



### Auftraggeber:

Ralmont GmbH  
Pavelsbacherstr. 17  
92361 Berggau

### Bauvorhaben/Kunde/Projekt:

Wärmetechnisches Verhalten von Fensterbrüstungen mit Dämm-Keil „RALMO FBA“

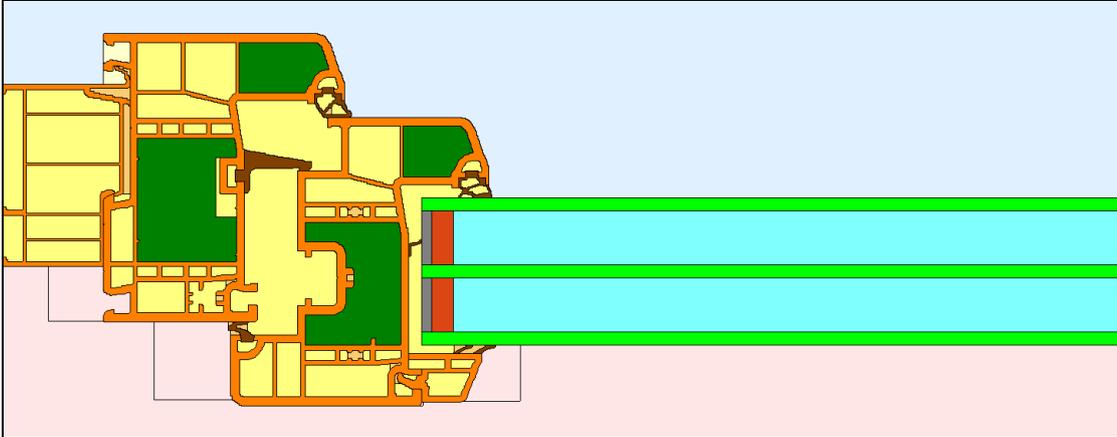
### Inhalt:

- $\Psi_{\text{Einbau}}$ -Berechnungen für Fenster nach DIN EN ISO 10211
- Berechnung von Isothermen, Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren  $f_{\text{Rsi}}$  nach DIN 4108

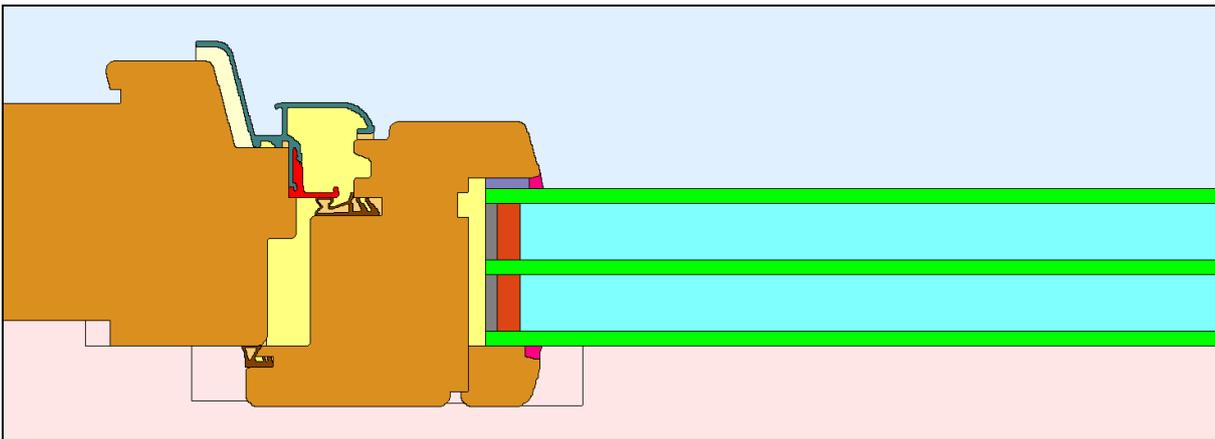
### Gegenstand:

- Fenster-Profile:
  - Gedämmtes PVC-Profil, 86 mm Bautiefe, 145 mm Ansichtsbreite (inkl. Solbank)
  - Holz-Profil aus Kiefer, 80 mm Bautiefe, 150 mm Ansichtsbreite
  - Holz-Alu-Profil aus Kiefer, 80 mm Bautiefe, 125 mm Ansichtsbreite
- Verglasung: 44 mm Dreischeiben-Isolierglas (4-16-4-16-4),  $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 20 mm Profil-Einstand (PVC-Profil), 15 mm Profil-Einstand (Holz- und Holz-Alu-Profil)
- Isolierglasrandverbund: Swisspacer Ultimate mit 3 mm Sekundärdichtung (Polysulfid oder höherwertig)
- Baukörperanschluss:
  - Monolithisches Mauerwerk, Fenster mittig im Mauerwerk
    - 365 mm Liapor ( $\lambda = 0,10 \text{ W/mK}$ )
    - 365 mm HLZ ( $\lambda = 0,33 \text{ W/mK}$ )
    - 240 mm Kalksandstein ( $\lambda = 0,79 \text{ W/mK}$ )
  - Mauerwerk mit WDVS, Fenster mit Mauerwerk außen bündig
    - 240 mm Kalksandstein + 140 mm WDVS ( $\lambda = 0,79 \text{ W/mK} + \lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ )
    - 240 mm Stahlbeton + 140 mm WDVS ( $\lambda = 2,3 \text{ W/mK} + \lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ )
  - Holzrahmenwand, Fenster mit Gefachdämmung außen bündig
    - 160 mm Mineralwolle + 80 mm Putzträger ( $\lambda = 0,035 \text{ W/mK} + \lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ )
    - + 60 mm gedämmte Installationsebene innen mit Gipskarton
- Dämm-Keil „RALMO FBA“ 20 mm Anfangsdicke an Außenkante Mauerwerk und 5° Steigung ( $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$ )
- Innen-Fensterbank mineralisch ( $\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$ )

