



4. Berechnung von Wärmebrücken	Seite 4
4.1 Definition von Wärmebrücken	Seite 4
4.2 Kennwerte von Wärmebrücken	Seite 5
4.3 Oberflächentemperaturen und Schimmelpilzgefahr	Seite 6
4.4 Berechnung der Oberflächentemperaturen	Seite 20
4.5 Wärmeverluste über Wärmebrücken	Seite 39
4.6 Erfassung der Wärmebrücken für die detaillierte Berechnung	Seite 94
5. Detaillierte Berechnung von WB-Details mit Bauelementen	

4. Berechnung von Wärmebrücken

4.1 Definition von Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Bauteilbereiche, an denen ein größerer Wärmestrom fließt als an der übrigen ungestörten Fläche des Bauteils. Dies wird verursacht durch

- Materialwechsel in der Bauteilebene
- Bauteilgeometrie

Man spricht auch von stofflichen oder geometrischen Wärmebrücken, deren Phänomene sich durchaus überlagern können.

4.2 Kennwerte von Wärmebrücken

Wärmebrücken haben zwei wesentliche Ursachen. Sie bewirken zum einen

- niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen

und zum anderen

- zusätzliche Wärmeverluste

Demzufolge sind zur Kennzeichnung der Wirkung von Wärmebrücken auch zwei unterschiedliche, voneinander unabhängige Kenngrößen notwendig:

f_{Rsi} ► Temperaturfaktor (-)

zur Beurteilung der raumseitigen Oberflächentemperatur

Wichtig: Nach DIN 4108-2 muss jedes Bauteil Schimmelpilzfrei konstruiert werden!

ψ ► Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(mK)]

zur Berechnung der zusätzlichen Wärmeverluste über die Wärmebrücken

4.3. Oberflächentemperaturen und Schimmelpilzgefahr

Im Bereich von Wärmebrücken können bei kalter Witterung die Oberflächentemperaturen auf der Raumseite derart absinken, dass an diesen Stellen **Schimmelpilzgefahr** besteht. Aber auch eine zu hohe Luftfeuchtigkeit in einem beheizten Raum kann zu Schimmelpilzbildung an kalten Innenwandflächen führen.

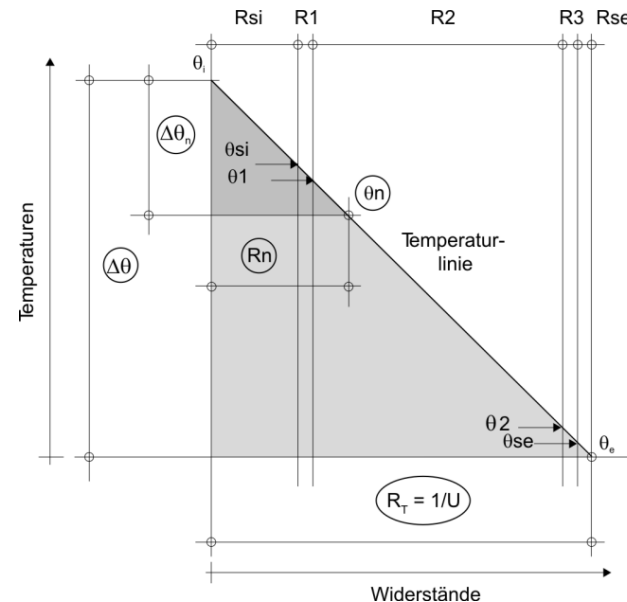
Schimmelpilzgefahr besteht nach **DIN 4108-2** dann, wenn bei einem Innenraumklima von **20 °C und 50 %** relativer Luftfeuchtigkeit im Raum die Oberflächentemperatur der Außenbauteile unter **12,6 °C** sinkt.

Aus diesem Grund sollten Wärmebrücken schon bei der Planung erkannt und minimiert werden, um Schimmelpilzbildung zu vermeiden.

a) Temperaturen in thermisch **homogenen** Bauteilen

Bei **gleichmäßigem Wärmestrom** stellt sich die Temperatur an einer Stelle „n“ in Abhängigkeit zu den davor liegenden **Wärmedurchlasswiderständen** ein. Hierdurch entstehen im gesamten Bauteil ein zu den Wärmedurchlasswiderständen der einzelnen Stoffschichten **proportionales Temperaturgefälle**.

Die transportierte Wärmemenge verringert sich nach jeder Schicht proportional zu deren Wärmedurchlasswiderstand R . Entsprechend verringert sich die Temperatur. Daraus ergibt sich die Formel für die Temperatur an der inneren Wandoberfläche θ_{si} :



$$\theta_{si} = \theta_i - R_{si} \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad ^\circ\text{C}$$

Beispiel für die Berechnung von Oberflächentemperaturen im ungestörten Bereich:

Wie groß ist die innere Oberflächentemperatur an einer Außenwand?

Gegeben:

$$\begin{aligned} U &= 0,24 \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)} \\ \text{Raumlufttemperatur } \theta_i &= 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{Außenlufttemperatur } \theta_e &= -5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Gesucht:

Temperatur an der inneren Oberfläche der Außenwand θ_{si} .

$$\begin{aligned} \theta_{si} &= 20 - 0,25 \cdot 0,24 \cdot 25 \\ &= 18,5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Ergebnis:

Die Temperatur an der inneren Oberfläche der Außenwand beträgt bei den in DIN 4108-2 für solche Untersuchungen angegebenen Klimadaten 18,5 °C.

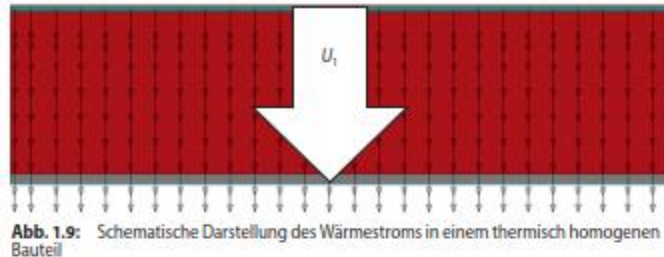
b) Temperaturverteilung in thermisch **inhomogenen** Bauteilen

Wärmefluss in thermisch inhomogenen Bauteilen (z.B. Fachwerk)

In thermisch inhomogenen Bauteilen liegen Stoffe mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit nebeneinander. Hier werden die parallel zur Oberfläche nebeneinanderliegenden Moleküle unterschiedlich temperiert, so dass es auch zwischen diesen zu einem Energieaustausch kommt. Die **Wärme fließt hier nicht nur senkrecht zur Oberfläche, sondern auch parallel** zur Oberfläche aus dem Bereich mit der höheren in den mit der niedrigeren Temperatur.

Bei Bauteilen mit sehr unterschiedlichen Wärmedurchlasswiderständen kann der mittlere Wärmedurchgang nicht einfach durch einfache Addition der flächenanteiligen U-Werte berechnet werden, sondern ist nach DIN EN ISO 10211 zu ermitteln.

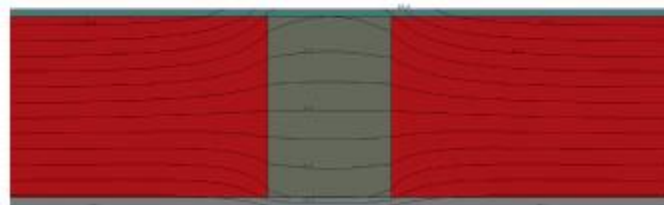
Oberflächentemperaturen an thermisch inhomogenen Wärmebrücken können nur mit Hilfe von **Isothermenprogrammen** berechnet werden.



thermisch
homogenes Bauteil
Wärmestrom



thermisch
inhomogenes Bauteil
Wärmestrom



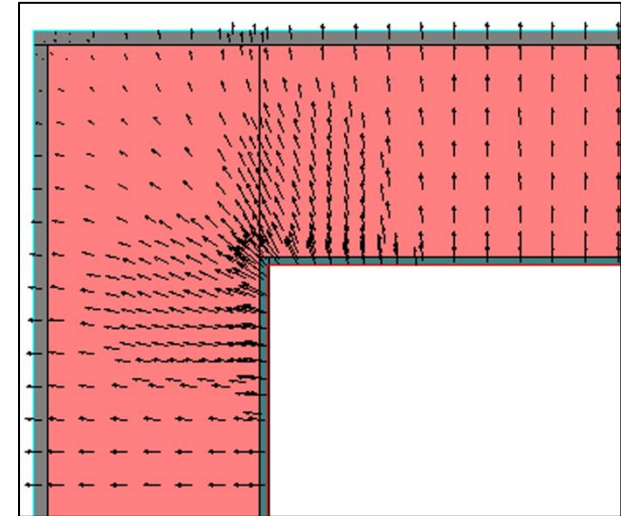
thermisch
inhomogenes Bauteil
Isothermen

c) Wärmefluss an geometrischen Wärmebrücken

Geometrische Wärmebrücken entstehen dort, wo sich die Geometrie des Bauteils ändert und die wärmeaufnehmende Fläche kleiner als die wärmeabgebende ist (oder umgekehrt), wie z. B. an Außenwandkanten, Raumecken, Fensterlaibungen.

Bei einer Gebäudeecke sind auf der äußeren Oberfläche des Bauteils mehr Moleküle nebeneinander angeordnet als auf der Innenseite. Erwärmt werden jedoch nur die innen liegenden Moleküle, sodass zu den in der Ecke außen liegenden Teilchen ein Temperaturgefälle besteht.

Die einfließende Energie wird in der Ecke von mehr Molekülen übertragen als in anderen Bereichen. Der Wärmestrom wird an dieser Stelle größer.



Auch hier können die Oberflächentemperaturen nur mit Hilfe von Isothermenprogrammen berechnet werden.

d) Vermeidung von Schimmelpilzen

Bei einem Wohnraumklima von 20 °C und 50 % rel. Luftfeuchtigkeit im Raum fällt bei **9,6 °C Bauteiloberflächentemperatur Tauwasser** an. Schimmelpilze können jedoch schon früher entstehen, bevor Tauwasser ausfällt. Hier genügen schon 80 % rel. Luftfeuchtigkeit an der Bauteiloberfläche. Die hat zu folge, dass sich **Schimmelpilze schon bei 12,6 °C Bauteiloberflächentemperatur** bilden können.

Nach DIN 4108-2 sind für alle Konstruktionen, die von denen im Beiblatt 2 der DIN 4108 abweichen, ein Nachweis zu erbringen, dass der **f_{Rsi}- Wert** an der ungünstigsten Stelle den Wert von **0,7 nicht unterschreitet**. Dies entspricht einer **Oberflächentemperatur von $\theta_{si} \geq 12,6$ °C**. Bei dessen Einhaltung, ist bei einer

- relativen Luftfeuchte von **≤ 50 %** und **≥ 20 °C** Innentemperatur im Wohnraum, eine schimmelpilzfreie Konstruktion zu erwarten.

