

WDVS - Planungsatlas

**- Entwicklung eines vereinfachten Systems zur
Wärmebrückenberechnung bei Bauelementen -**

Prof. Dr.-Ing. habil. Kai Schild

Wärmebrücken - energetische Konsequenzen

Berücksichtigung im Transmissionswärmeverlust

$$H_T = \sum_{i=1}^n (U_i \cdot A_i) + H_u + L_s + H_{WB} + \Delta H_{T,FH} \text{ in } \frac{W}{K}$$

Pauschale Berücksichtigung von Wärmebrückeneffekten (→ DIN 4108, Beiblatt 2)

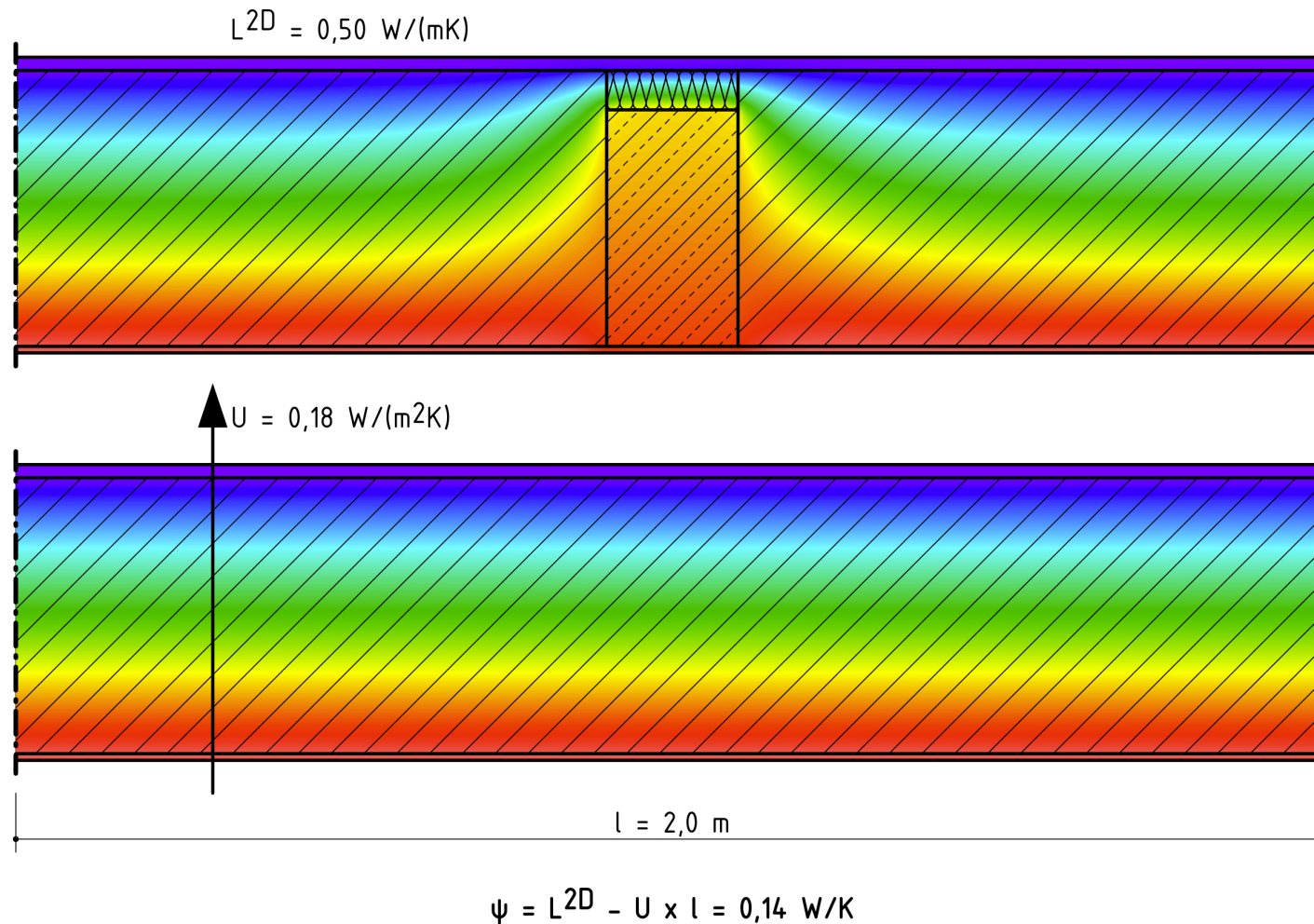
$$H_{WB} = \Delta U_{WB} \cdot A \text{ in } \frac{W}{K}$$