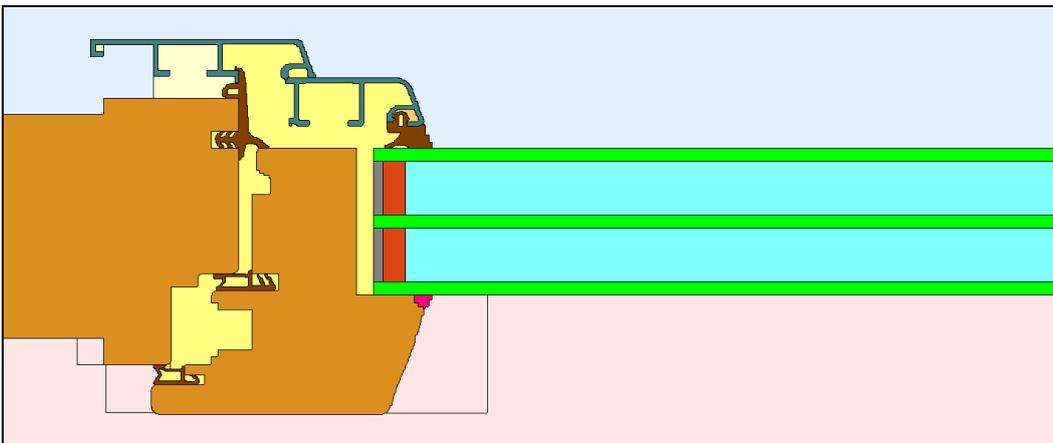
## Fensterprofile:



PVC-Profil mit gedämmten Hohlkammern, keine Armierung, Solbankprofil aus PVC, 86 mm Bautiefe von BLR und FLR



Holz-Profil mit thermisch getrennter Regenschiene, 80 mm Bautiefe von BLR und FLR



Holz-Alu-Profil, 80 mm Bautiefe von BLR und FLR

### Material:

	Klima-Randbedingungen	$R_s / R$ (m <sup>2</sup> K/W)	$\theta$ (°C)	10077-2 konform
	Luft außen	0,040	0,0 / -5,0	X / -
	Luft innen (Standard an Fenster und Glas)	0,13	20,0	X
	Luft innen (reduzierte Konvektion und Strahlung an Fenster und Glas)	0,20	20,0	X
	Luft innen (Standard an Wand und Leibung)	0,25	20,0	X
	Allgemeines	$\lambda^*$ (W/mK)		10077-2 konform
	unbelüfteter Hohlraum	nach EN ISO 10077-2		
	unbelüfteter Hohlraum kleiner 2 mm			
	leicht belüfteter Hohlraum			
	Material	$\lambda^*$ (W/mK)		10456 konform
	Nadelholz im Fensterprofil, $R_d \leq 500 \text{ kg/m}^3$ (z.B. Kiefer, Lärche, Meranti)	0,13		X
	Hart-PVC	0,17		X
	Aluminium beschichtet	160		X
	EPDM	0,25		X
	Moosgummi	0,050		X
	Silikon rein	0,35		X
	ABS (Acrylnitril/Butadien/Styrol)	0,20		X
	Liapor	0,10		-
	HLZ	0,33		-
	Kalksandstein	0,79		-
	Stahlbeton	2,3		-
	Innen-Fensterbank mineralisch	2,1		-
	Konstruktionsvollholz, $R_d \leq 450 \text{ kg/m}^3$	0,12		X
	Dämm-Keil „RALMO FBA“	**0,031		-
	Dämmung im PVC-Fensterprofil	**0,031		-
	Dämmung 035	**0,035		-
	Dämmung 045	**0,045		-
	OSB-Platte	0,13		X
	Gipskarton	0,25		X
	Putz innen	0,35		X
	Putz außen	0,70		X
	Innenfensterbank (Holzwerkstoffplatte $R_d=600 \text{ kg/m}^3$ )	0,14		X
	Float	1,0		X
	Gas im SZR	nach EN ISO 673		
	Polysulfid (Sekundärdichtung, 3 mm)	0,40		X
	Saint-Gobain Glass Solutions Swisspacer Ultimate 6,5 mm, 2-Box-Modell	0,14		X

\*Für wärmetechnische Nachweise sind Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeiten von Baustoffen nach EN ISO 10456 zu verwenden. Die hier angegebenen Wärmeleitfähigkeiten sind Bemessungswerte, wenn diese nicht anders gekennzeichnet sind.

Mit „\*\*“ gekennzeichnete Wärmeleitfähigkeiten sind Angaben des Auftraggebers. Prüfzeugnisse für diese Kennwerte können beim Hersteller eingesehen werden.

### Annahmen/Hinweise:

- Die vorliegenden Ergebnisse haben nur Gültigkeit für die dargestellten Geometrien und können nicht auf davon abweichende Ausführungen übertragen werden. Die Geometrien entsprechen den vom Auftraggeber übermittelten Zeichnungen und Angaben.
- Punktuelle Wärmebrücken wie Befestigungswinkel, Verschraubungen etc. sind in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt.
- Hohlräume in den Profilen nach EN ISO 10077-2 wurden mit anisotropen Wärmeleitfähigkeiten gerechnet.