Eine gleichmäßige Beheizung und ausreichende Belüftung der Räume sowie eine weitgehend ungehinderte Luftzirkulation an den Außenwandoberflächen werden vorausgesetzt.

Temperaturfaktor f_{Rsi}

Der Temperaturfaktor f_{Rsi} dient zur Beurteilung der raumseitigen Oberflächentemperatur nach DIN 4108-2. Diese wird zur Abschätzung einer möglichen Tauwasser- oder Schimmelpilzgefahr benötigt.

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

θ_{si} = Oberflächentemperatur innen [°C]

θ_e = Lufttemperatur außen [°C]

θ_i = Lufttemperatur innen [°C]

Der Temperaturfaktor f_{Rsi} kennzeichnet das Verhältnis der Differenz zwischen Bauteiloberflächentemperatur und Außenlufttemperatur zu der Differenz zwischen Raumluf- und Außenlufttemperatur.

f_{Rsi} - Werte von Wärmebrücken sind in Bauteilkatalogen zu finden.

Rechenbeispiel:

Ermittlung von f_{Rsi}

Gegeben:

$$\theta_i = 20 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{si} = 18,5 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = -5 \quad ^\circ\text{C}$$

Gesucht :

$$f_{Rsi}$$

Berechnung:

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

$$f_{Rsi} = (18,5 - (-5)) / (20 - (-5))$$

$$f_{Rsi} = 0,94$$

Warum besteht bei 12,6 ° C Schimmelpilzgefahr?

Erläuterung:

Ausgangswerte:

- Relative Luftfeuchtigkeit: 50 %
- Raumlufttemperatur: 20 °C

Vorgehensweise:

- Bestimmung des Sattedampfdrucks p_s für 20 °C aus Tabelle 1.1:
2.340 Pa
- Berechnung des Dampfdrucks p für eine Luftfeuchtigkeit von 50 %:
 $p = 50 \% \cdot 2.340 \text{ Pa} = \mathbf{1.170 \text{ Pa}}$
- Berechnung des Dampfdrucks p für Schimmelpilzgefahr:
 $1.170 \text{ Pa} : 80 \% = \mathbf{1.462,5 \text{ Pa}}$
- Bestimmung der Bauteiloberflächentemperatur, bei der der Dampfdruck von **1.462,5 Pa** zu einem Sattedampfdruck wird (aus Tabelle 1.1):
12,6 °C
- Ergebnis: Bei einer Oberflächentemperatur $\leq \mathbf{12,6 \text{ °C}}$ besteht nach DIN 41082 bereits Schimmelpilzgefahr.

Wasserdampfsättigungsdampfdruck p_s nach DIN 4108-3: Tabelle A.2

Temperatur θ in C° Dezimalwerte	Ganzzahlige Werte																										
	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	611	611	657	705	759	813	872	935	1002	1073	1148	1228	1312	1403	1498	1599	1706	1818	1937	2065	2197	2340	2487	2645	2810	2985	3169
0,1	605	616	662	710	765	819	878	942	1008	1081	1156	1237	1321	1413	1508	1610	1771	1830	1950	2079	2212	2354	2504	2661	2827	3003	3188
0,2	600	621	667	716	770	825	884	949	1016	1088	1163	1245	1330	1422	1518	1621	1729	1841	1963	2091	2227	2369	2518	2678	2845	3021	3208
0,3	595	626	672	721	776	831	890	955	1023	1096	1171	1254	1340	1431	1528	1631	1739	1854	1976	2105	2241	2384	2535	2695	2863	3040	3227
0,4	592	630	677	727	781	837	896	961	1030	1103	1179	1262	1349	1441	1538	1642	1750	1866	1988	2119	2254	2399	2551	2711	2880	3059	3246
0,5	587	635	682	732	787	843	902	968	1038	1110	1187	1270	1358	1451	1548	1653	1762	1878	2001	2132	2268	2413	2566	2727	2897	3077	3266
0,6	582	640	687	737	793	849	907	975	1045	1117	1195	1279	1367	1460	1559	1663	1773	1889	2014	2145	2283	2428	2582	2744	2915	3095	3284
0,7	577	645	691	743	798	854	913	982	1052	1125	1203	1287	1375	1470	1569	1674	1784	1901	2027	2158	2297	2443	2598	2761	2932	3114	3304
0,8	572	648	696	748	803	861	919	988	1059	1133	1211	1296	1385	1479	1578	1684	1795	1914	2039	2172	2310	2457	2613	2777	2950	3132	3324
0,9	567	653	700	753	808	866	925	995	1066	1140	1218	1304	1394	1488	1588	1695	1806	1926	2052	2185	2324	2473	2629	2794	2968	3151	3343

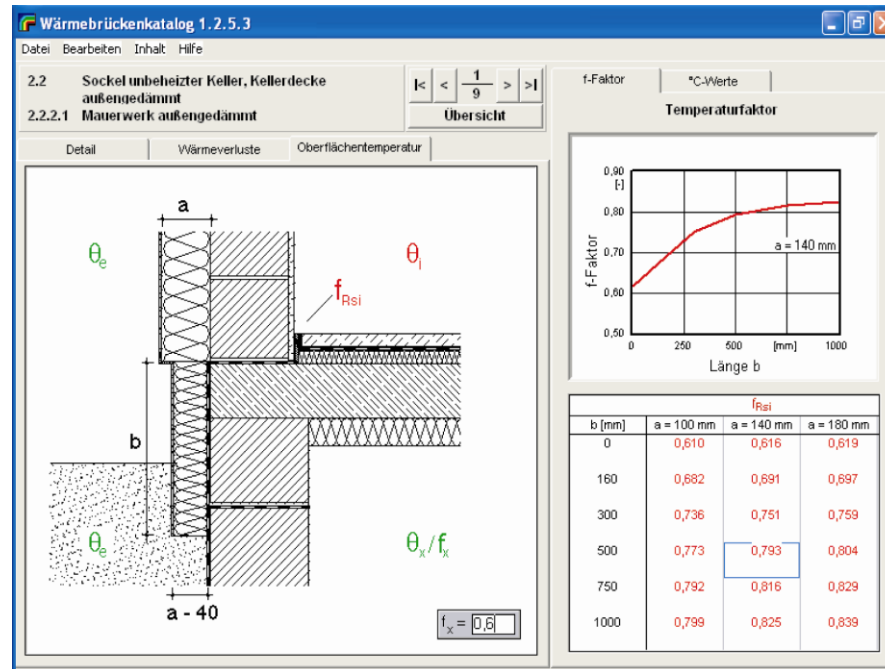
Berechnung der inneren Oberflächentemperatur mit f_{Rsi} :

Zur Bestimmung der inneren Oberflächentemperatur wird nach DIN 4108-2 der f_{Rsi} -Wert verwendet.

In Wärmebrückenkatalogen wird der f_{Rsi} -Wert zur Berechnung der niedrigsten Oberflächentemperatur θ_{si} angegeben. Damit errechnet sich θ_{si} mit der Formel:

$$\theta_{si} = f_{Rsi} \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e \quad ^\circ\text{C}$$

In Wärmebrückenkatalogen sind für eine Vielzahl von Wärmebrückendetails f_{Rsi} - Werte angegeben.



Wärmebrückenkatalog

Ing.-Büro Prof. Dr. Hauser

$$U_{AW} = 0,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{GU} = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\theta_{si} = f_{Rsi} \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e = 0,793 \cdot ((20 - (-5)) + (-5)) = 14,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

Wärmebrückenkatalog Ing. Büro Prof. Hauser

4.4. Berechnung der Oberflächentemperatur

a. Oberflächentemperaturen an Wärmebrücken nach DIN 4108

Die Randbedingungen für die Berechnung von Bauteiloberflächentemperaturen sind im Beiblatt 2 der DIN 4108 und in der DIN 4108-2 geregelt.

Randbedingungen:

Innenlufttemperatur	$\theta_i = 20$	°C
Außenlufttemperatur	$\theta_e = -5$	°C
Keller	$\theta_c = 10$	°C
Erdreich	$\theta_g = 10$	°C
unbeheizte Pufferzone	$\theta_p = 10$	°C
nicht gedämmter Dachraum	$\theta_D = -5$	°C
Tiefgarage	$\theta_D = -5$	°C

Wärmeübergangswiderstände innen:

beheizt Räume	$R_{si} = 0,25$	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
Fenster	$R_{si} = 0,13$	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

Wärmeübergangswiderstände außen:

nach DIN EN ISO 6946

b) Einfluss des Wärmeübergangswiderstand

Im Gegensatz zur Berechnung der Wärmeverluste über ein Außenbauteil, ist bei der Berechnung von Oberflächentemperaturen ein höherer innerer Wärmeübergangswiderstand

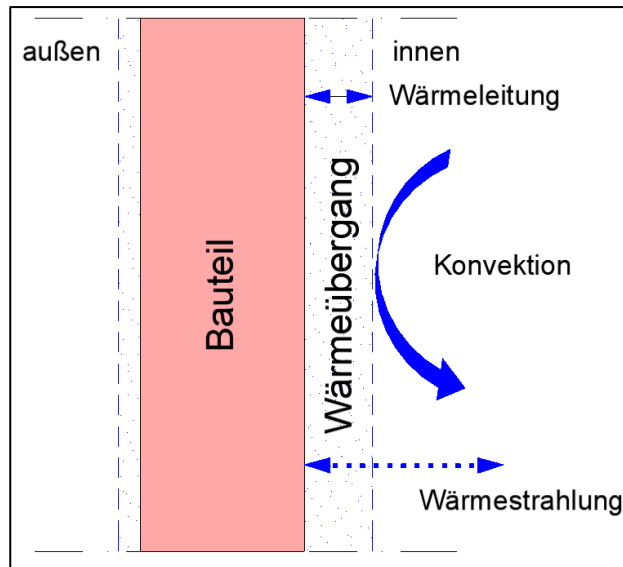
- „ R_{si} “ von 0,25 anzusetzen.

Der Wärmeübergangswiderstand gibt an, wie schnell die Wärme vom Raum an die Außenwand transportiert werden kann. Da in den Gebäudeecken eine geringere Zirkulation stattfindet als an der geraden Außenwand, kann dort die Wärme nicht so schnell an die Wand übertragen werden.

Aber auch in der Ecke darf es nicht zur Schimmelpilzbildung kommen. Um dies zu gewährleisten, ist bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen ein höherer Wärmeübergangswiderstand anzusetzen.

Der vorhandene innere Wärmeübergangswiderstand ist ausschlaggebend für die innere Oberflächentemperatur der Außenbauteile.

Ist erkennbar, dass der Wärmestrom in Bereich von Wärmebrücken an die Bauteiloberfläche stärker behindert wird, z.B durch größere Möbel bzw. Einbauschränke, muss dies auch bei der Bemessung der Wärmebrücke berücksichtigt werden.



