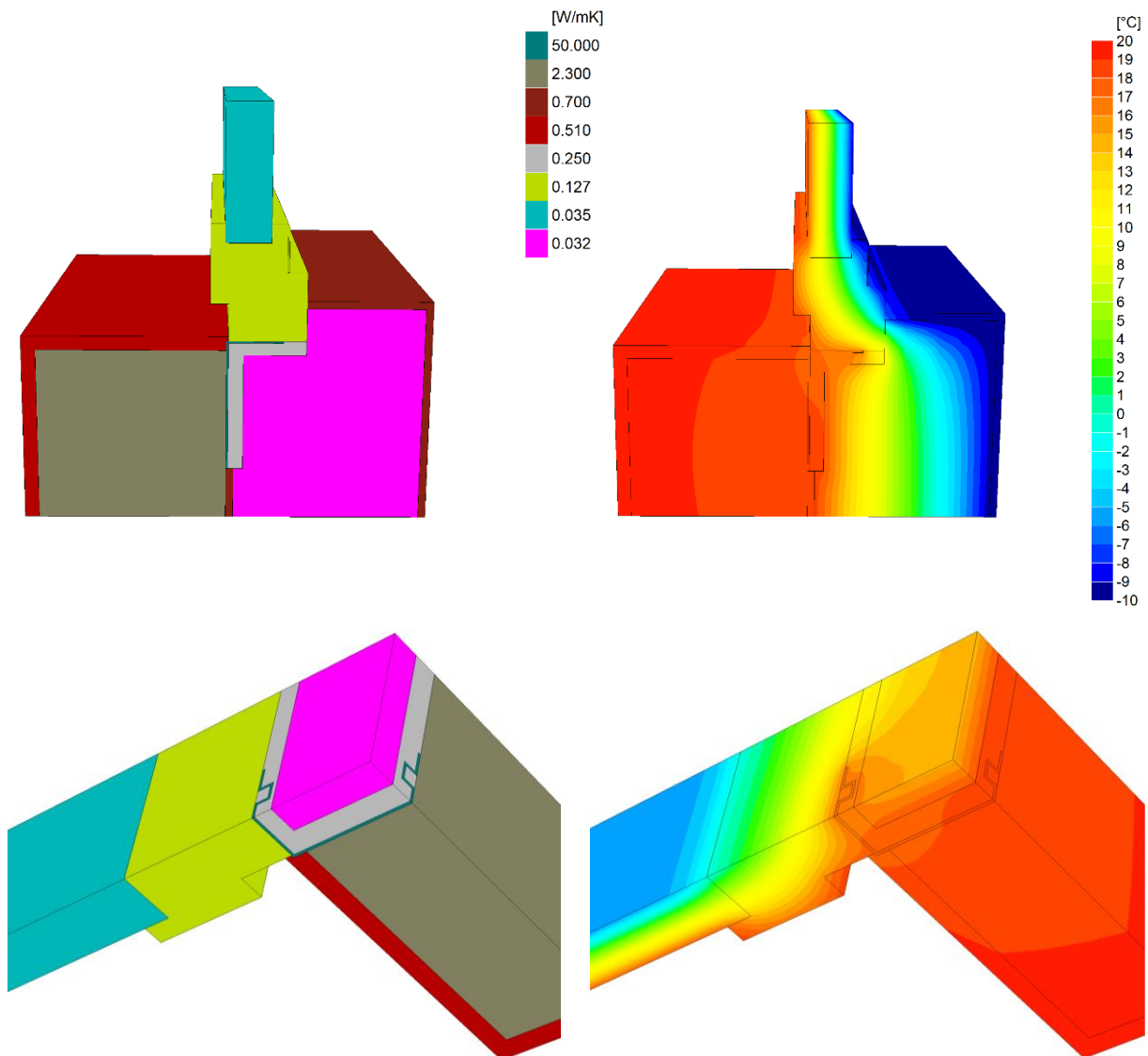


Abbildung 4: Anschluss seitlich und oben: Ausschnitte aus den 3D-Modellen. Links: Materialien, Rechts Isothermendarstellung

### 2.3 Ermittlung der Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung

Zur Ermittlung der Energieeinsparung wurden die mittleren Wärmebrückenverlustkoeffizienten mit der Gradtagzahl des jeweiligen Standortes multipliziert und im Anschluss die Differenz gebildet.