### Isothermen:

-5°C bis 20°C in 1°C-Schritten

**Rot:**                **13°C-Isotherme (schimmelpilzkritische Temperatur bei 20°C, 50%)**

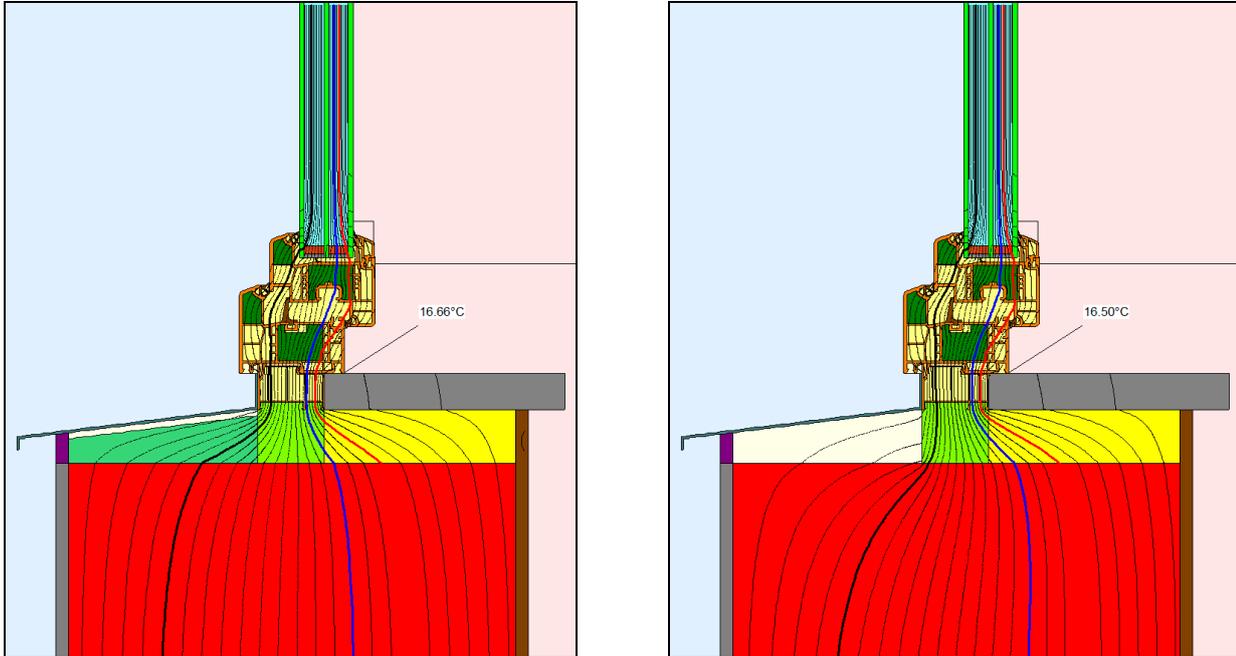
**Blau:**               **10°C-Isotherme (Taupunkttemperatur bei 20°C, 50%)**

**Schwarz:**        **0°C-Isotherme (Gefrierpunkt)**

### Normative Verweise:

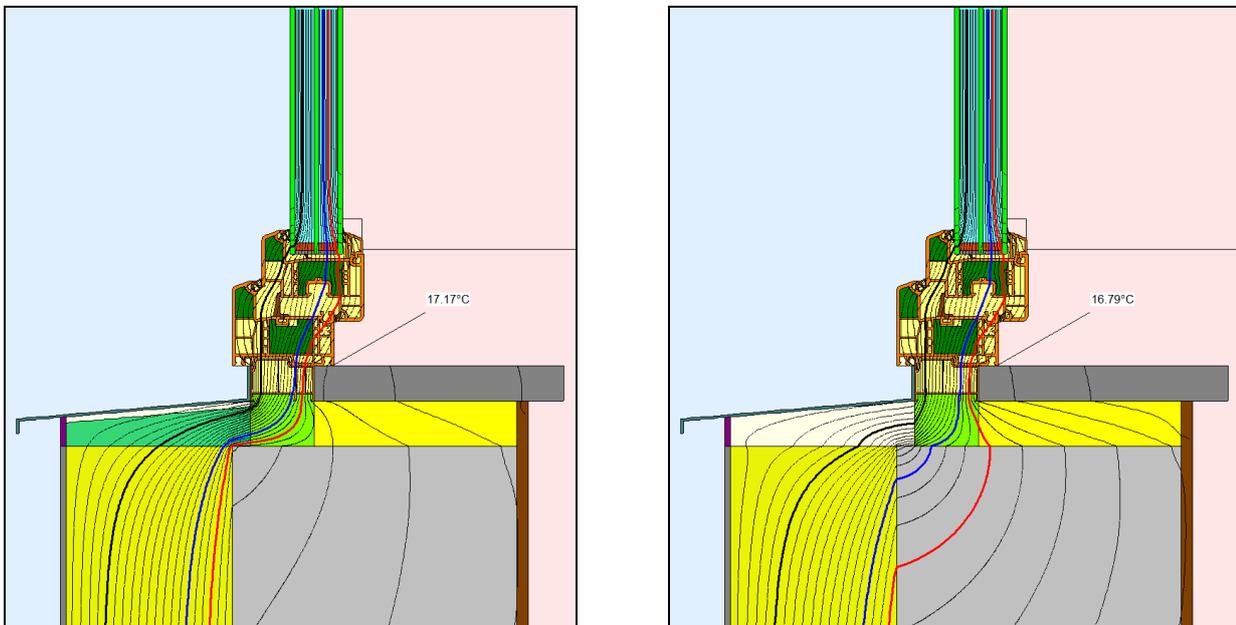
- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV) vom 01.05.2014
- DIN 4108-2:2013-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108-3:2014-11, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele
- DIN 4108-4:2013-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte
- DIN EN ISO 10077-1:2010-05, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren
- DIN EN ISO 10077-2:2012-06, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren
- DIN EN 673:2011-04, Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)
- EN ISO 10211:2008-04, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen
- EN ISO 6946:2008-04, Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007); Deutsche Fassung EN ISO 6946:2007
- ift-Richtlinie WA-08/3:2015-05: Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter, Teil 2 – Ermittlung des repräsentativen  $\Psi$ -Wertes für Fensterrahmenprofile
- DIN EN ISO 10456:2010-05, Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte

### **PVC-Profil in monolithischem Mauerwerk**



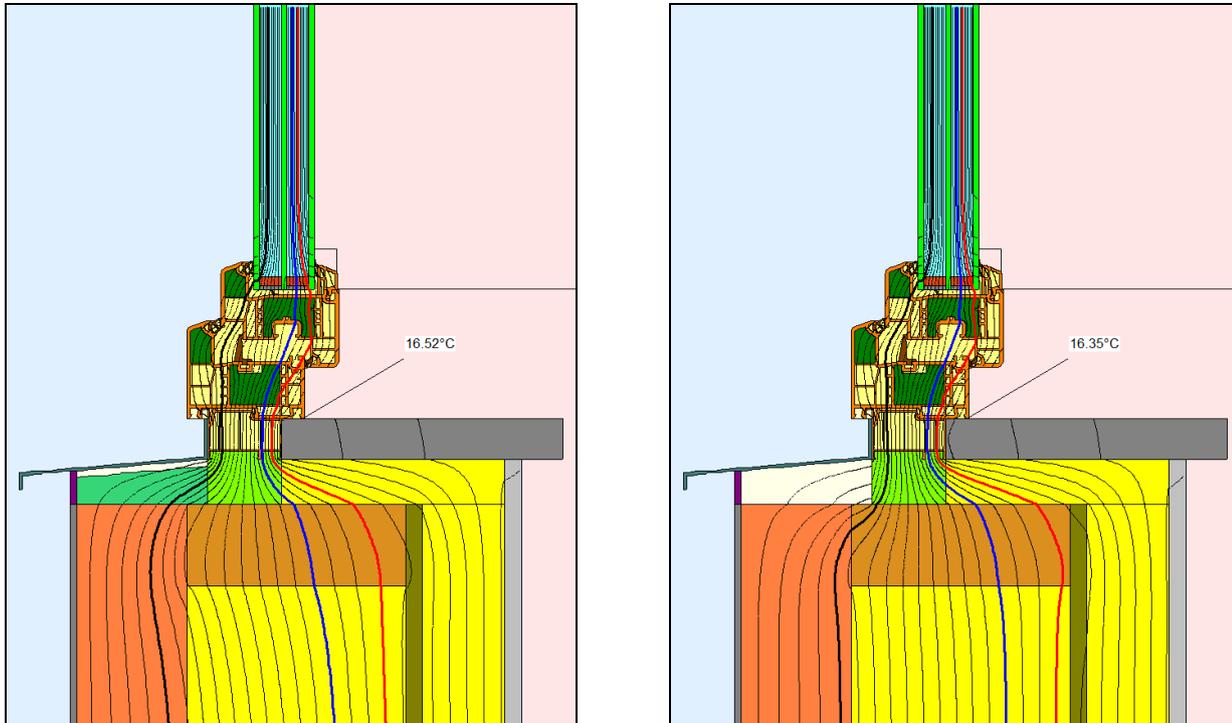
Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei  $-5^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### **PVC-Profil in außengedämmtem Mauerwerk**



Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei  $-5^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### PVC-Profil in Holzrahmenwand



Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei -5°C Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Ergebnis-Übersicht PVC-Profil:

Mauerwerk	$\Theta_{min}$		$f_{Rsi}$		$\Psi_{Einbau}$		
	[°C]		[-]		[W/mK]		
	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	$\Psi_{ref., DIN 4108 Bbl. 2}$
<b>monolithisch</b>							
Liapor 0,10	16,7	16,5	0,87	0,86	-0,001	0,010	≤ 0,07
HLZ 0,33	16,4	16,2	0,85	0,85	0,004	0,025	
Kalksandstein 0,79	15,8	15,7	0,83	0,83	0,015	0,031	
<b>WDVS</b>							
Kalksandstein 0,79	17,2	16,8	0,89	0,87	0,028	0,11	≤ 0,14
Stahlbeton 2,3	17,3	17,0	0,89	0,88	0,035	0,17	
<b>Holzrahmenwand</b>							
	16,5	16,4	0,86	0,85	0,012	0,020	≤ 0,04

$\Theta_{min}$ : minimal raumseitige Oberflächentemperatur bei -5°C außen

Anforderung:  $\geq 9,3^\circ$  zur Vermeidung von Oberflächentauwasser nach DIN 4108-3