Innerer Wärmeübergangswiderstand R_{si}
für die Außenwand:

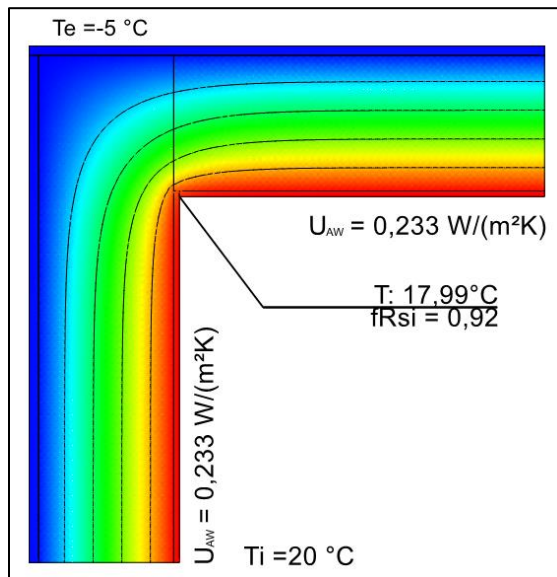
$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W Regelquerschnitt}$$

$$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W - hinter leichten Vorhänge}$$

$$R_{si} = 0,50 \text{ m}^2\text{K/ - hinter freistehenden Möbeln}$$

$$R_{si} = 1,00 \text{ m}^2\text{K/W – hinter einem Einbauschränk}$$

Berechnet man die Innentemperatur an einer Außenecke ergeben sich folgende Oberflächentemperaturen T_{io} in Abhängigkeit des inneren Wärmeübergangswiderstandes und des U-Werts:



U- Wert Außenwand = 0,233 W/(m²K)

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 17,99 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 16,85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{si} = 0,50 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 15,01 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{si} = 1,00 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 12,35 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Schimmelgefahr}$$

U- Wert Außenwand = 0,64 W/(m²K)

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 15,10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 12,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{si} = 0,50 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 9,5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Schimmelgefahr}$$

$$R_{si} = 1,00 \text{ m}^2\text{K/W} \quad T_{io} = 5,77 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Schimmelgefahr}$$

c) Berücksichtigung des Erdreichs bei der Berechnung des f_{Rsi} -Werts

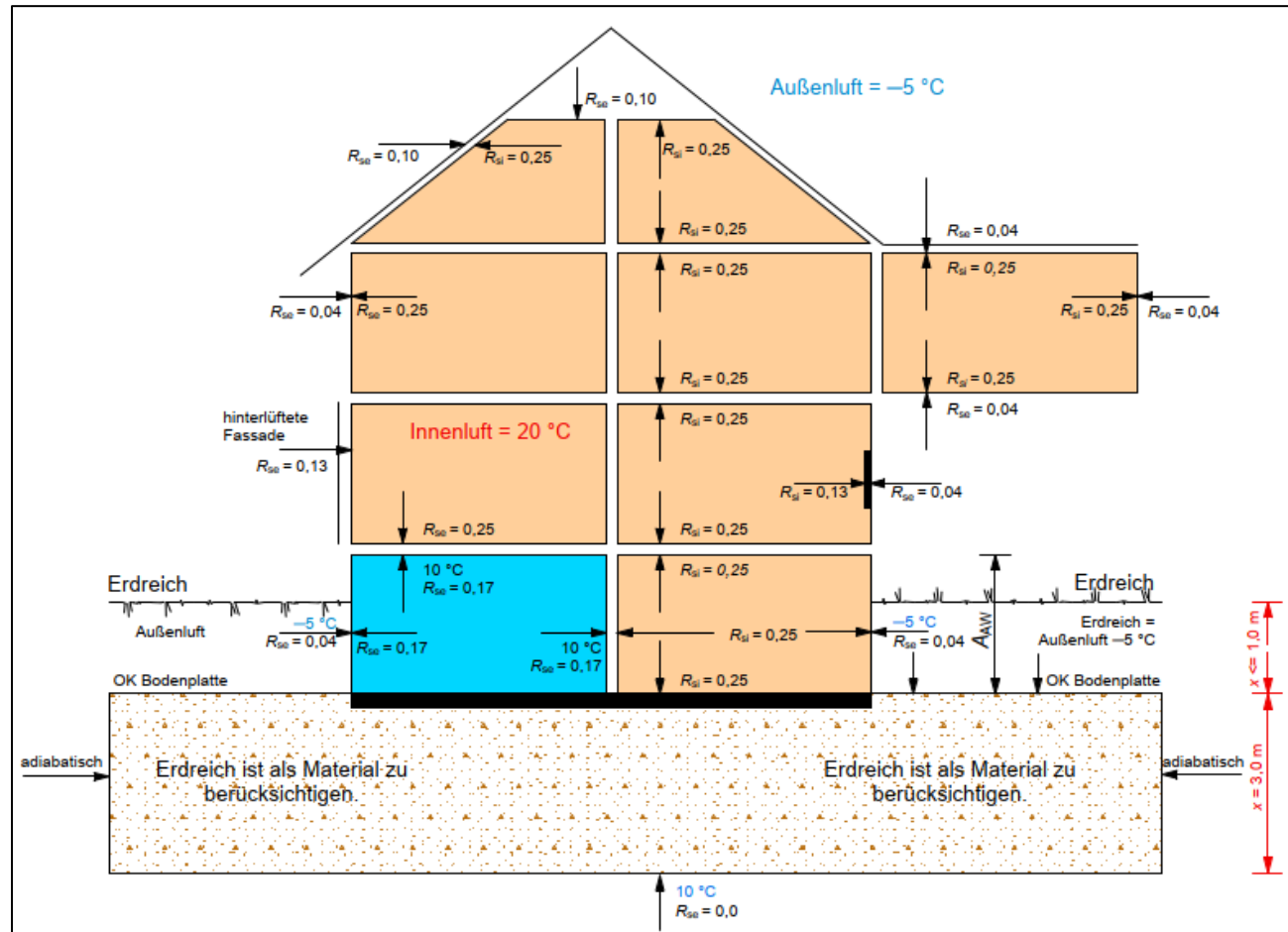
Im Gegensatz zur ψ -Wert Berechnung, wo das Erdreich nur über eine Außentemperatur in Abhängigkeit des F_x -Werts berücksichtigt wird, muss bei der Berechnung des f_{Rsi} -Werts vorhandenes Erdreich als Material berücksichtigt werden. Erdreich ist nach Bbl. 2 mit einem λ -Wert von 2,0 W/mK anzusetzen.

Für die Berechnung von Bauteiloberflächentemperaturen im Bereich des Erdreichs wird im Beiblatt 2 zur DIN 4108 unterschieden zwischen

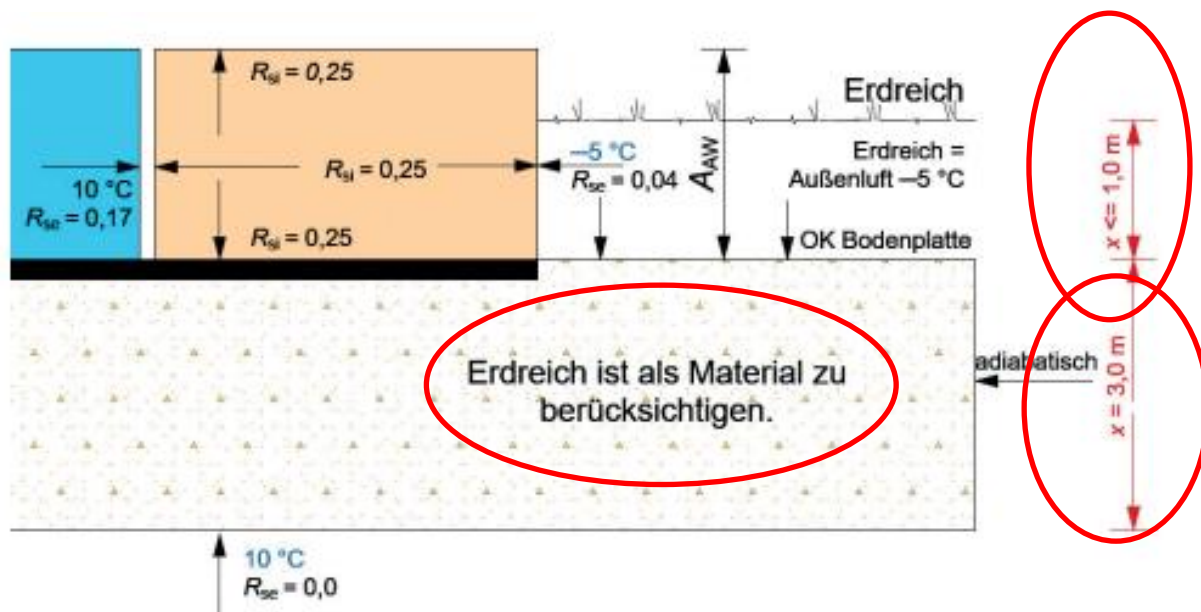
- *Erdreichanschüttung größer 1m“*
und
- *geringe oder keine Erdreichanschüttung“*

Außerdem ist bei der Berechnung das Erdreichs als Material mit zu Berücksichtigt.

Parameter für die Berechnung von Oberflächentemperaturen geringe oder keine Erdreichanschüttung



a) Erdreichanschüttung ≤ 1 m



Geringe oder keine Erdreichanschüttung:

X von OK Bodenplatte bis OK Erdreich

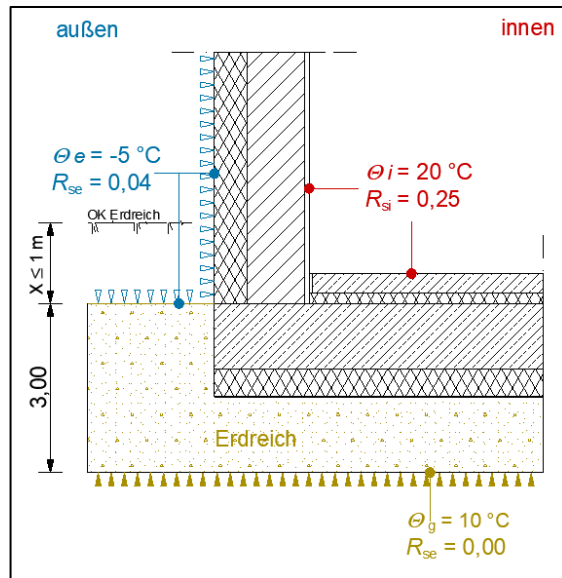
$X \leq 1,00$ m

Annahme:

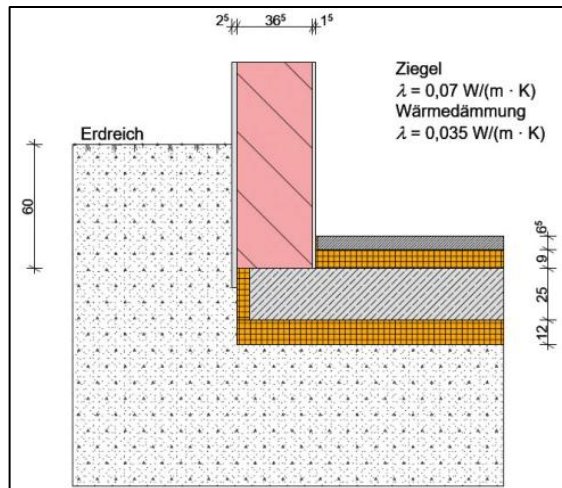
gesamte Außenwand grenzt an Außenluft

$R_{se} = 0,04\text{ m}^2\text{K/W}$

Außentemperatur = -5 °C

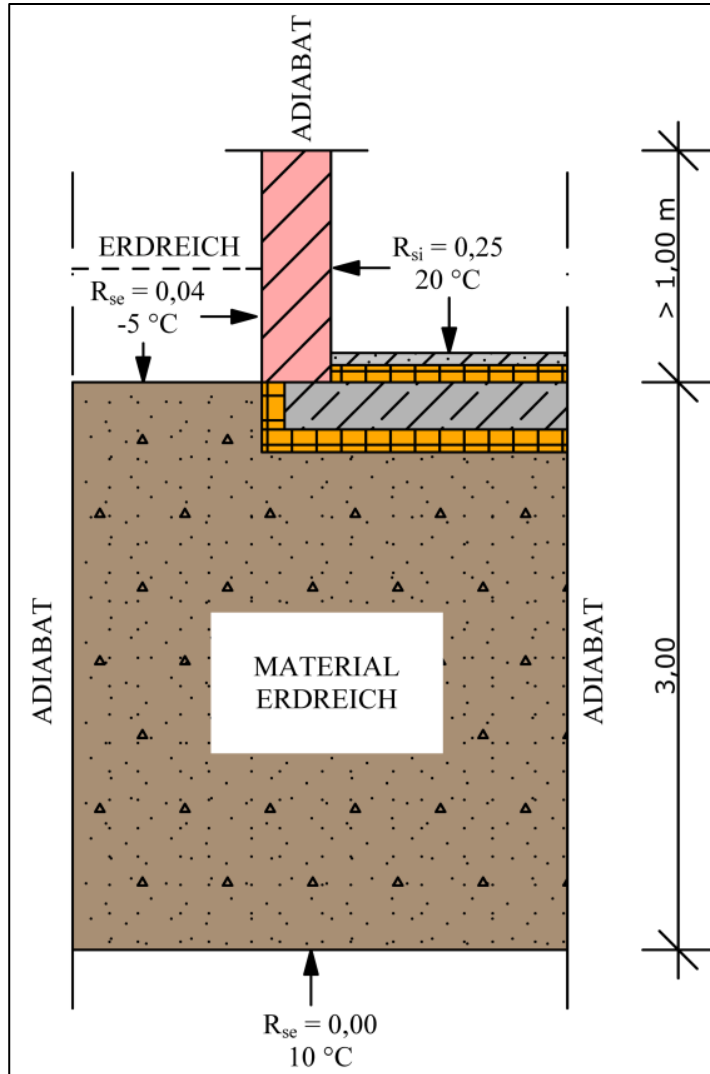


Randbedingungen für eine Bodenplatte mit geringer oder keiner Erdreichaufschüttung – nach DIN 4108 Bbl 2: 2006-03, Tabelle 7

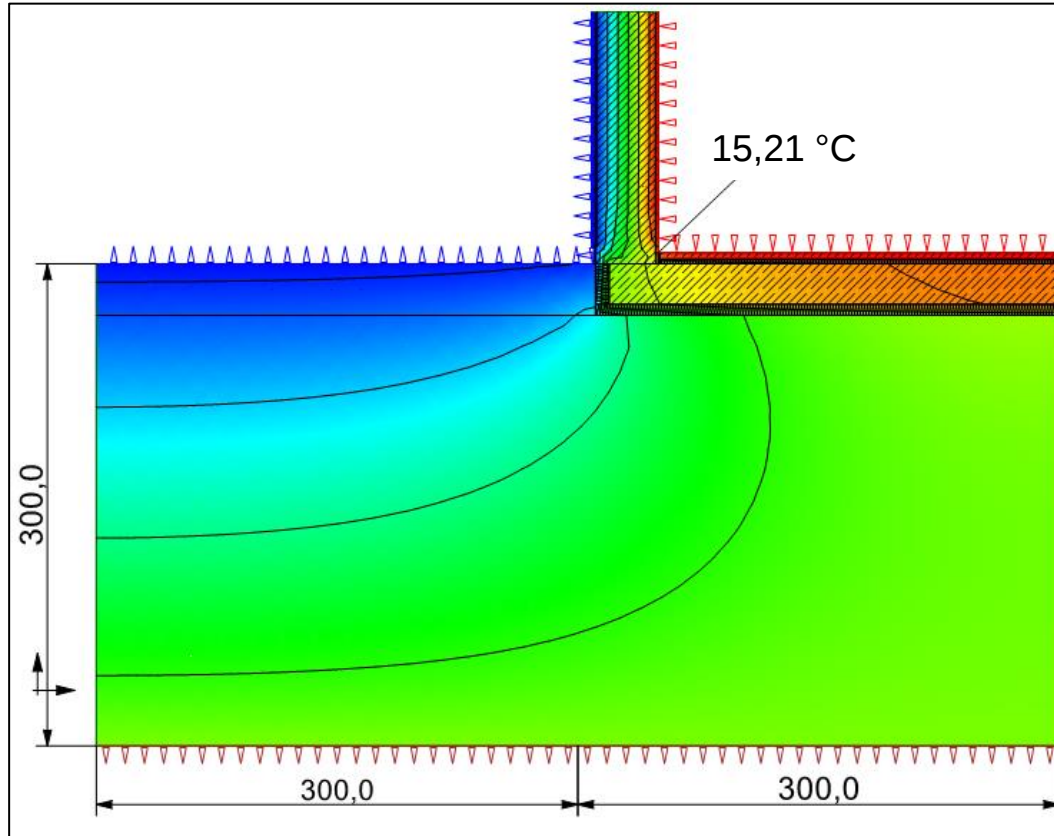


Beispiel:

Für den Anschluss Bodenplatte – Außenwand soll die Oberflächentemperatur in der Innenecke berechnet werden.



Darstellung der
Randbedingungen für die
Berechnung des
Sockeldetails –
Erdreichanschüttung $\leq 1\text{ m}$

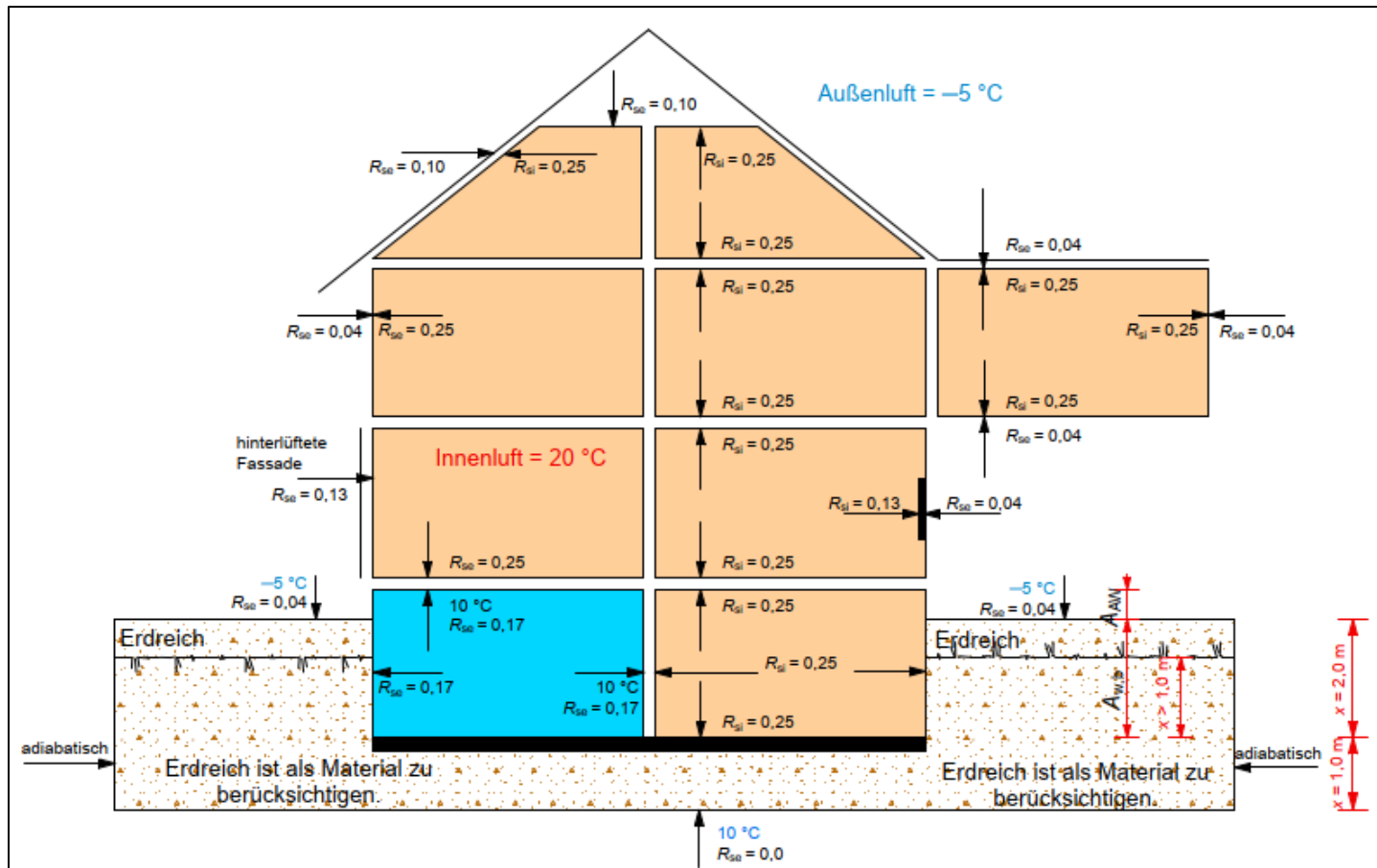


Für das Sockeldetail ergibt sich in der Ecke Bodenplatte Außenwand eine Oberflächentemperatur von 15,61 °C.