Detaillierte Berücksichtigung von Wärmebrückeneffekten

$$H_{WB} = \sum_{j=1}^k (\psi_j \cdot l_j) \text{ in } \frac{W}{K}$$

Exkurs: Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ψ

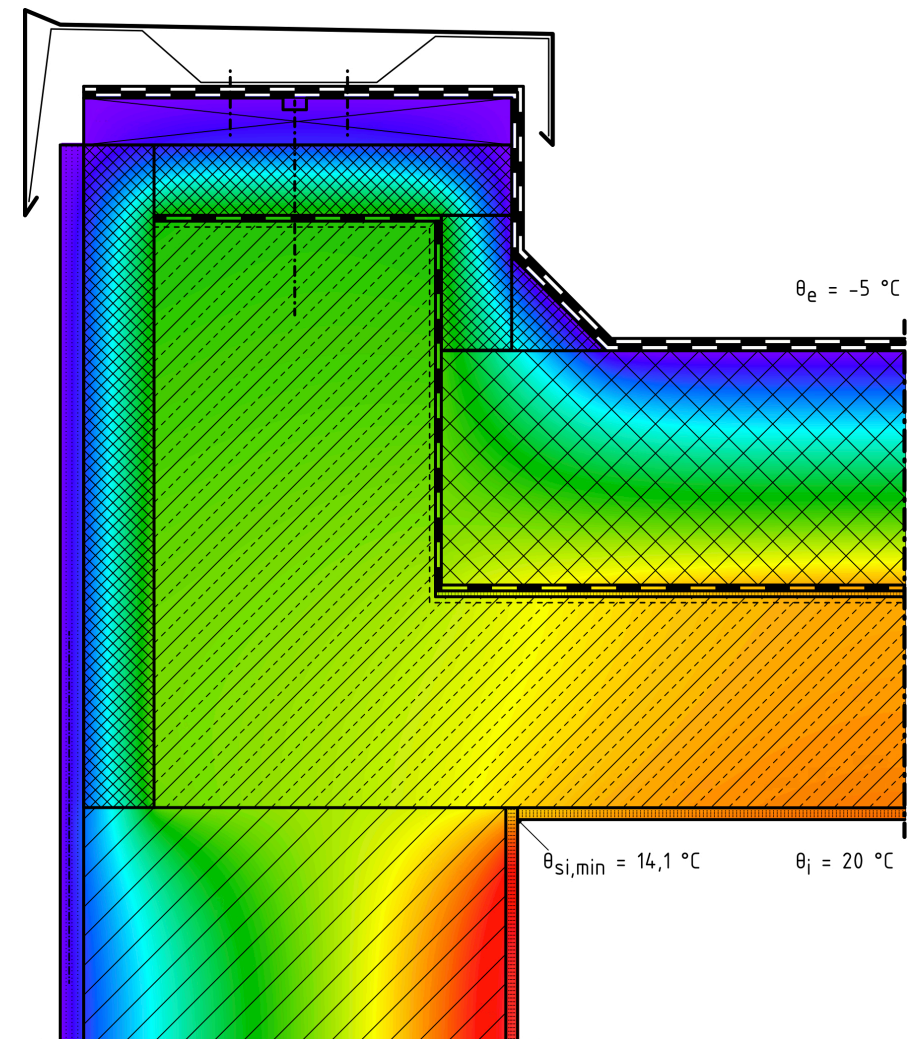
Berechnung



Wärmebrücken - hygrothermische Konsequenzen

Einhaltung einer Mindest-Oberflächentemperatur

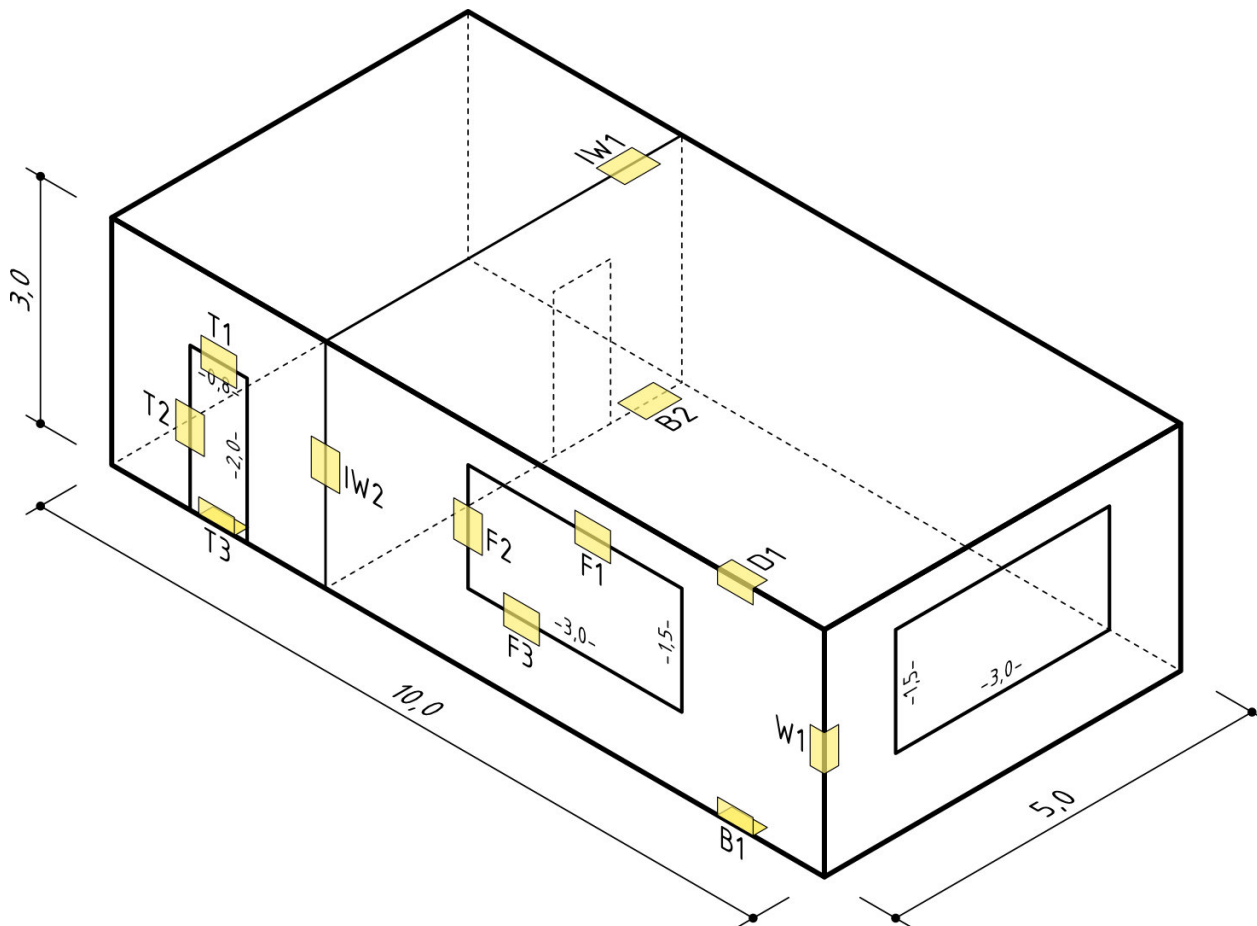
- An jeder Stelle der raumseitigen Oberfläche ist eine Temperatur von mindestens 12,6 °C einzuhalten!



Wärmeverlust über die Hüllfläche eines Gebäudes

Beispiel: Bungalow

Regel-Bauteilflächen



Bauteil	U-Wert		
Flachdach	U_D	=	0,19 W/(m²K)
Außenwand	U_{AW}	=	0,22 W/(m²K)
Fenster	U_w	=	1,1 W/(m²K)
Tür	$U_{Tür}$	=	2,0 W/(m²K)
Bodenplatte	U_G	=	0,33 W/(m²K)

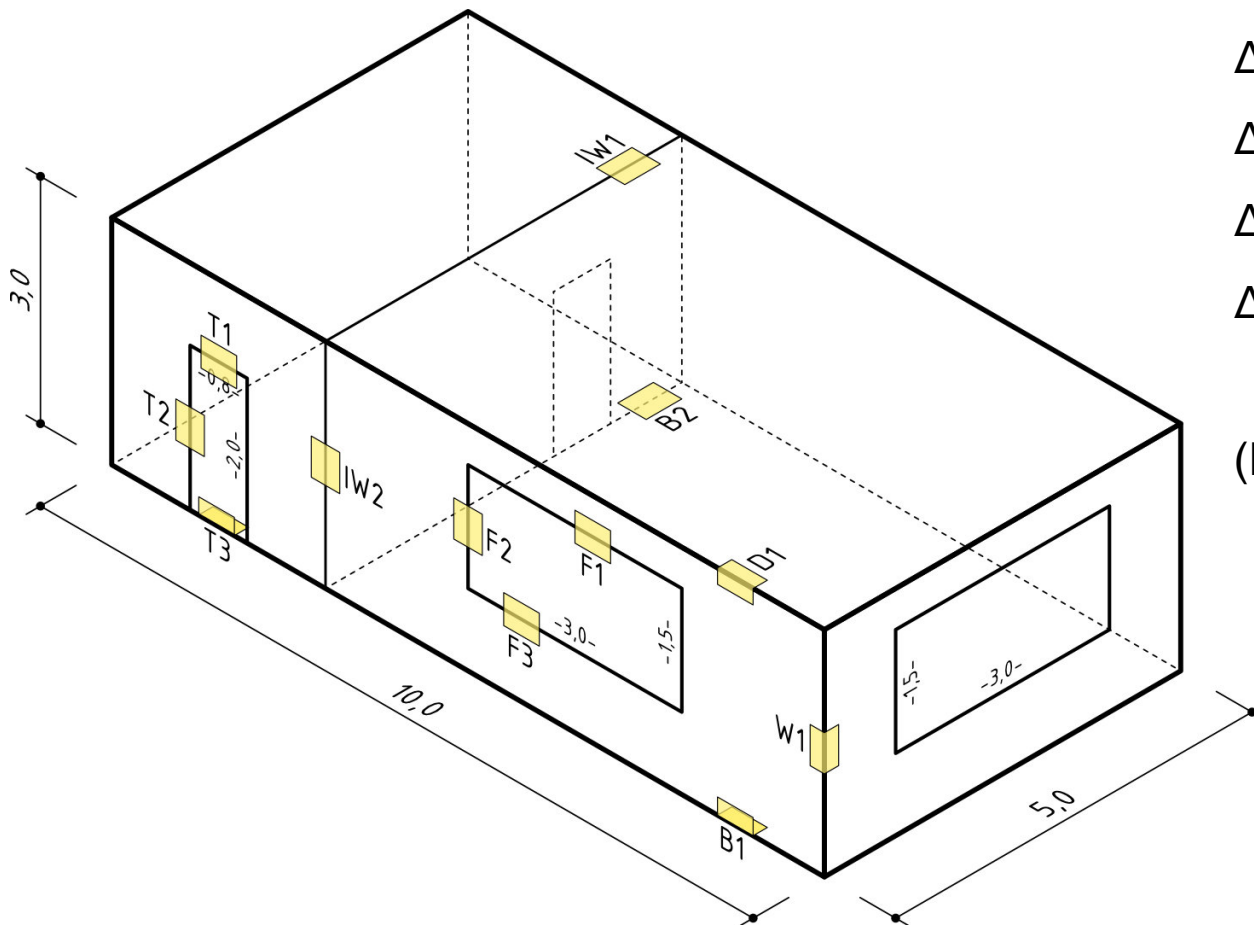
Transmissionswärmeverlust

$$\rightarrow H_{T, RB} = 50 \text{ W/K}$$

Wärmeverlust über die Hüllfläche eines Gebäudes

Beispiel: Bungalow

Anschlussdetails (Wärmebrückeneffekte)



$$\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/(mK)} \rightarrow H_{WB} = 19 \text{ W/K}$$

$$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(mK)} \rightarrow H_{WB} = 9,5 \text{ W/K}$$

$$\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W/(mK)} \rightarrow H_{WB} = 5,7 \text{ W/K}$$

$$\Delta U_{WB} = 0,00 \text{ W/(mK)} \rightarrow H_{WB} = 0 \text{ W/K}$$

(Hüllfläche: $A = 190 \text{ m}^2$)

Auswirkung des Wärmebrückenzuschlags

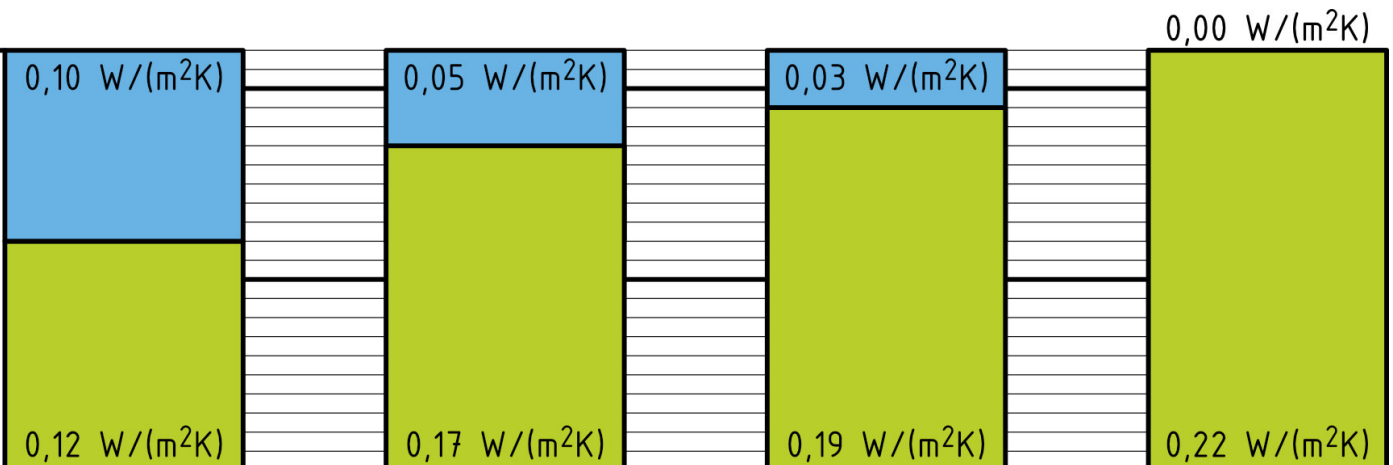
Beispiel

Zielwert: $U = 0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Wärmebrückenzuschlag

notwendige Bauteilqualität

notwendige Dämmschichtdicke (035)