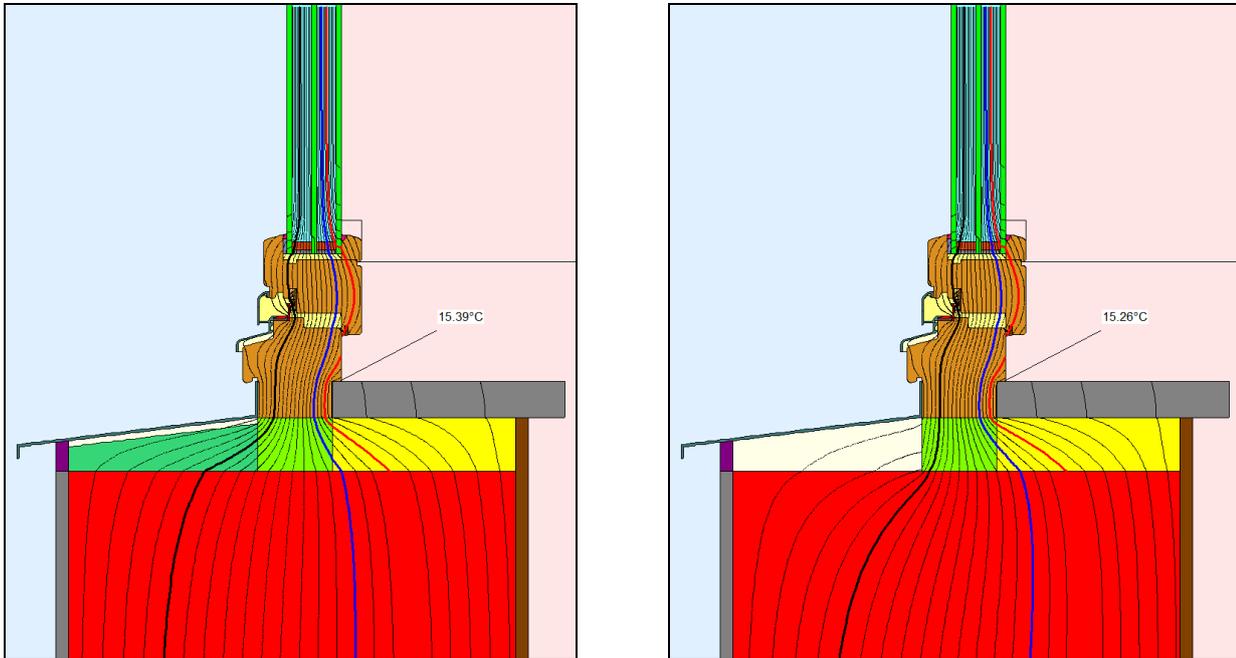
$f_{Rsi}$ : Temperaturfaktor

Anforderung:  $\geq 0,70$  zur Vermeidung von Schimmelpilz nach DIN 4108-2

$\Psi_{Einbau}$ : linearer Wärmedurchgangskoeffizient des Fensteranschlusses

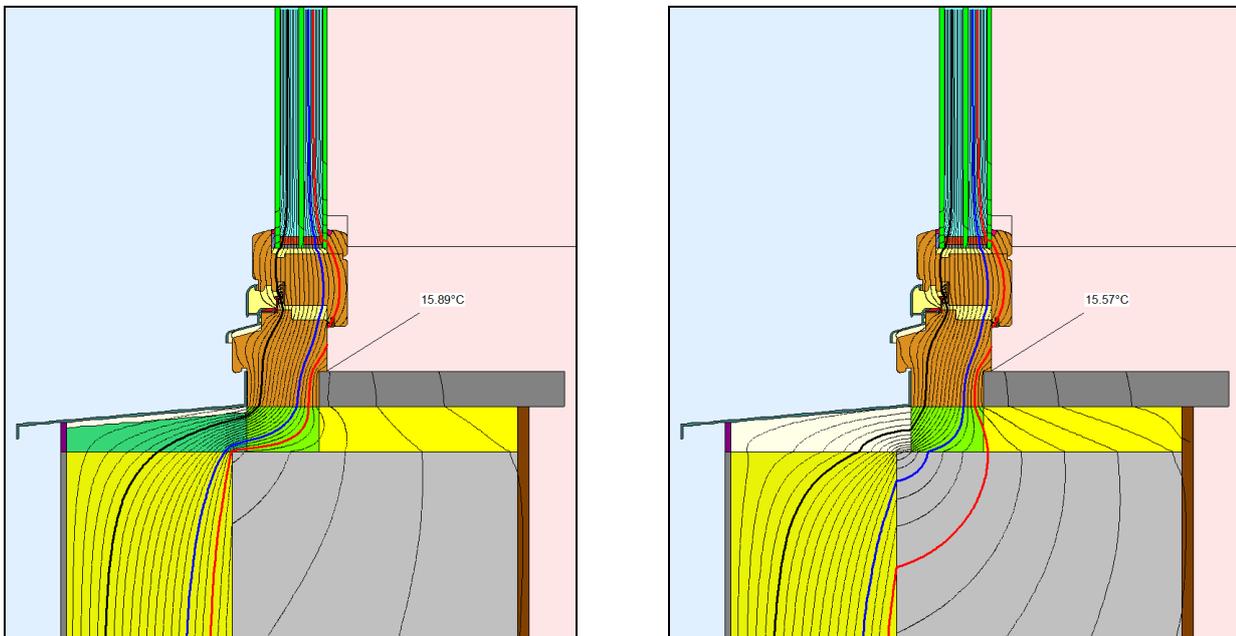
Anforderung:  $\leq \Psi_{ref., DIN 4108 Bbl. 2}$ , wenn Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl. 2 gefordert ist.