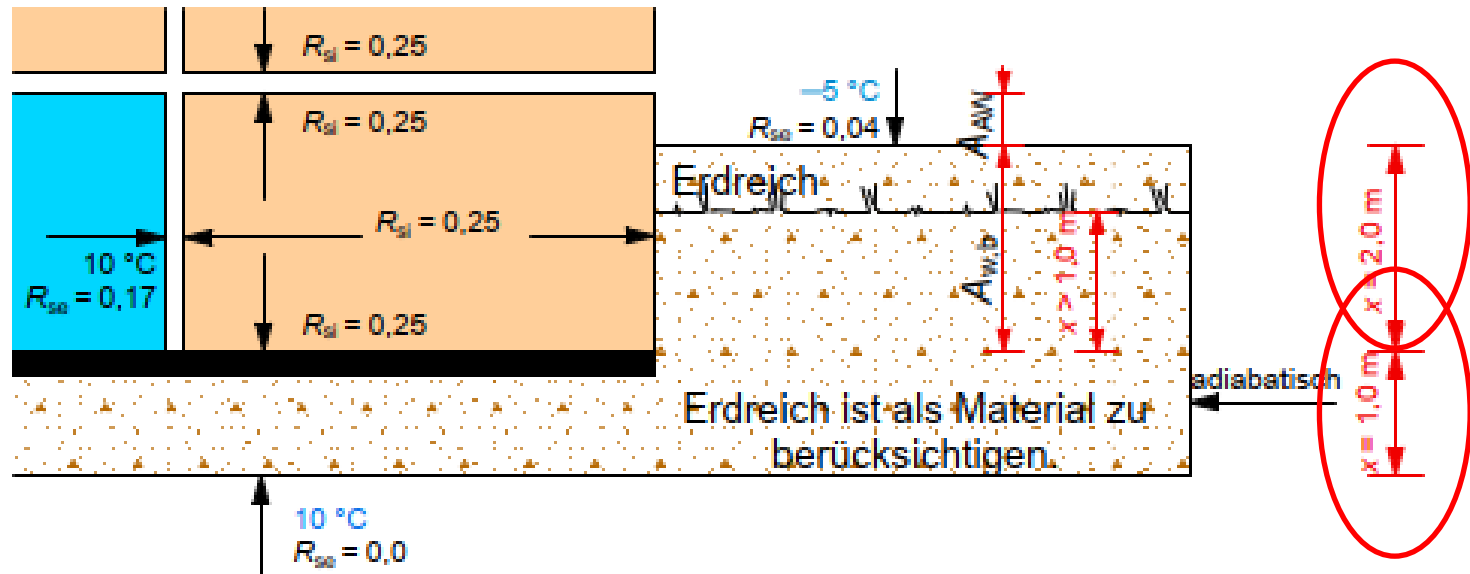
Der f_{Rsi} - Wert beträgt 0,809.

Parameter für die Berechnung von Oberflächentemperaturen

Erdreichanschüttung **größer 1 m**



b) Erdreichanschüttung größer als 1 m



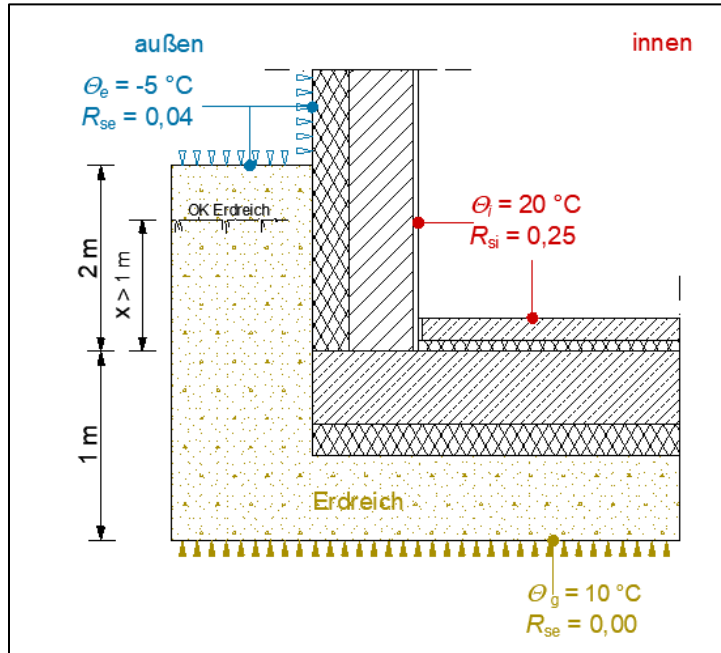
Erdreichanschüttung $> 1\text{ m}$:

X von OK Bodenplatte bis OK Erdreich

$X > 1,00\text{ m}$

Annahme:

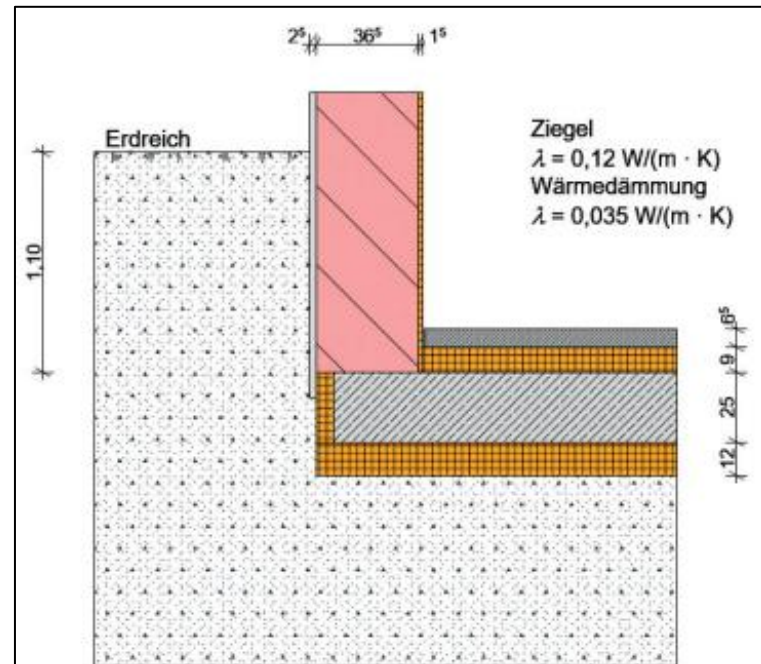
Außenwand grenzt 2 m an Erdreich



Beispiel:

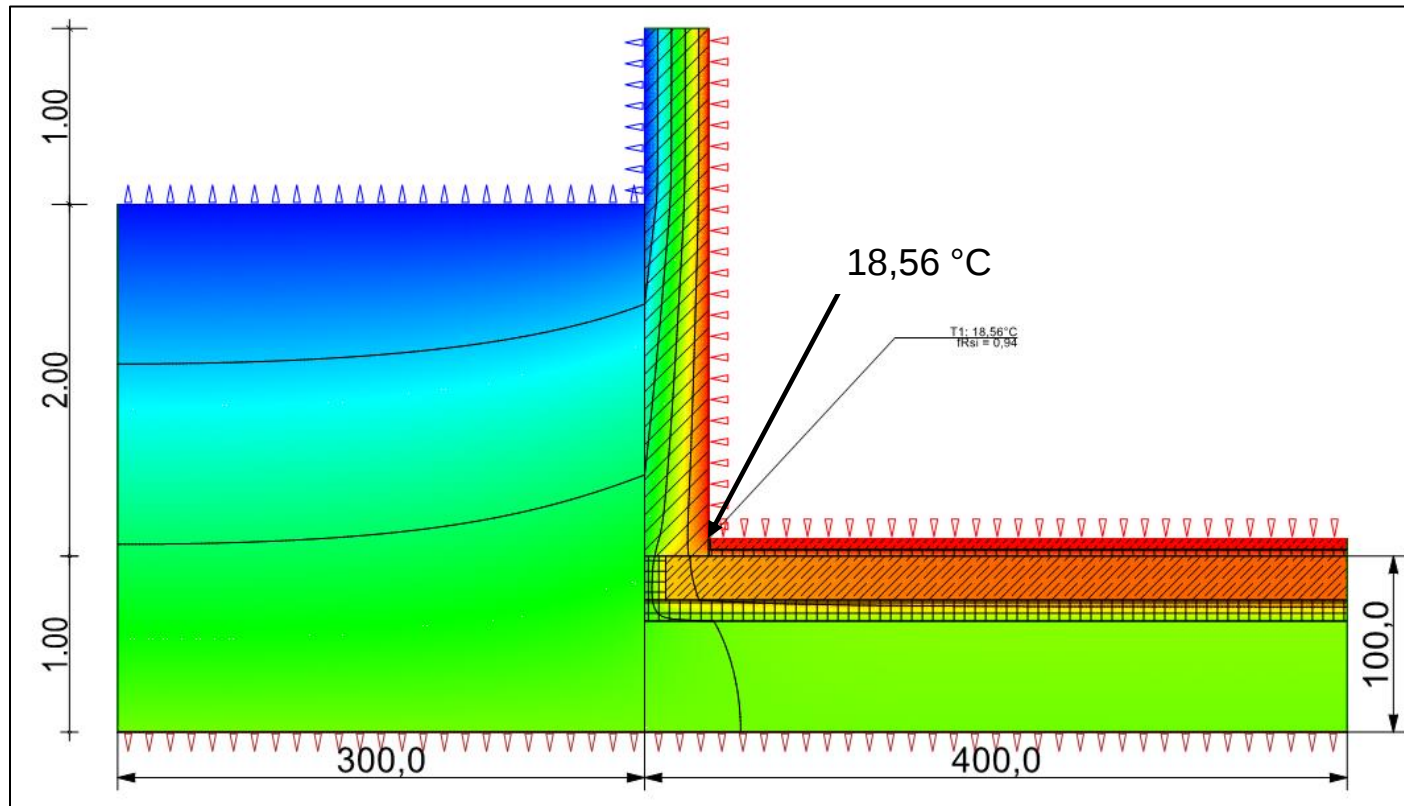
Für den Anschluss Bodenplatte – Außenwand soll die Oberflächentemperatur in der Innenecke berechnet werden.