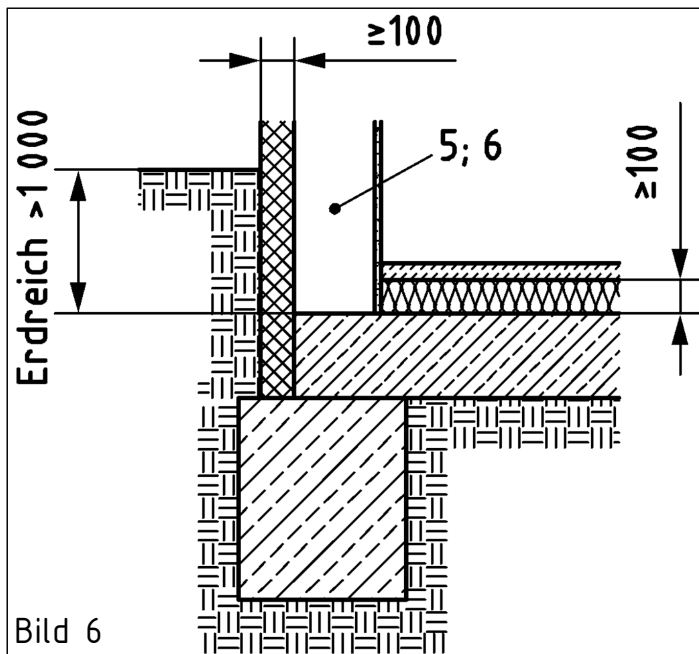


Bbl.2, Kat. A

Bbl.2, Kat. B

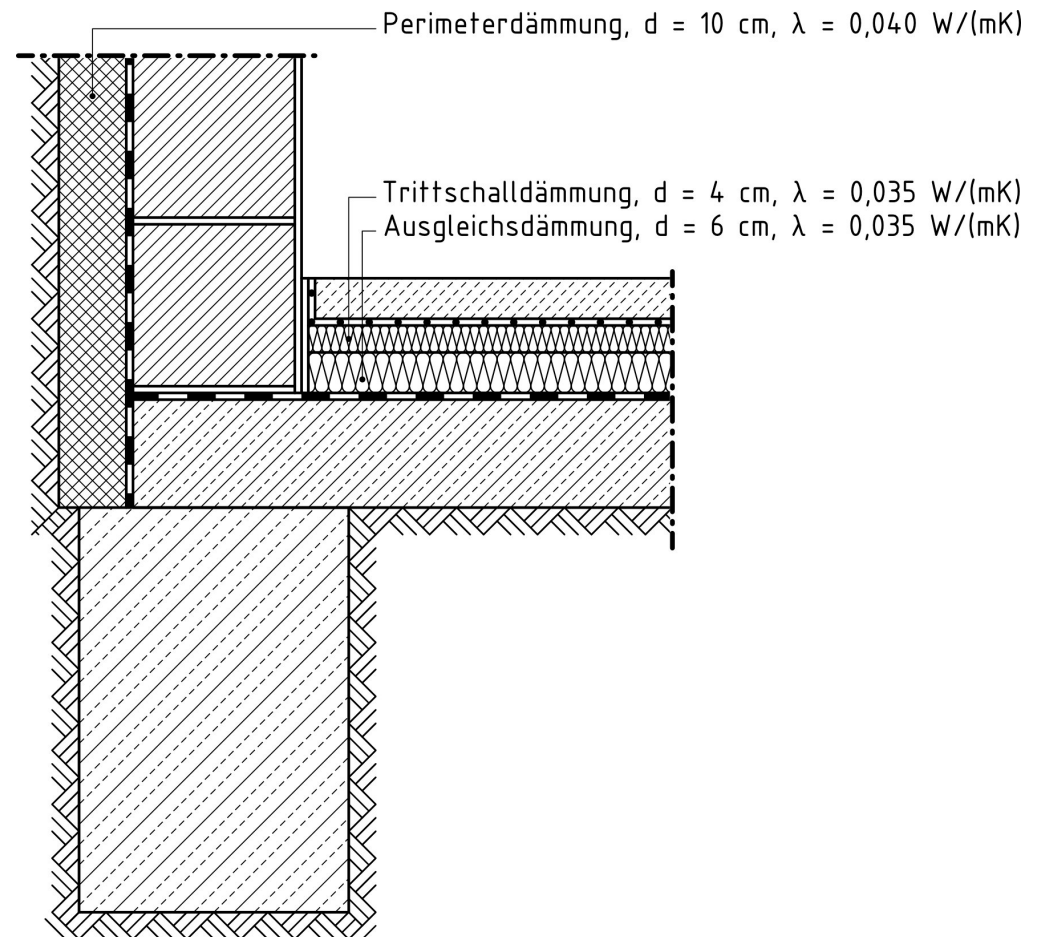
Gleichwertigkeitsnachweis

1. Möglichkeit: Zuordnung des Konstruktionsprinzips



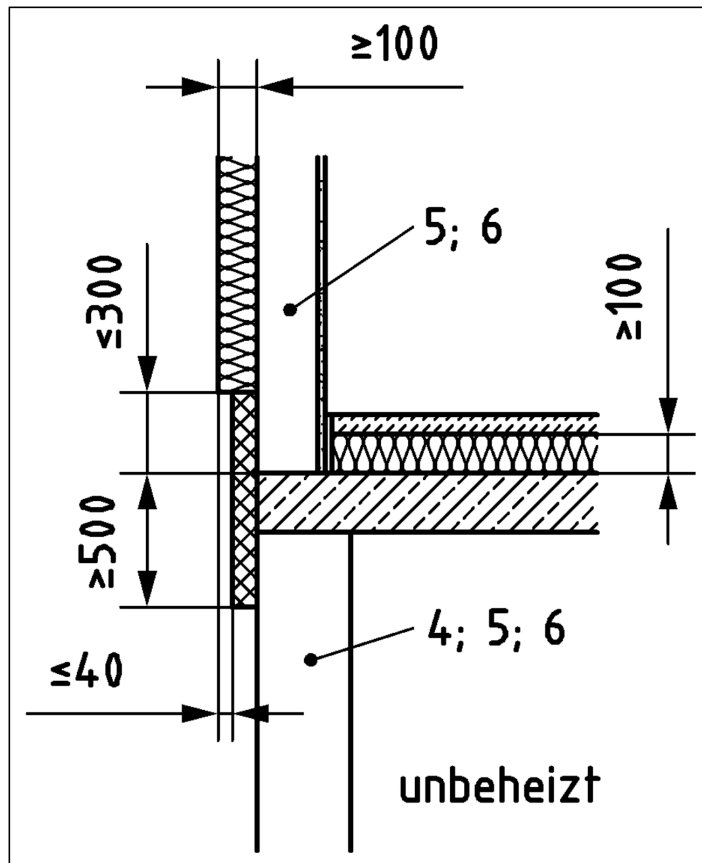
Kriterien für Gleichwertigkeit

- Perimeterdämmung (040): $d \geq 100 \text{ mm}$
- Bodenplattendämmung (035): $d \geq 100 \text{ mm}$
- Wanddicke ist kein Kriterium, da unvermaßt