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung wurde dieser Wert mit dem CO<sub>2</sub>-Faktors des Energieträgers Gas (250 g CO<sub>2</sub>eq/kWh<sub>End</sub> lt. GEMIS) und einer Anlagenaufwandszahl von 1,2 multipliziert.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Wärmestromberechnungen. Während sich der U-Wert des Fensters durch die Einbauwärmebrücke bei Verwendung von blaugelb Triotherm+ nur um 0,03 W/(m²K) von 0,79 W/(m²K) auf 0,82 W/(m²K) erhöht, steigt er durch die Stahlwinkel um 0,09 W/(m²K) auf 0,88 W/(m²K). Wird das Fenster bündig mit der Außenwand montiert (eine heute noch immer häufig anzutreffende Ausführung, erhöht sich der Wärmedurchgangskoeffizient gar um 0,24 W/(m²K) auf 1,04 W/(m²K). Die ermittelten Einbauwärmebrücken sind auf andere, thermisch gleichwertige Fensterrahmen übertragbar, wenn außen kein Metall überdämmt wird.

Tabelle 2: Ergebnisse der Wärmestromberechnungen

Description	Uf value [W/(m²K)]		Frame Width [m]		Glazing Edge $\Psi$ -value [W/(mK)]		Temperature factor (min) $f_{Rsi=0,25}$ [-]	$U_w$ @ $U_g=0,52$ [W/(m²K)]	Installation $\Psi$ -value [W/(mK)]		$U_{w, installed}$ [W/(m²K)]
	Side, head	Sill	Side, head	Sill	Side, head	Sill			Sill	Side, head	
1. PVC-window with blaugelb Triotherm+	1,15	1,08	0,124	0,154	0,025	0,025	0,70	0,79	0,029	0,004	<b>0,82</b>
2. PVC window with steel angel	1,15	1,08	0,124	0,154	0,025	0,025	0,70	0,79	0,031	0,027	<b>0,88</b>
3. PVC window in flush	1,15	1,08	0,124	0,154	0,025	0,025	0,70	0,79	0,162	0,058	<b>1,04</b>

Drawings and material data were provided by the manufacturer. The sole responsibility for the provided information lies with the manufacturer.  
\*  $\Psi$ -values and temperature factors were carried out @  $U_g = 0,52$  W/(m²K)

Description and evaluation
PVC window frame with Swisspacer Ultimate, $U_g = 0,52$ W/(m²K) installed in an EIFS-wall.
1. Fixed by Meesenburg blaugelb Triotherm+ 70*85 system. The combination fullfills the certification criteria for cool, temperate climate.
2. Fixed by steel angels. The calculation (combination of 2D and 3D thermal heat flux analysis) is based on a practice-related installation with steel angels and the insulation under normal conditions. Under this circumstances, the criterion is missed.
3. Fixed in flush with the wall. This situation is common use, the thermal bridge is massive, the criterion is missed.

In Tabelle 3 sind die Einsparungen an Heizwärme und CO<sub>2</sub> für die Standorte München/ Deutschland, Moskau/ Russland, Peking/ China und Almaty/ Kasachstan dargestellt.

Tabelle 3: Darstellung der Ergebnisse. Einsparung bezogen auf 1 m Einbaufuge.

Klima		München DE	Moskau RU	Peking CN	Almaty KZ
Heizgradstunden		92	116	75	91
Mittlerer $\psi$ -Wert	blaugelb Triotherm+	0,010			
	Stahlwinkel	0,028			
	Bündig	0,082			
Differenz	blaugelb Triotherm+ - Stahlwinkel	0,018			
	blaugelb Triotherm+ - Bündig	0,072			
Einsparung Heizwärme	blaugelb Triotherm+ - Stahlwinkel	1,64	2,07	1,34	1,62
	blaugelb Triotherm+ - Bündig	6,62	8,34	5,39	6,55
Einsparung CO <sub>2</sub>	blaugelb Triotherm+ - Stahlwinkel	0,49	0,62	0,40	0,49
	blaugelb Triotherm+ - Bündig	1,99	2,50	1,62	1,96