Randbedingungen für eine Bodenplatte mit Erdreichaufschüttung größer 1 m – aus der DIN 4108 Bbl 2: 2006-03, Tabelle 7



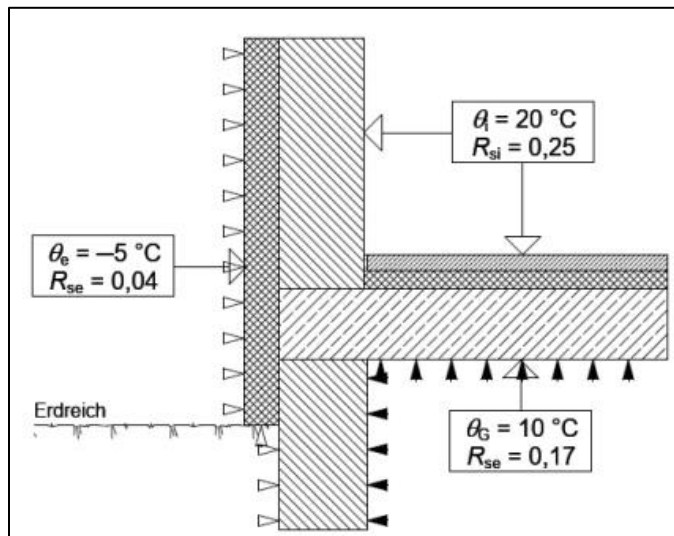
Für das Bodenplattendetail ergibt sich in der
Ecke Bodenplatte Außenwand eine
Oberflächentemperatur von 18,56 °C.

$$f_{Rsi} = 0,94$$

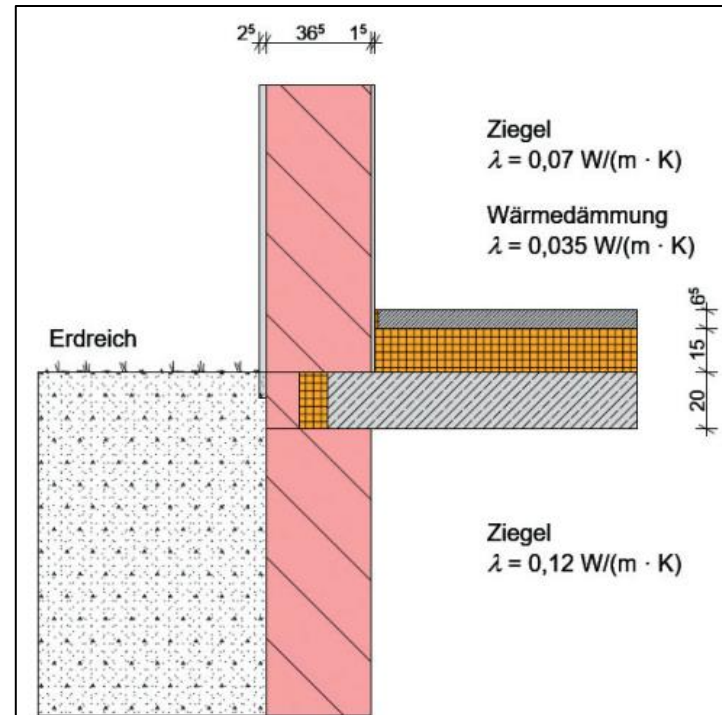


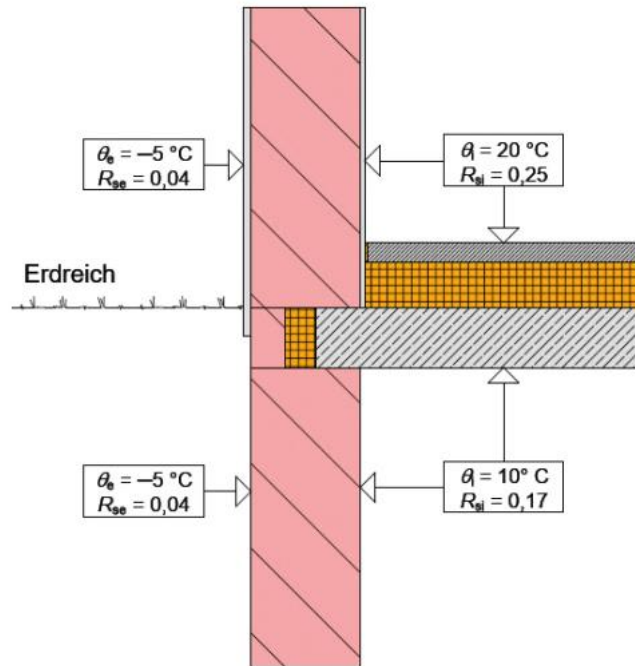
c) Sockeldetail mit unbeheiztem Keller

Randbedingungen für Sockeldetail mit unb. Keller –
aus der DIN 4108 Bbl 2: 2006-03, Tabelle 7



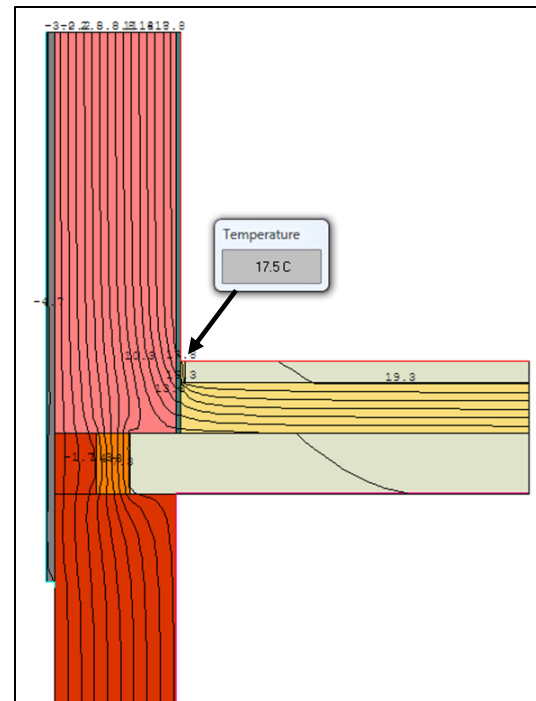
Beispiel:
Sockeldetail – Keller unbeheizt





Hier wird im Bereich der Kelleraußenwand kein Erdreich berücksichtigt. Bei der Berechnung grenzt die Kellerwand auch gegen Außenluft.

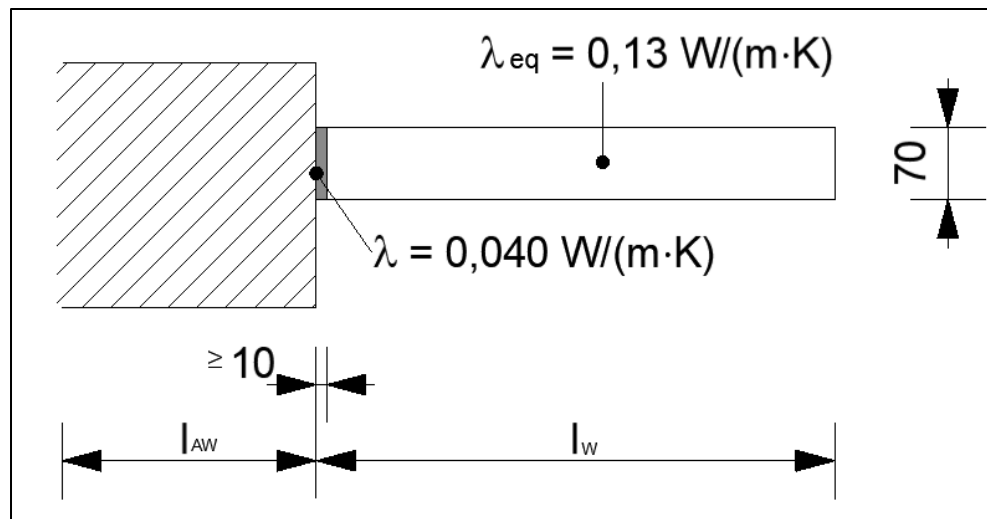
Für das Sockeldetail ergibt sich in der Ecke Kellerdecke zur Außenwand eine Oberflächentemperatur von $17,5^\circ\text{C}$.



d) Bauelemente **Fenster/Fenstertüren**

Die prinzipielle vereinfachte Abbildung eines Fensteranschlusses aus dem Bbl. 2:2016-06 ist geblieben.

Das Fenster darf weiterhin als „**Holzbrett**“ mit einer Dicke von **70 mm** und einem **λ -Wert von 0,13 W/(mK)** abgebildet werden. Bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen ist jedoch nun nach Bbl 2:2019-06 Bild 3 ein **Korrekturwert** nach Tabelle 1 zu berücksichtigen.



Bauelemente **Fenster/Fenstertüren**

Bestimmung des Korrekturwerts für die Oberflächentemperatur bei einem Fensterprofil

Beispiel:

Rahmenmaterial	Brüstung K	Laibung K	Sturz K
Holz/KST	-1,5	-0,5	-0,5
Metall	-0,5	-3,0	-3,0

Tabelle 2 Bbl.2 Entwurf
Korrekturwerte der
Oberflächentemperatur

Beispiel:

- WB Kategorie A
- Außenwand gedämmt
- Holzrahmen
- Laibung mit Führungsschiene

Berechnete Oberflächentemperatur über eine Ersatzmaske
+ Korrekturwert aus Tabelle 2

$$16,74 \text{ °C} + (-0,5 \text{ °C}) = \mathbf{16,24 \text{ °C}} > 12,6 \text{ °C}$$

Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 ist eingehalten.

4.5. Wärmeverluste über Wärmebrücken (ψ -Wert)

Linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ -Wert

Aufgrund des an Wärmebrücken größeren Wärmestroms kommt es dort zu einem erhöhten Energieverlust und zur Absenkung der Oberflächentemperatur. Dieser zusätzliche Energieverlust kann als sog. Wärmebrückenverlustkoeffizient (WBV) nach DIN EN ISO 10211 berechnet oder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen werden.

Hierbei werden zwei Arten von Wärmebrücken unterschieden:

- Ψ lineare Wärmebrücken

z.B. Decken- und Wandkanten, Fenster- und Türlaibungen

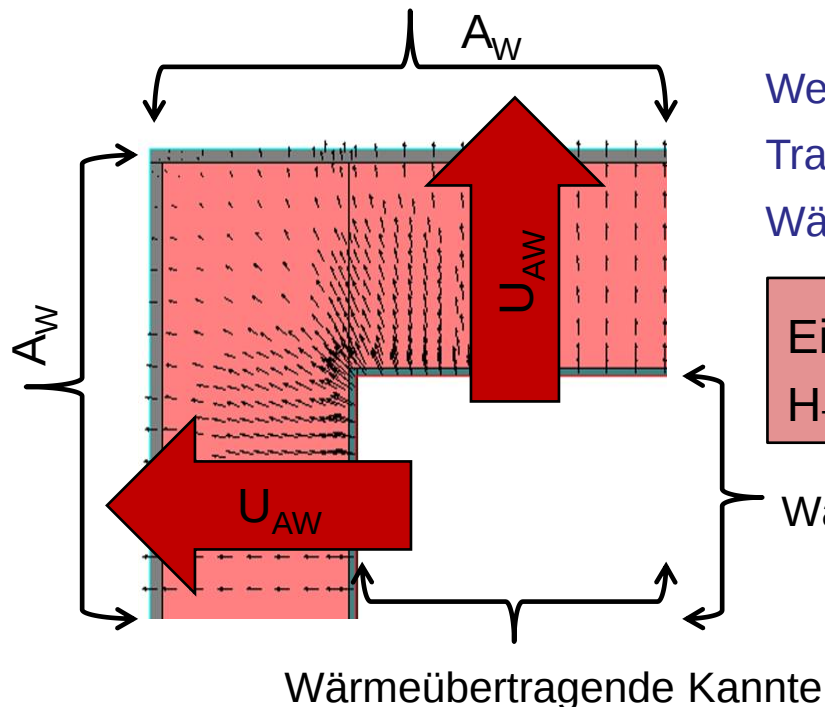
- χ punktförmige Wärmebrücken

z.B. Dämmung durchdringende Verbindungsmittel, Stützen

Lineare Wärmebrücken:

ψ ► Wärmebrückenverlustkoeffizient $[W/(m \cdot K)]$

Der Wärmebrückenverlustkoeffizient gibt an, welche Wärmeverluste pro laufenden Meter Wärmebrücke und pro Kelvin Temperaturdifferenz im Bereich der Wärmebrücke **zusätzlich** verloren gehen.