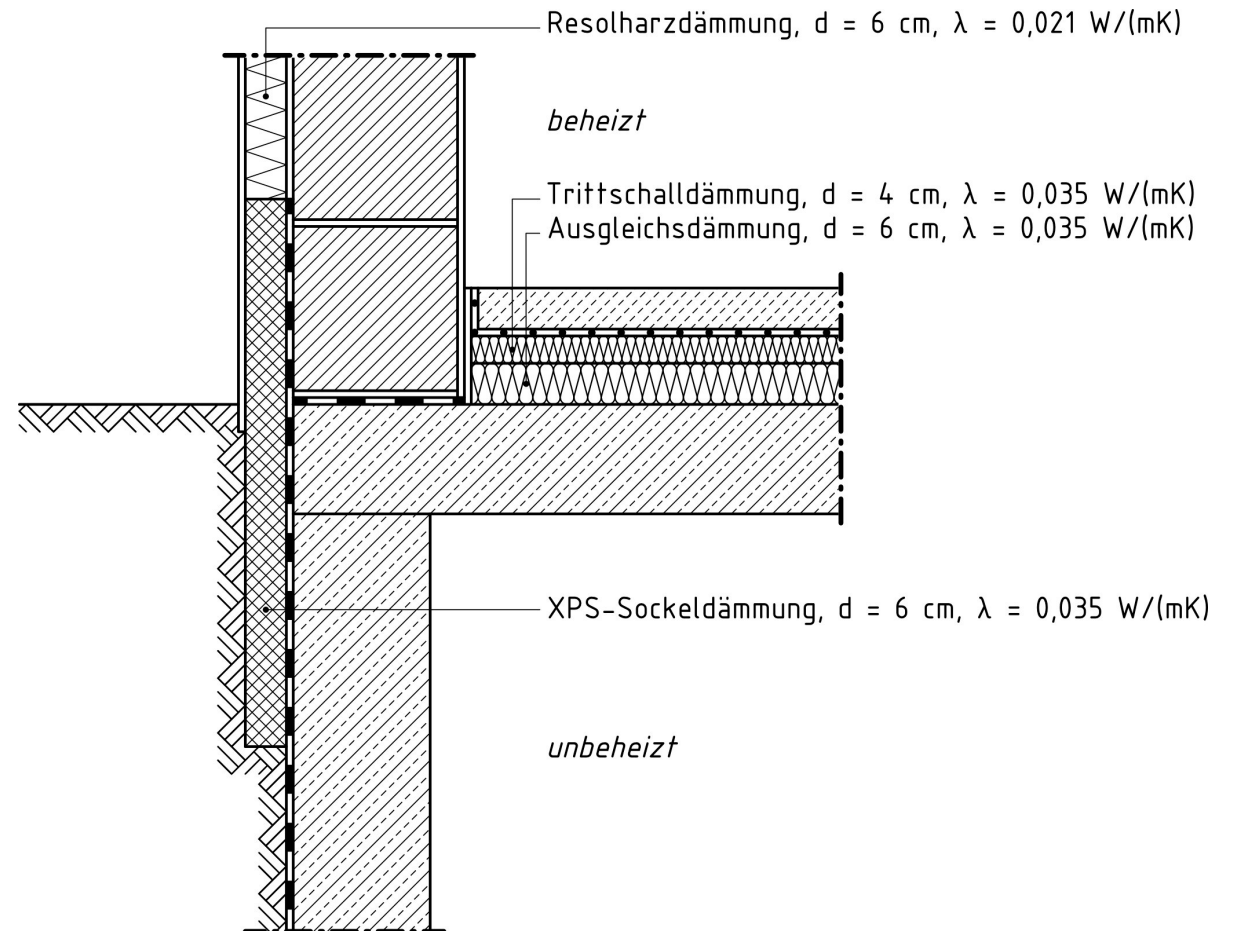
Gleichwertigkeitsnachweis

2. Möglichkeit: Äquivalenter Wärmedurchlasswiderstand



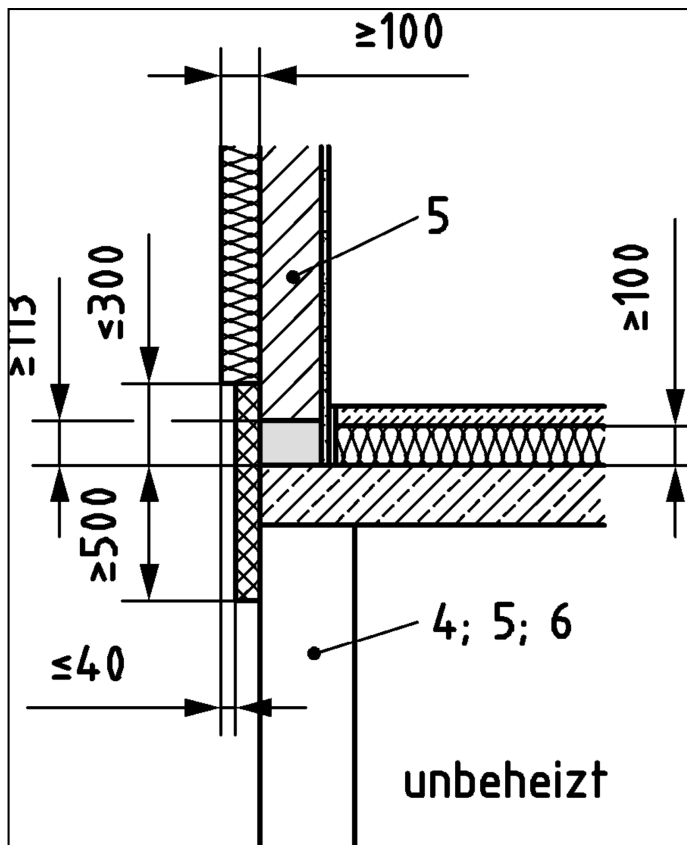
Kriterien für Gleichwertigkeit

- Außenwanddämmung (035): $d \geq 100$ mm
- Bodenplattendämmung (035): $d \geq 100$ mm



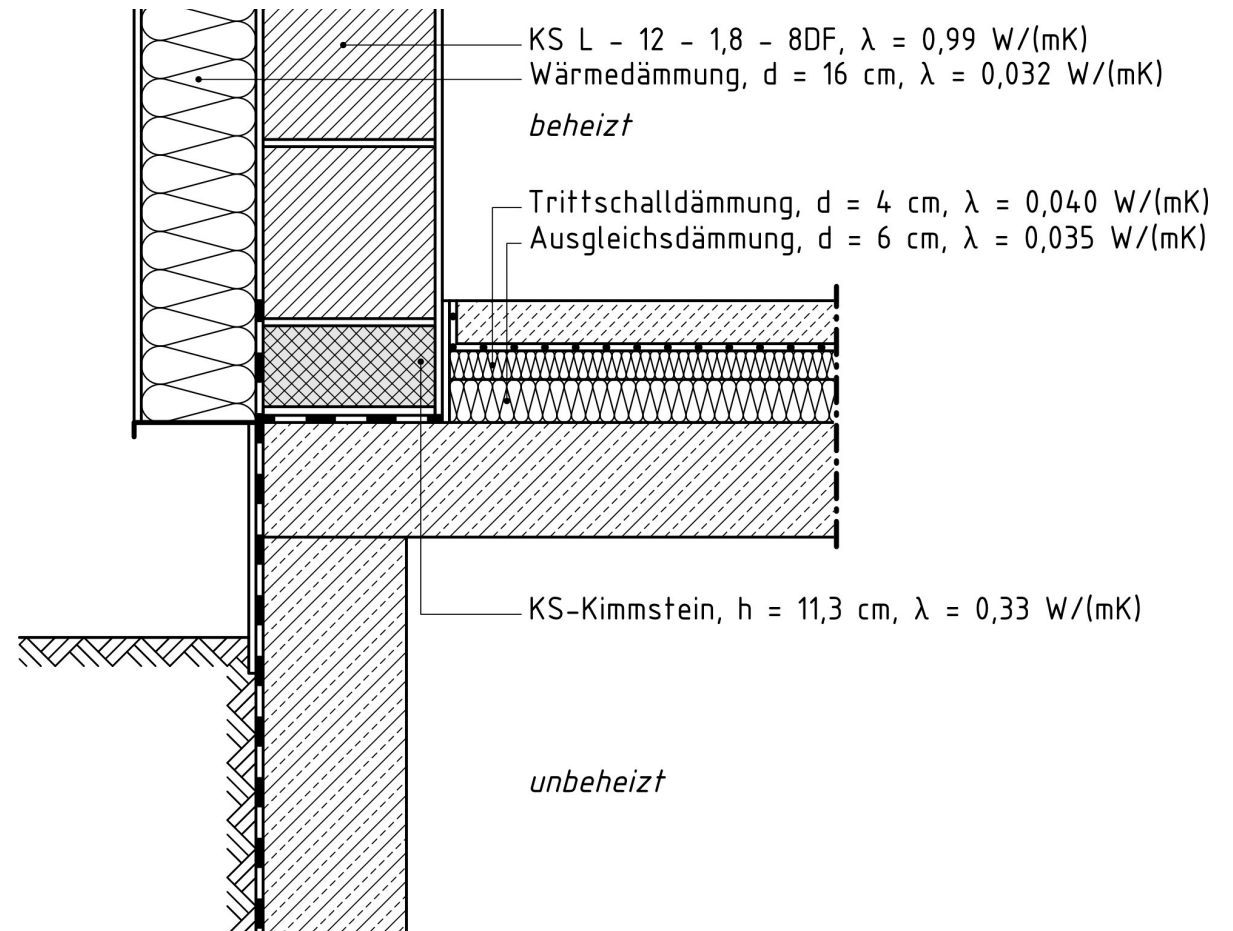
Gleichwertigkeitsnachweis

3. Möglichkeit: Nachweis des Referenz- ψ -Wertes



Kriterien für Gleichwertigkeit

- $\psi_{\text{Ref}} (\text{Kat. A}) = 0,31 \text{ W/(mK)}$
- $\psi_{\text{Ref}} (\text{Kat. B}) = 0,15 \text{ W/(mK)}$



Hybrider Rechenansatz

Anwendung bei „Problemfällen“

- Fall 1: Mindestens ein Detail ist zu schlecht (nicht gleichwertig) für Kategorie „A“ oder „B“

Beispiel für Kategorie B: $\Delta U_{WB} = \Delta \Delta U_{WB} + 0,03 = \frac{\sum_i (\Delta \psi_i \cdot l_i)}{A} + 0,03 \text{ in } \frac{W}{m^2K}$

- Fall 2: Mindestens ein Detail ist nicht in Beiblatt 2 enthalten

Beispiel für Kategorie B: $\Delta U_{WB} = \Delta \Delta U_{WB} + 0,03 = \frac{\sum_i (\psi_i \cdot l_i)}{A} + 0,03 \text{ in } \frac{W}{m^2K}$

Begriff und Arten der Berücksichtigung

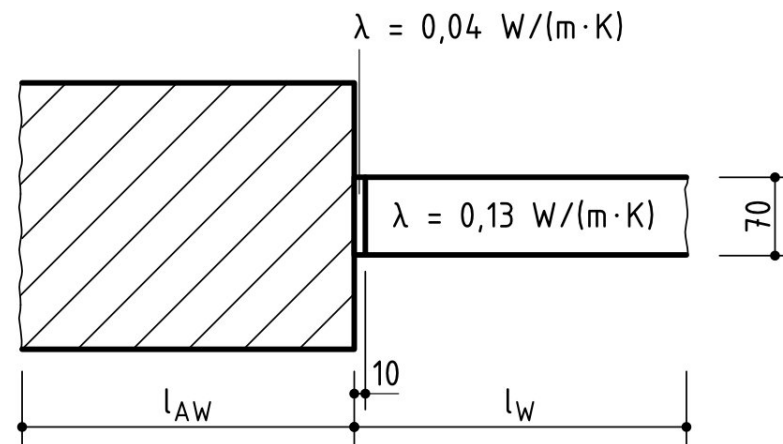
Bauelemente gemäß Beiblatt 2 sind

- Fenster, Fenstertüren, Türen
- Rollladenkästen
- Dachflächenfenster
- Lichtkuppeln und
- Vorhangfassaden.