### Holz-Profil in monolithischem Mauerwerk



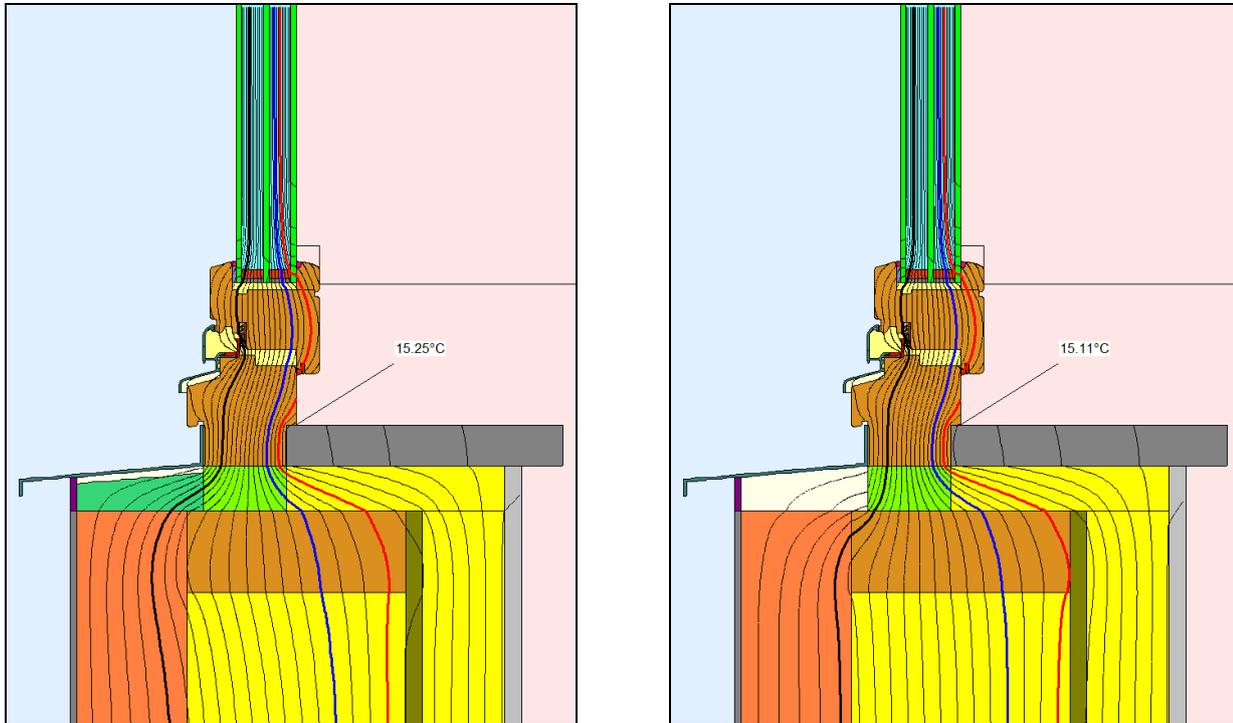
Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei  $-5^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Holz-Profil in außengedämmtem Mauerwerk



Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei  $-5^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Holz-Profil in Holzrahmenwand



Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei -5°C Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Ergebnis-Übersicht Holz-Profil:

Mauerwerk	$\Theta_{min}$		$f_{Rsi}$		$\Psi_{Einbau}$		
	[°C]		[-]		[W/mK]		
	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	$\Psi_{ref.}$ , DIN 4108 Bbl. 2
<b>monolithisch</b>							
Liapor 0,10	15,4	15,3	0,82	0,81	0,010	0,020	≤ 0,07
HLZ 0,33	15,2	15,0	0,81	0,80	0,014	0,034	
Kalksandstein 0,79	14,6	14,6	0,79	0,78	0,024	0,039	
<b>WDVS</b>							
Kalksandstein 0,79	15,9	15,6	0,84	0,82	0,040	0,12	≤ 0,14
Stahlbeton 2,3	16,0	15,7	0,84	0,83	0,047	0,17	
<b>Holzrahmenwand</b>							
	15,3	15,1	0,81	0,80	0,022	0,029	≤ 0,04

$\Theta_{min}$ : minimal raumseitige Oberflächentemperatur bei -5°C außen

Anforderung:  $\geq 9,3^\circ$  zur Vermeidung von Oberflächentauwasser nach DIN 4108-3