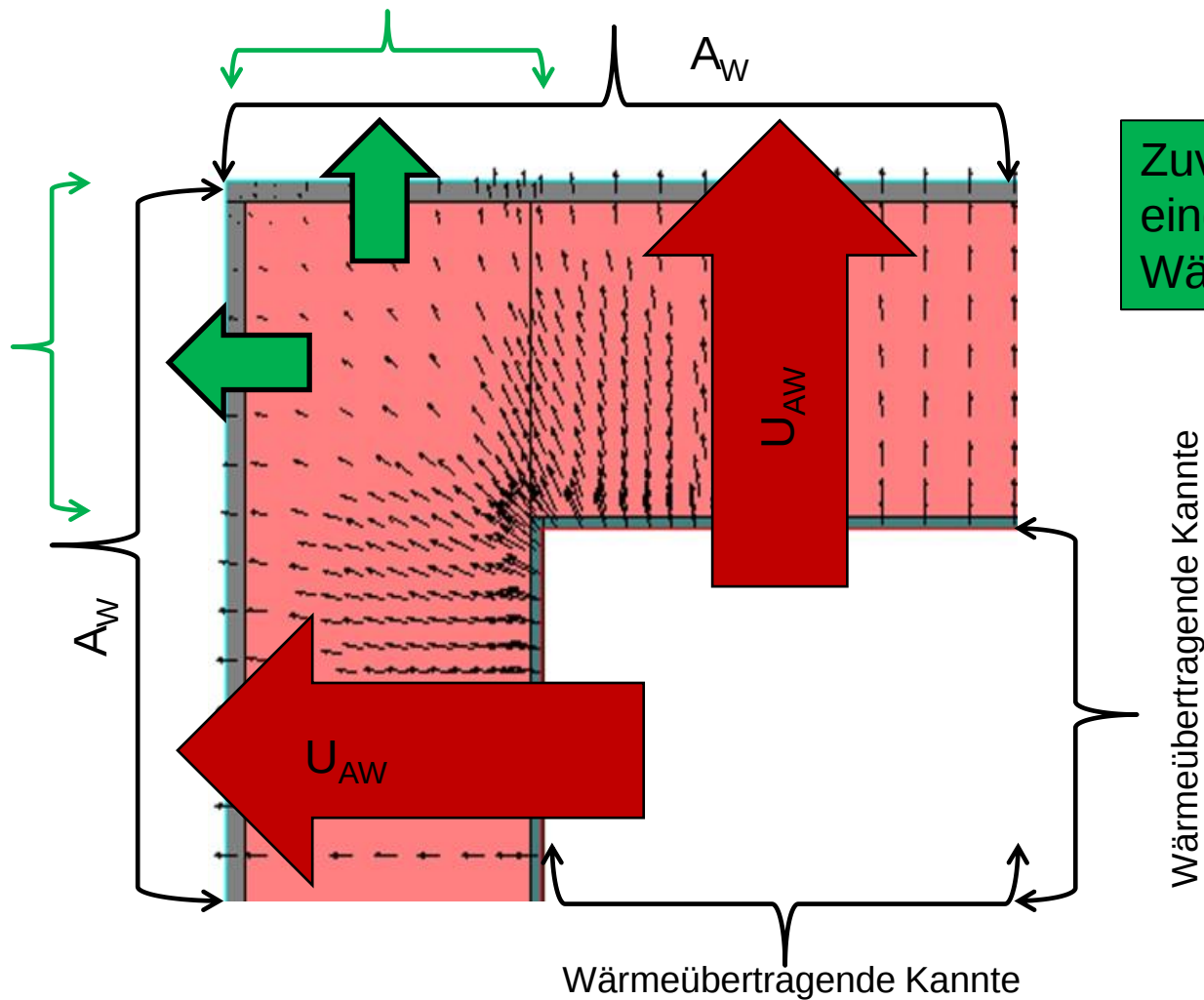


Welcher Wärmestrom wird bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste H_T nach GEG an einer Wärmebrücke berücksichtigt?

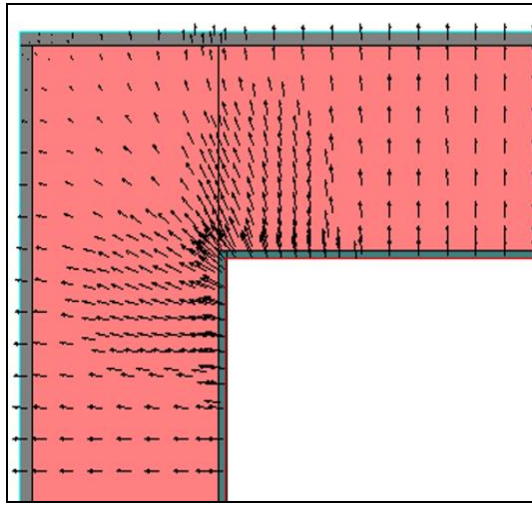
Eindimensionaler Wärmestrom Außenwand
 $H_{T,AW} = U_{AW} \cdot A_{AW}$ (Außenmaßbezug)

Wärmeübertragende Kante

Wärmeübertragende Kante



Zuviel berücksichtigter
eindimensionaler
Wärmestrom!



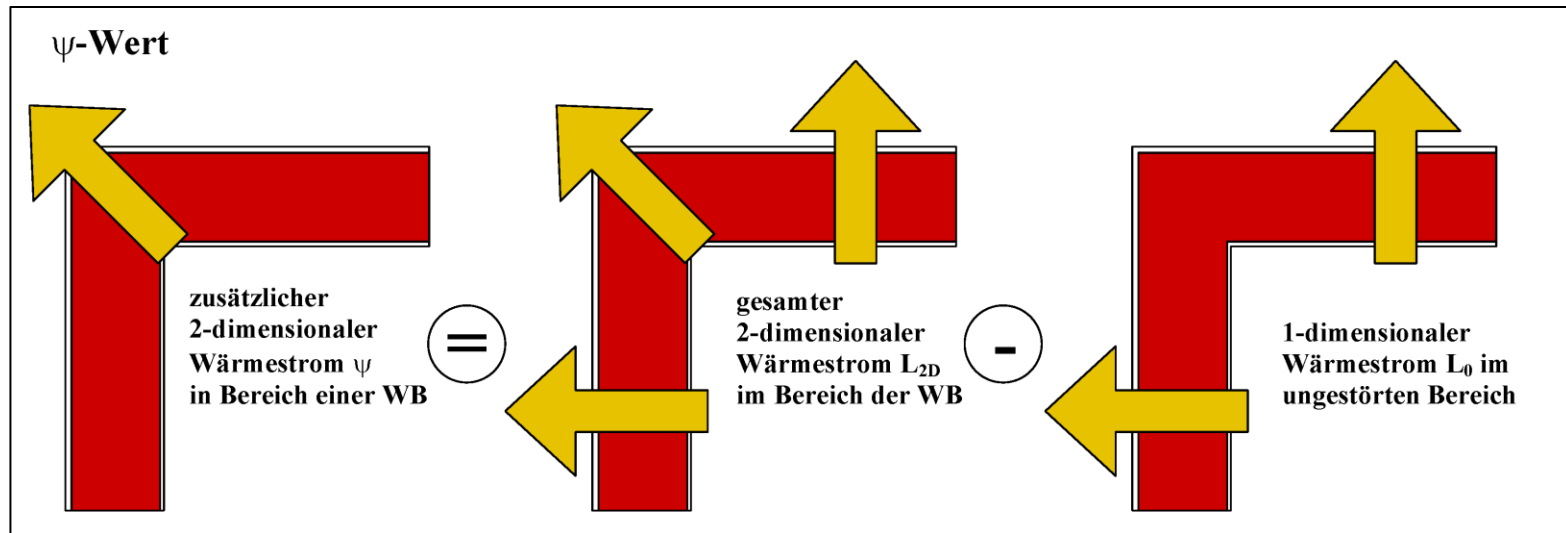
Das heißt:

Für die Energiebilanzierung eines Gebäudes wird nicht der **gesamte Wärmestrom** an einer **Wärmebrücke** benötigt, sondern nur der **zusätzliche Wärmestrom**, der aufgrund der Wärmebrückenwirkung verursacht wird.

Ein Teil der Wärmeverluste an eine Wärmebrücke wurde bereits bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste für die flankierenden Bauteile berücksichtigt,

Berechnung der zusätzlichen Wärmeverluste an einer Wärmebrücke

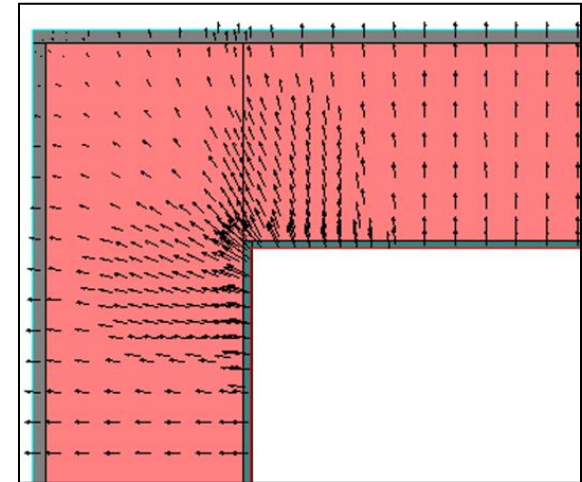
Der zusätzliche **zweidimensionale Wärmestrom** in W im Bereich der Wärmebrücke ΔL_{2D} berechnet sich aus der Differenz des gesamten **Wärmestroms** L_{2D} im Bereich der Wärmebrücke und dem Wärmestrom L_0 **im ungestörten Bereich**, bezogen auf die wirksame Fläche des Wärmebrückenbereichs A_{WB} und des definierten Temperaturunterschieds $\Delta\theta_i$.



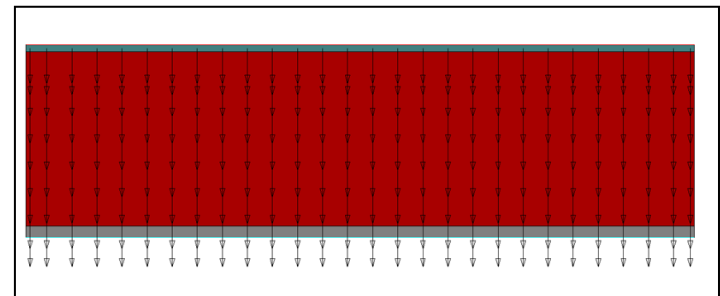
Der **zusätzliche** längen- und auf ein Kelvin bezogene Wärmestrom ψ (Wärmedurchlasskoeffizient) im Bereich der Wärmebrücke errechnet sich somit:

$$\psi = L_{2D} - \sum L_0 \quad W/(m \cdot K)$$

L_{2D} = zweidimensionaler Wärmestrom im Bereich der Wärmebrücke (gestörter Bereich)
(über Isothermenprogramm)



L_0 = eindimensionaler Wärmestrom der flankierenden Bauteile
(kann per Hand berechnet werden)



Der **gestörte zweidimensionale** Wärmestrom L_{2D} , bezogen auf 1m Länge und auf einen Kelvin errechnet sich:

$$L_{2D} = \Phi_{2D} / (\theta_i - \theta_e) \cdot b_i \quad W/(m \cdot K)$$

$$\Phi_{2D} = \text{Wärmestrom innerhalb des Wärmebrückenbereichs (mit Isothermenprogramm)} \quad \text{in W}$$

$$b_i = \text{Breite des Wärmebrückenbereichs} \quad \text{in m}$$

Die Breite der Wärmebrücke bezieht sich immer auf die innere wärmeübertragende Kante.