Die Berücksichtigung im Wärmebrückennachweis kann wie folgt erfolgen:

- Nutzung der Ersatzsysteme („Blockmodelle“) gemäß Beiblatt 2, Abschnitt 6.2 oder
- Nutzung detaillierter Rechenmodelle
 - Referenzbauteile gemäß Beiblatt 2, Anhang F oder
 - reale Geometrien und Materialien gemäß Herstellerangabe

Ersatzsystem („Blockmodell“) für Fenster, Fenstertüren, Türen

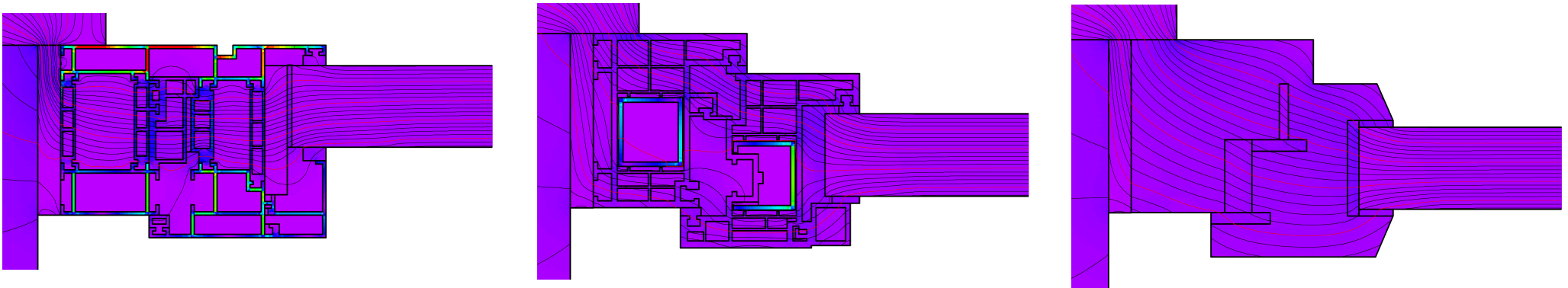
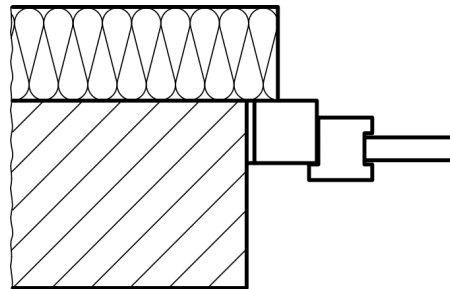


Die am „Blockmodell“ berechneten Ergebnisse werden wie folgt bezeichnet, um die Herkunft der Daten kenntlich zu machen:

- niedrigste Temperatur auf der Innenoberfläche: $\theta_{si, \text{rechn, Ers}}$
- längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient: $\psi_{\text{rechn, Ers}}$

Ersatzsystem („Blockmodell“) für Fenster, Fenstertüren, Türen

Querleitungseffekte - Beispiel: Fensterlaibung, außen gedämmte Wand, Alu-, Kunststoff-, Holzrahmen



→ Blockmodell kann diese Unterschiede nicht abbilden

Ersatzsystem („Blockmodell“) für Fenster, Fenstertüren, Türen

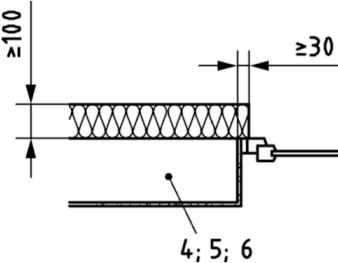
Korrekturwerte $\Delta\theta_{si}$ für Fensteranschlüsse bei Verwendung des „Blockmodells“

Rahmenmaterial	Korrekturwerte $\Delta\theta_{si}$ in K		
	Brüstung	Laibung	Sturz
Holz / Kunststoff	-1,5	-0,5	-0,5
Metall	-0,5	-3,0	-3,0

$$\theta_{si} = \theta_{si, \text{rechn, Ers}} + \Delta\theta_{si}$$

Ersatzsystem („Blockmodell“) für Fenster, Fenstertüren, Türen

Korrekturwerte für ψ für Fensteranschlüsse bei Verwendung des „Blockmodells“

226	Fensterlaibung Außenwand außengedämmt		Überdämmung ≥ 3 cm (inklusive 1 cm Fuge) gilt auch für Fenster mit Führungsschienen (direkt auf dem Blend- rahmen befestigte Führungsschienen dürfen die Außenkante des Blendrahmens nicht überschreiten) Fensterlage gilt für Achsmaß (Mitte) des Blendrahmens in der äußeren Hälfte der Tragschale	$\psi_{\text{ref,Ers}}$ $\leq 0,08$ / $\psi_{\text{ref,det}}$ $\leq 0,18$	A	Tabelle 108, Zeile 27
-----	---	--	---	--	---	--------------------------

$$\psi = \psi_{\text{rechn,Ers}} + (\psi_{\text{ref,det}} - \psi_{\text{ref,Ers}})$$

Ersatzsystem („Blockmodell“) für Fenster, Fenstertüren, Türen

Wann sind welche Korrekturwerte zu berücksichtigen?

Fall 1 - Gleichwertigkeitsnachweis über Referenz- ψ -Wert

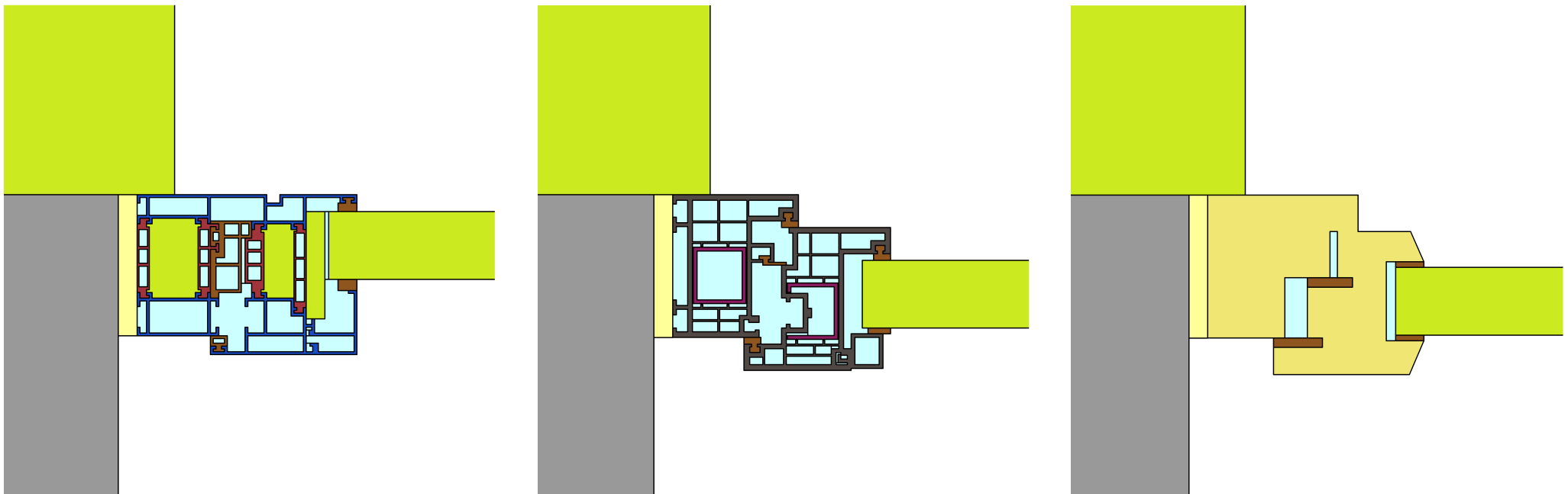
- bei Berechnung mit „Blockmodell“ → Vergleich: $\psi_{\text{rechn,Ers}} \leq \psi_{\text{ref,Ers}}$
- bei Verwendung eines detaillierten Rechenmodells → Vergleich: $\psi_{\text{rechn,det}} \leq \psi_{\text{ref,det}}$

Fall 2 - Detaillierte Wärmebrückenberechnung

- bei Berechnung mit „Blockmodell“ → $\psi = \psi_{\text{rechn,Ers}} + (\psi_{\text{ref,det}} - \psi_{\text{ref,Ers}})$
→ $\theta_{\text{si}} = \theta_{\text{si,rechn,Ers}} + \Delta\theta_{\text{si}}$
- bei Verwendung eines detaillierten Rechenmodells → keine Korrektur notwendig

Referenzbauteile für Fenster, Fenstertüren, Türen

Aluminium-, Kunststoff-, Holzrahmen (Beispiele)