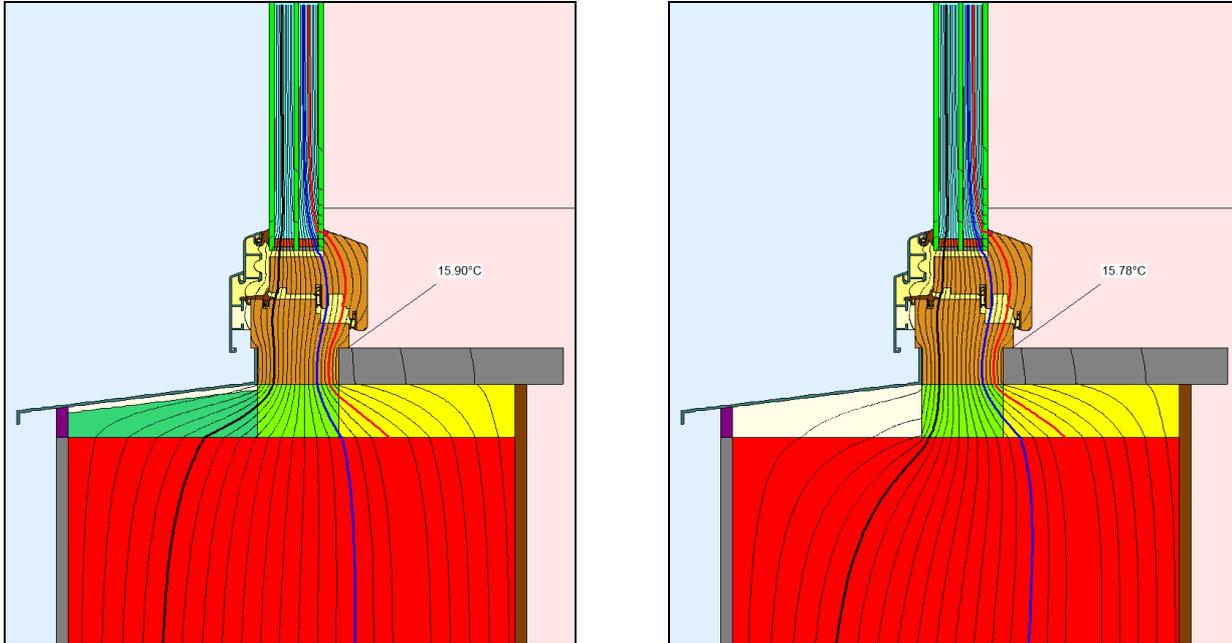
$f_{Rsi}$ : Temperaturfaktor

Anforderung:  $\geq 0,70$  zur Vermeidung von Schimmelpilz nach DIN 4108-2

$\Psi_{Einbau}$ : linearer Wärmedurchgangskoeffizient des Fensteranschlusses

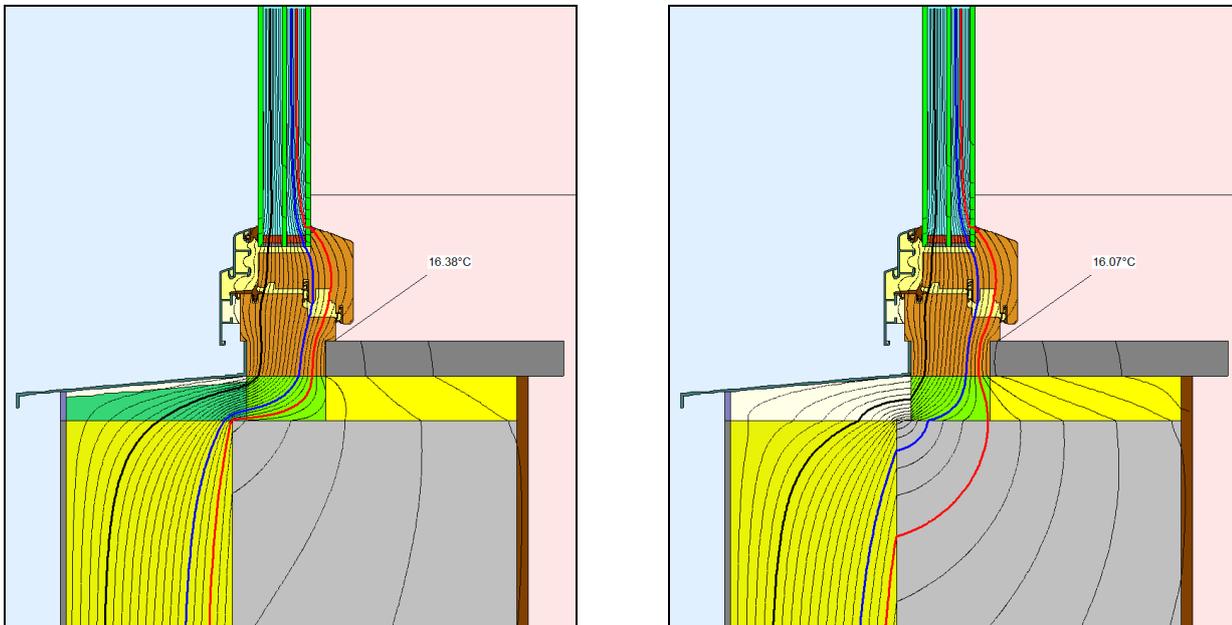
Anforderung:  $\leq \Psi_{ref.}$ , DIN 4108 Bbl. 2, wenn Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl. 2 gefordert ist.

### Holz-Alu-Profil in monolithischem Mauerwerk



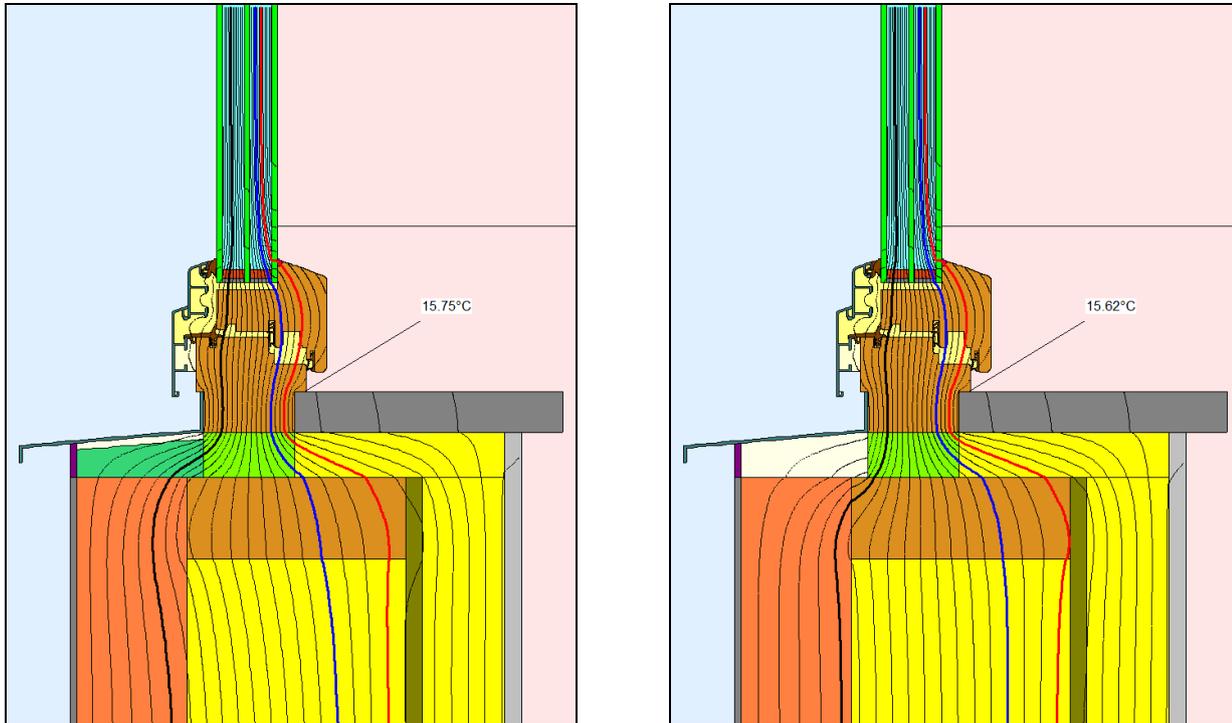
Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei  $-5^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Holz-Alu-Profil in außengedämmtem Mauerwerk



Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei  $-5^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Holz-Alu-Profil in Holzrahmenwand



Berechnungsmodell (Ausschnitt) mit Isothermen bei -5°C Außentemperatur (links mit Dämm-Keil, rechts ohne Dämm-Keil)

### Ergebnis-Übersicht Holz-Alu-Profil:

Mauerwerk	$\Theta_{min}$		$f_{Rsi}$		$\Psi_{Einbau}$		
	[°C]		[-]		[W/mK]		
	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	$\Psi_{ref., DIN 4108 Bbl. 2}$
<b>monolithisch</b>							
Liapor 0,10	15,9	15,8	0,84	0,83	0,007	0,017	≤ 0,07
HLZ 0,33	15,7	15,6	0,83	0,82	0,012	0,031	
Kalksandstein 0,79	15,2	15,1	0,81	0,80	0,021	0,036	
<b>WDVS</b>							
Kalksandstein 0,79	16,4	16,1	0,86	0,84	0,038	0,12	≤ 0,14
Stahlbeton 2,3	16,5	16,2	0,86	0,85	0,045	0,17	
<b>Holzrahmenwand</b>							
	15,8	15,6	0,83	0,82	0,019	0,026	≤ 0,04

$\Theta_{min}$ : minimal raumseitige Oberflächentemperatur bei -5°C außen

Anforderung:  $\geq 9,3^\circ$  zur Vermeidung von Oberflächentauwasser nach DIN 4108-3

$f_{Rsi}$ : Temperaturfaktor

Anforderung:  $\geq 0,70$  zur Vermeidung von Schimmelpilz nach DIN 4108-2

$\Psi_{Einbau}$ : linearer Wärmedurchgangskoeffizient des Fensteranschlusses

Anforderung:  $\leq \Psi_{ref., DIN 4108 Bbl. 2}$ , wenn Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl. 2 gefordert ist.



**Gesamt-Ergebnis-Übersicht:**

Mauerwerk		$\Theta_{min}$		$f_{Rsi}$		$\Psi_{Einbau}$		
		[°C]		[-]		[W/mK]		
		mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	mit Dämm-Keil	ohne Dämm-Keil	$\Psi_{ref., DIN 4108 Bbl. 2}$
<b>monolithisch</b>								
Liapor 0,10	PVC	16,7	16,5	0,87	0,86	-0,001	0,010	≤ 0,07
	Holz	15,4	15,3	0,82	0,81	0,010	0,020	
	Holz-Alu	15,9	15,8	0,84	0,83	0,007	0,017	
HLZ 0,33	PVC	16,4	16,2	0,85	0,85	0,004	0,025	
	Holz	15,2	15,0	0,81	0,80	0,014	0,034	
	Holz-Alu	15,7	15,6	0,83	0,82	0,012	0,031	
Kalksandstein 0,79	PVC	15,8	15,7	0,83	0,83	0,015	0,031	
	Holz	14,6	14,6	0,79	0,78	0,024	0,039	
	Holz-Alu	15,2	15,1	0,81	0,80	0,021	0,036	
<b>WDVS</b>								
Kalksandstein 0,79	PVC	17,2	16,8	0,89	0,87	0,028	0,11	≤ 0,14
	Holz	15,9	15,6	0,84	0,82	0,040	0,12	
	Holz-Alu	16,4	16,1	0,86	0,84	0,038	0,12	
Stahlbeton 2,3	PVC	17,3	17,0	0,89	0,88	0,035	0,17	
	Holz	16,0	15,7	0,84	0,83	0,047	0,17	
	Holz-Alu	16,5	16,2	0,86	0,85	0,045	0,17	
<b>Holzrahmenwand</b>								
	PVC	16,5	16,4	0,86	0,85	0,012	0,020	≤ 0,04
	Holz	15,3	15,1	0,81	0,80	0,022	0,029	
	Holz-Alu	15,8	15,6	0,83	0,82	0,019	0,026	

$\Theta_{min}$ : minimal raumseitige Oberflächentemperatur bei -5°C außen  
 Anforderung:  $\geq 9,3^\circ$  zur Vermeidung von Oberflächentauwasser nach DIN 4108-3  
 $f_{Rsi}$ : Temperaturfaktor  
 Anforderung:  $\geq 0,70$  zur Vermeidung von Schimmelpilz nach DIN 4108-2  
 $\Psi_{Einbau}$ : linearer Wärmedurchgangskoeffizient des Fensteranschlusses  
 Anforderung:  $\leq \Psi_{ref., DIN 4108 Bbl. 2}$ , wenn Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl. 2 gefordert ist.

BAUWERK – Ingenieurbüro für Bauphysik und Fenstertechnik  
 Rosenheim, 30. September 2016

Dipl.-Ing. (FH) Roland Steinert