Referenzbauteile für Fenster, Fenstertüren, Türen

Vorteile

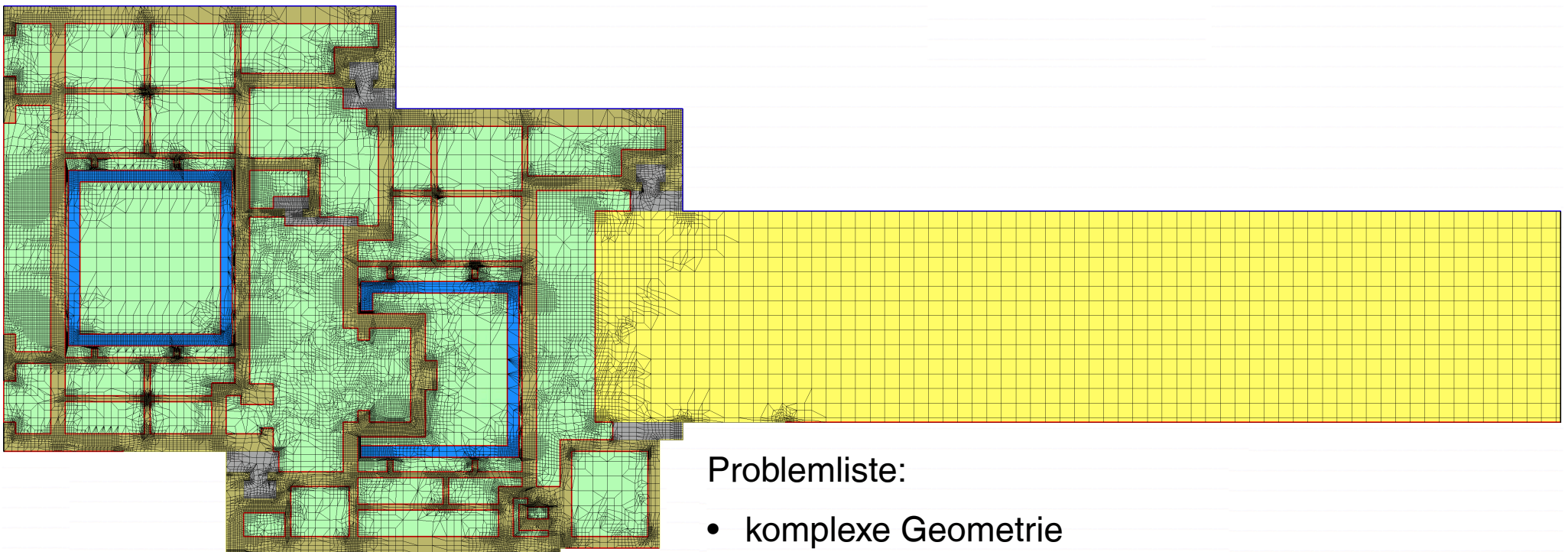
- Realitätsnahe Bewertung der Wärmeverluste und Oberflächentemperaturen
- Anwendung erfordert keine Strafzuschläge

Nachteile (siehe auch nächste Folie)

- aufwändige Eingabe in Berechnungssoftware
- komplexes Rechenmodell
 - Netzdichte manuell wählen!, lange Berechnungszeit, 1%-Genauigkeit nicht immer machbar
- Luftgefüllte Hohlräume aufwändig zu modellieren (Randbedingungen auf inneren Oberflächen)
- Parametrisierte Modellierung nicht möglich (→ Wärmebrückenatlanten)

Referenzbauteile für Fenster, Fenstertüren, Türen

Beispiel: Rechenmodell für Referenz-Kunststoffrahmen

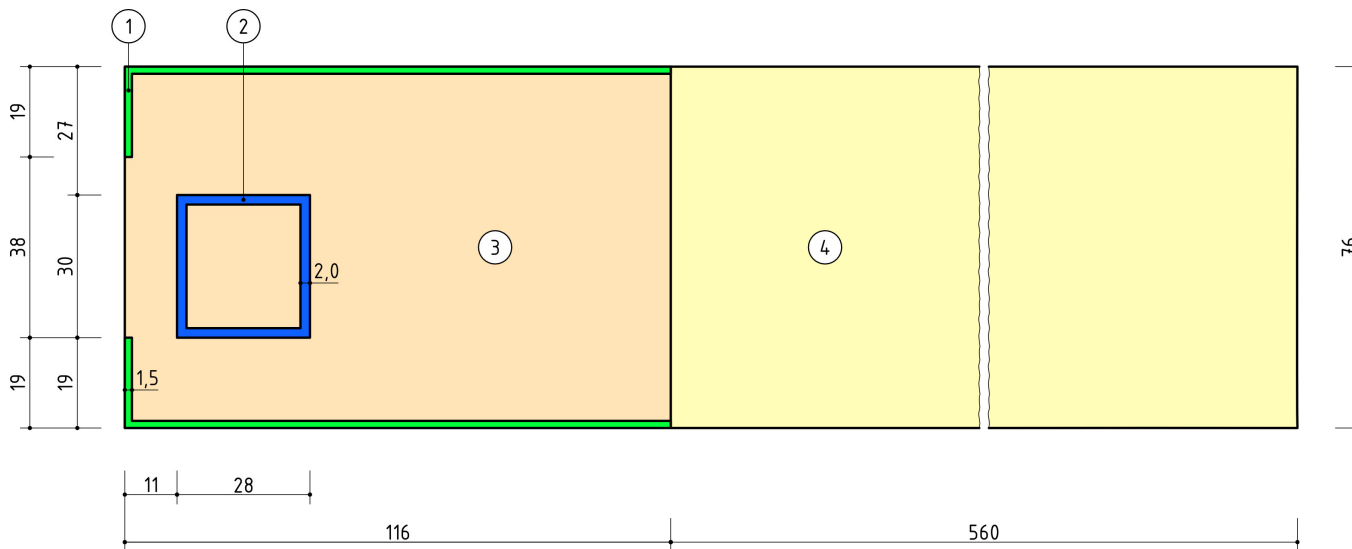


Problemliste:

- komplexe Geometrie
- hohe Netzdichte
- Rahmenhohlräume
- Oberflächenrandbedingungen

Vereinfachtes „universelles Ersatzmodell“

Fensterrahmen, Modellparameter



Schild, K.; Schild, B.: Wärmebrückenberechnung für Bauelemente - Entwicklung vereinfachter universeller Ersatzsysteme. Bauphysik 43, Heft 4, Seiten 258 - 269, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

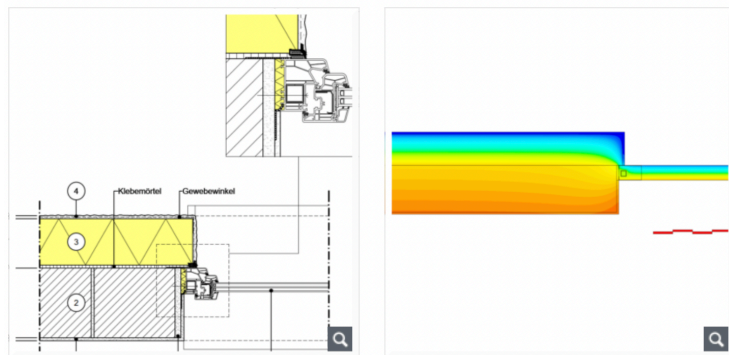
Schild, B.; Schild, K.: Forschungsbericht E20-011 - Entwicklung eines vereinfachten Systems zur Bewertung von Wärmebrücken bei Anschlüssen mit Bauelementen. ENOTHERM GmbH, 2020 (finanziert durch den Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. (VDPM), Berlin). Auf www.wdvs-planungsatlas.de veröffentlicht

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)			
	Aluminiumrahmen	Kunststoffrahmen	Holzrahmen Brüstung	Holzrahmen Laibung und Sturz
① Rahmenschenkel	160	0,23	0,16	0,13
② Kern	0,13	50	0,16	0,13
③ Rahmenfüllmaterial	0,13	0,13	0,16	0,13
④ Glaspaket	0,074	0,074	0,074	0,074

Vereinfachtes „universelles Ersatzmodell“

Anwendung im WDVS-Planungsatlas

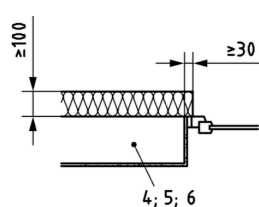
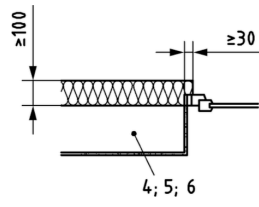
Fensterlaibung, Fenster in Wandebene, normale Bewitterung



③	Dicke der Dämmschicht der Außenwand	d	0.120 m
③	Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht der Außenwand	λ	0.035 W/(mK)
⑤	Überdämmung der Fensterrahmen	h	0.030 m
⑤	Rahmenmaterial: 1 = Holz / 2 = Kunststoff / 3 = Alu	Mat	3

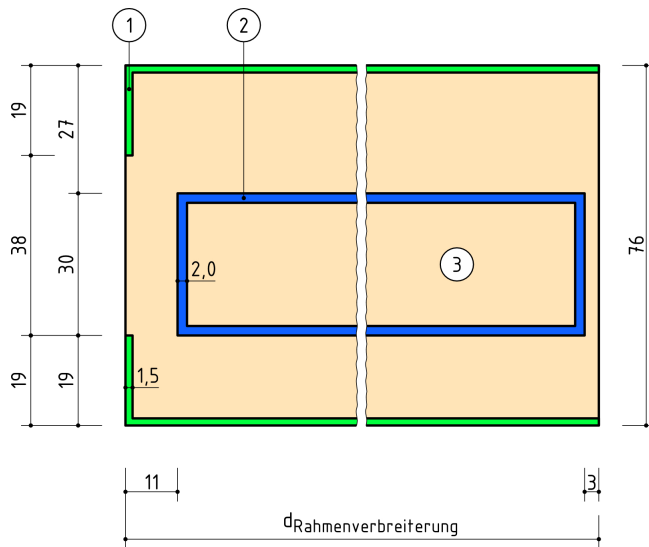
Thermische Werte des Konstruktionsanschlusses
(Zwischenwerte können linear interpoliert werden)

Wärmedurchgangskoeffizient Regelbauteil "Außenwand"	U	0.25 W/(m²K)
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	ψ	0.064 W/(mK)
Minimale Oberflächentemperatur im beheizten Raum	$\theta_{\min}$	15.7 °C

226	Fensterlaibung Außenwand außengedämmt		Überdämmung ≥ 3 cm (inklusive 1 cm Fuge) gilt auch für Fenster mit Führungsschienen (direkt auf dem Blendrahmen befestigte Führungsschienen dürfen die Außenkante des Blendrahmens nicht überschreiten) Fensterlage gilt für Achsmaß (Mitte) des Blendrahmens in der äußeren Hälfte der Tragschale	$\psi_{\text{ref,Ers}} \leq 0,08$ / $\psi_{\text{ref,det}} \leq 0,18$	A	Tabelle 108, Zeile 27
227	Fensterlaibung Außenwand außengedämmt Blendrahmen in Dämmebene		Überdämmung ≥ 3 cm (inklusive 1 cm Fuge) gilt auch für Fenster mit Führungsschienen (direkt auf dem Blendrahmen befestigte Führungsschienen dürfen die Außenkante des Blendrahmens nicht überschreiten) Fensterlage gilt für Blendrahmen vollständig in der Dämmebene	$\psi_{\text{ref,Ers}} \leq 0,02$ / $\psi_{\text{ref,det}} \leq 0,07$	B	Tabelle 108, Zeile 27

Vereinfachtes „universelles Ersatzmodell“

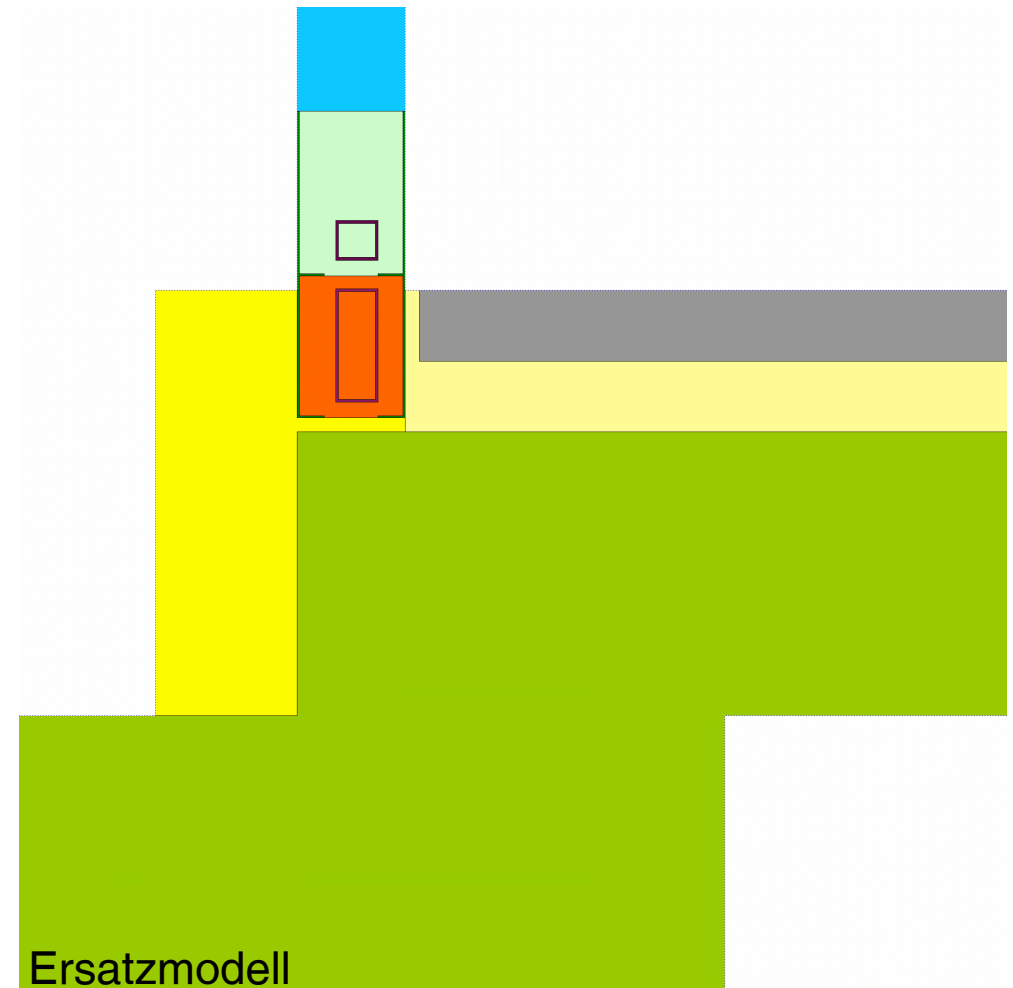
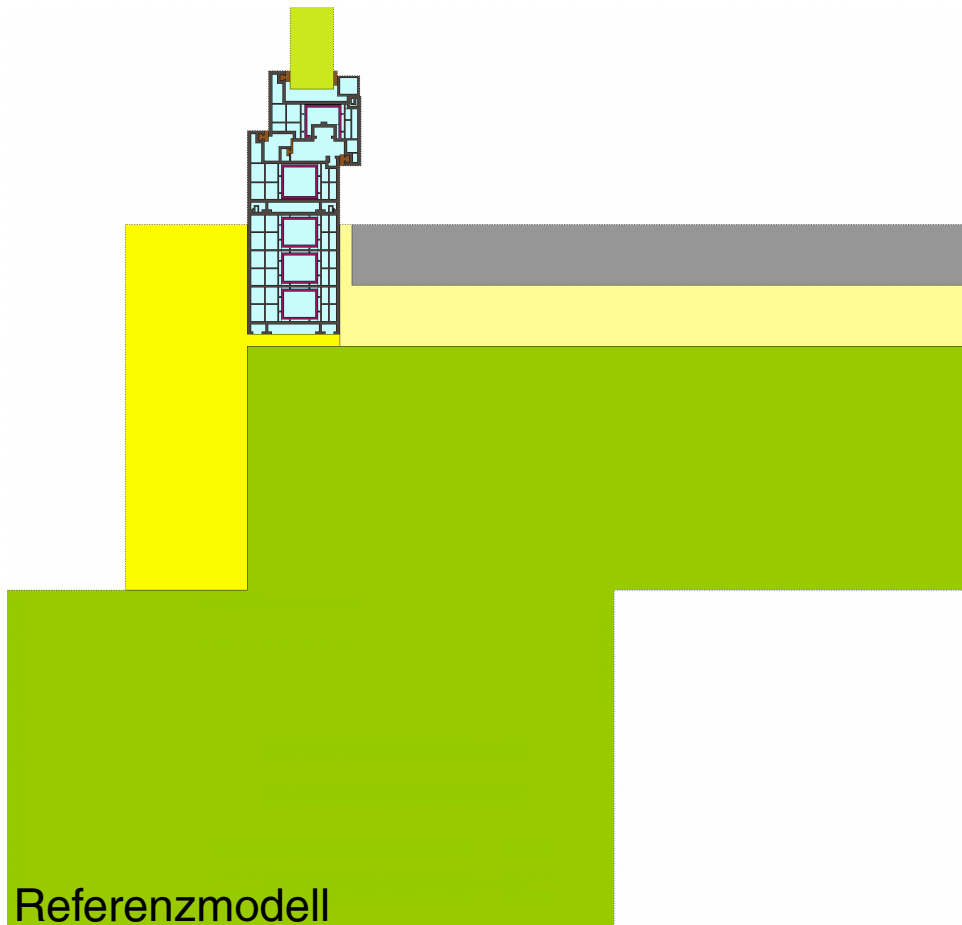
Rahmenverbreiterung, Modellparameter



	Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)					
		Aluminiumrahmen		Kunststoffrahmen		Holzrahmen	
		$20 \text{ mm} \leq d \leq 50 \text{ mm}$	$d > 50 \text{ mm}$	$20 \text{ mm} \leq d \leq 50 \text{ mm}$	$d > 50 \text{ mm}$	$20 \text{ mm} \leq d \leq 50 \text{ mm}$	$d > 50 \text{ mm}$
①	Rahmenschenkel	0,23	0,23	0,23	0,23	0,15	0,17
②	Kern	50	50	50	50	0,15	0,17
③	Rahmenfüllmaterial	0,07	0,06	0,07	0,08	0,15	0,17

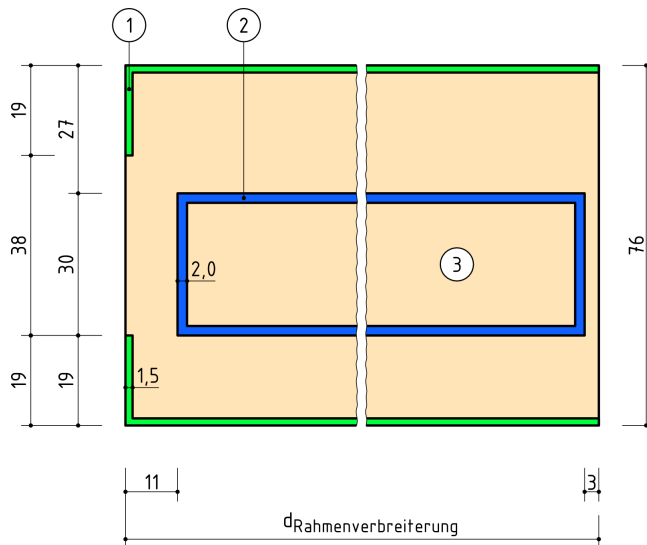
Vereinfachtes „universelles Ersatzmodell“

Rahmenverbreiterung, Anwendungsbeispiel



Vereinfachtes „universelles Ersatzmodell“

Rahmenverbreiterung, Sohlbankprofil, Modellparameter



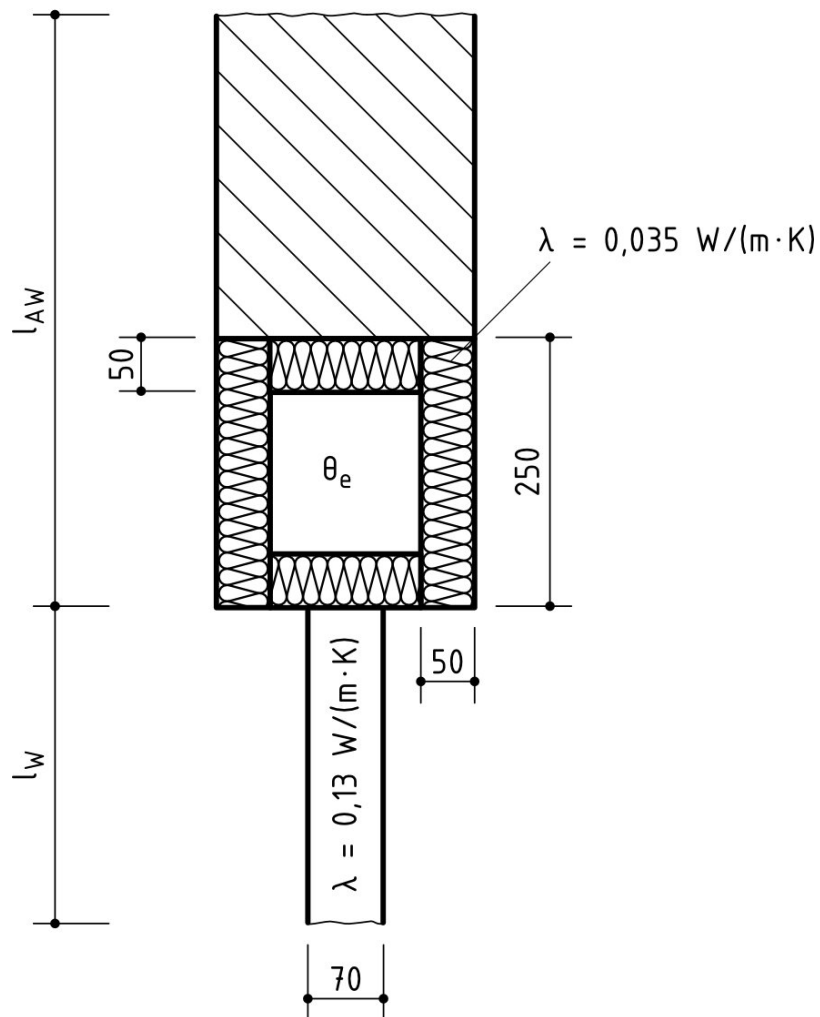
Aluminiumrahmen: $d_{\text{Rahmenverbreiterung}} = 45 \text{ mm}$

Kunststoffrahmen: $d_{\text{Rahmenverbreiterung}} = 30 \text{ mm}$

Holzrahmen: $d_{\text{Rahmenverbreiterung}} = 30 \text{ mm}$

	Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)		
		Aluminiumrahmen	Kunststoffrahmen	Holzrahmen
①	Rahmenschenkel	0,23	0,23	0,15
②	Kern	50	0,22	0,15
③	Rahmenfüllmaterial	0,09	0,22	0,15

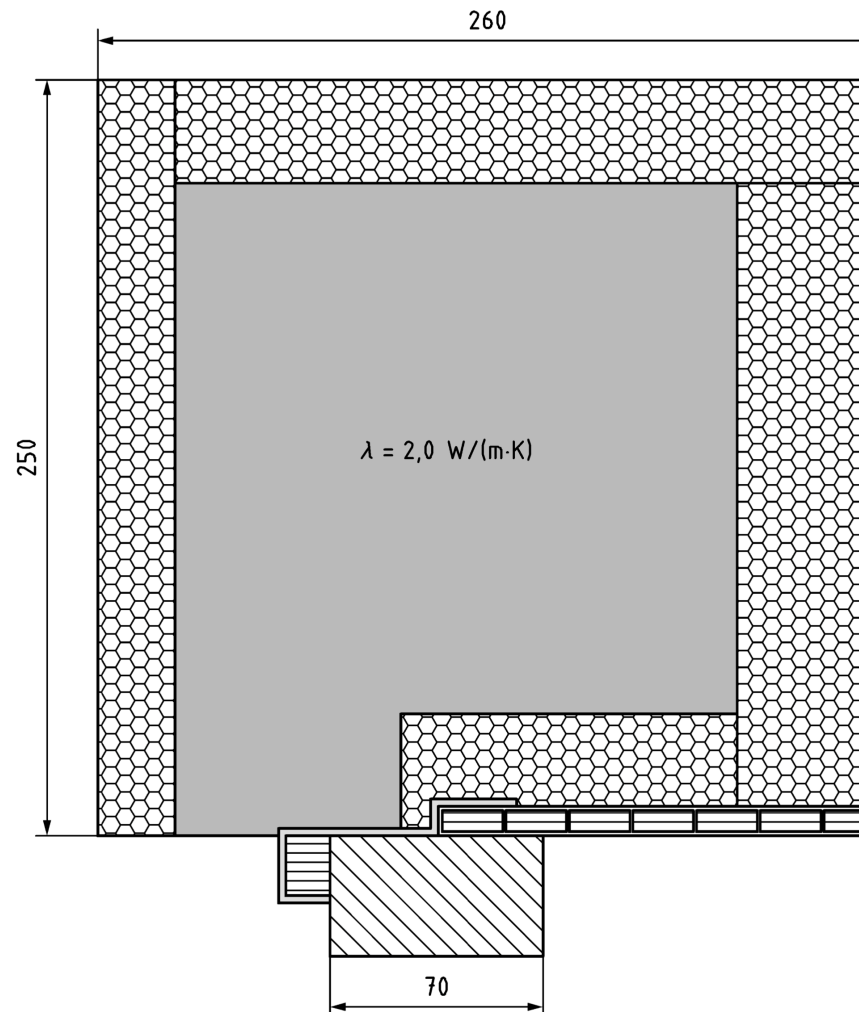
Ersatzsystem („Blockmodell“) für Rollladenkästen



Hier keine Strafzuschläge, aber Ergebnisse liegen auf der sicheren Seite
→ für reale System unwirtschaftliche Abschätzung

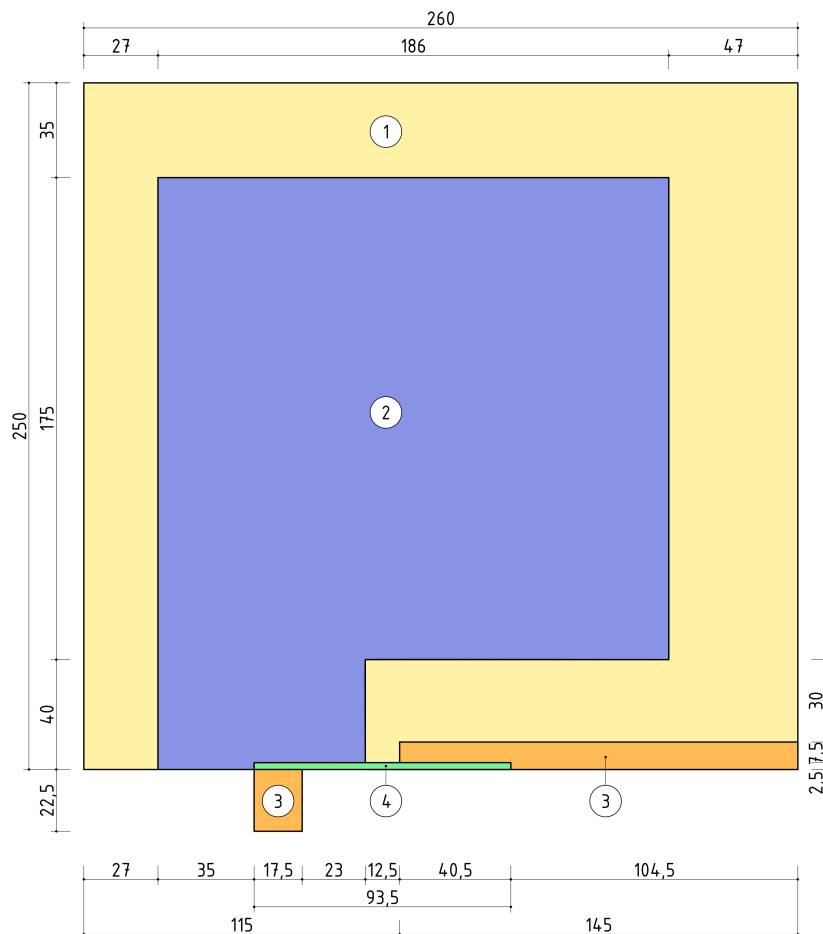
Referenzbauteile für Rollladenkästen

Beispiel



Vereinfachtes „universelles Ersatzmodell“

Rollladenkasten



	Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)		
		Aluminium- rahmen	Kunststoff- rahmen	Holzrahmen
①	Dämmung	0,035	0,035	0,035
②	Rollraum	2	2	2
③	Füllmaterial F1	0,06	0,14	0,10
④	Füllmaterial F2	0,5	0,06	0,17

Fazit

- ① GEG bzw. Beiblatt 2 erfordert Umdenken bei der Wärmebrückenbewertung
- ② Detaillierte Wärmebrückenbewertung ist essentiell für kostengünstiges Bauen
- ③ Blockmodell hat in der aktuellen Form keine Zukunft
- ④ Ersatz-Rechenmodell stellt deutliche Arbeitserleichterung für die Praxis dar
- ⑤ WDVS-Planungsatlas bietet komfortable Arbeitshilfe ohne Strafzuschläge