Der **ungestörte eindimensionale** Wärmestrom L_0 , bezogen auf 1m Länge und auf einen Kelvin errechnet sich:

$$L_0 = \sum (U_j \cdot l_j) \quad W/(m \cdot K)$$

U_j = Wärmedurchgangskoeffizient der flankierenden Bauteile in $W/(m^2K)$

l_j = Länge des flankierenden Bauteiles in m

Die Länge des flankierenden Bauteils ist in Abhängigkeit der Systemgrenze zu bestimmen.

Innenmaßbezogener und außenmaßbezogener ψ -Wert

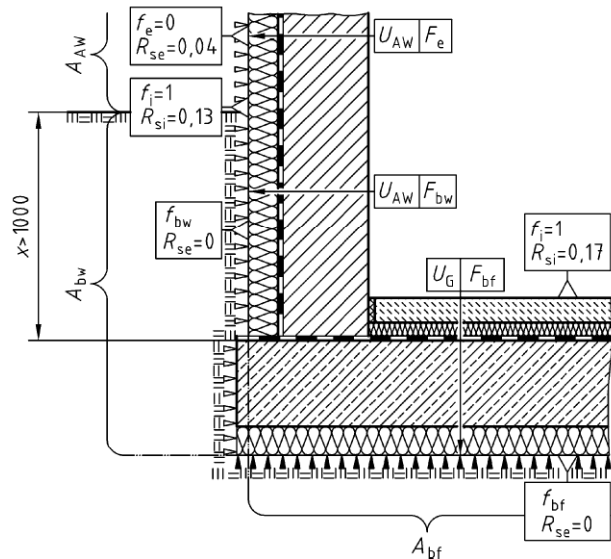
Bei der Bestimmung von Wärmeverlusten an Wärmebrücken wird zusätzlich unterschieden, ob die Wärmeverluste „**innenmaßbezogen**“ oder „**außenmaßbezogen**“ ermittelt werden. Dies hat einen erhebliche Einfluss auf die zusätzlich zu berücksichtigenden Wärmeverluste ψ an einer Wärmebrücke.

Hinweis:

Prinzipiell sind die zusätzlich zu berücksichtigenden Wärmeverluste über die Wärmebrücken (ψ -Wert) in Abhängigkeit der Lage der gewählten Systemlinie zu bestimmen.

Abhängigkeit des ψ -Werts von der Systemlinie

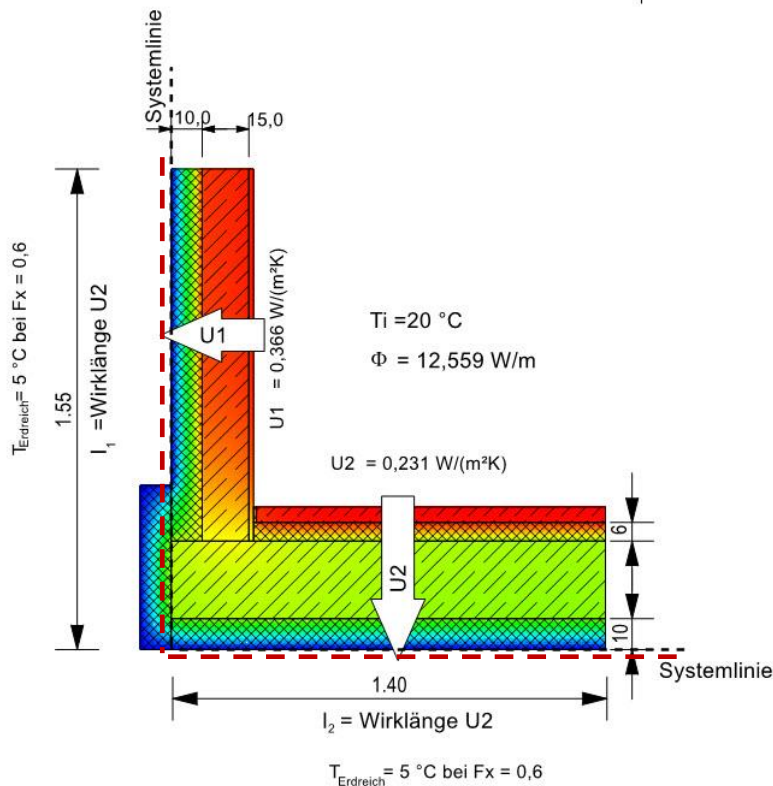
Wird der ψ -Wert für den Gleichwertigkeitsnachweis benötigt und berechnet, ist die Systemlinie für die Berechnung des ψ -Werts nach den Regelungen im Kapitel 7 Beiblatt 2 zu definieren. Dort ist für jedes abgebildete Detail definiert, wie die ψ -Werte berechnet wurde.



Randbedingung für eine
Bodenplatte mit Außendämmung
mit mehr als 1 m
Erdreichanschüttung.

Beiblatt 2 2006/3

Abhängigkeit des ψ - Werts von der Systemlinie



Im **Beiblatt 2 2006-03** verläuft die Systemlinie bei einem Bodenplattendetail mit Dämmung unter der Bodenplatte unterhalb der Dämmung. Der eindimensionale Wärmestrom L_0 ist wie folgt zu berücksichtigen:

$$L_0 = U_1 \cdot I_1 \cdot F_x + U_2 \cdot I_2 \cdot F_x$$

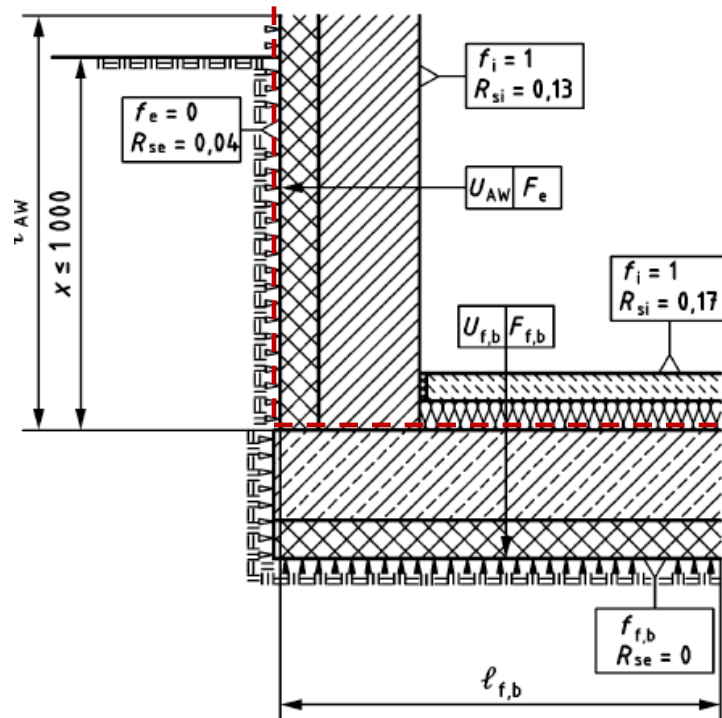
$$L_0 = (0,366 \cdot 1,55 \cdot 0,6 + 0,231 \cdot 1,40 \cdot 0,6)$$

$$\psi = L_{2D} - L_0$$

$$\psi = 0,502 - (0,34 + 0,195) \text{ W/(mK)}$$

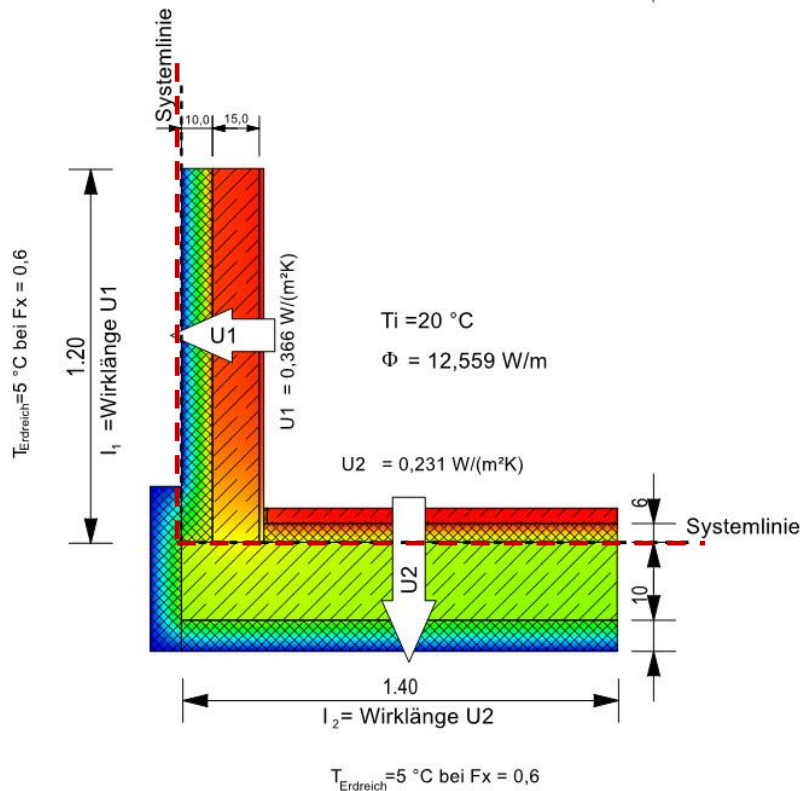
$$\psi = -0,03 < \text{zul. } -0,03 \text{ nach Bbl. 2}$$

Abhängigkeit des ψ -Werts von der Systemlinie



Im **Beiblatt 2 2019** verläuft die Systemlinie bei einem Bodenplattendetail mit Dämmung nun oberhalb der Bodenplatte, konform nach DIN 18599-1.

Abhängigkeit des ψ - Werts von der Systemlinie



Der eindimensionale Wärmestrom L_0 ist dann wie folgt zu berücksichtigen:

$$L_0 = U_1 \cdot l_1 \cdot F_x + U_2 \cdot l_2 \cdot F_x$$

$$L_0 = (0,366 \cdot 1,20 \cdot 0,6 + 0,231 \cdot 1,40 \cdot 0,6)$$

$$\psi = L_{2D} - L_0$$

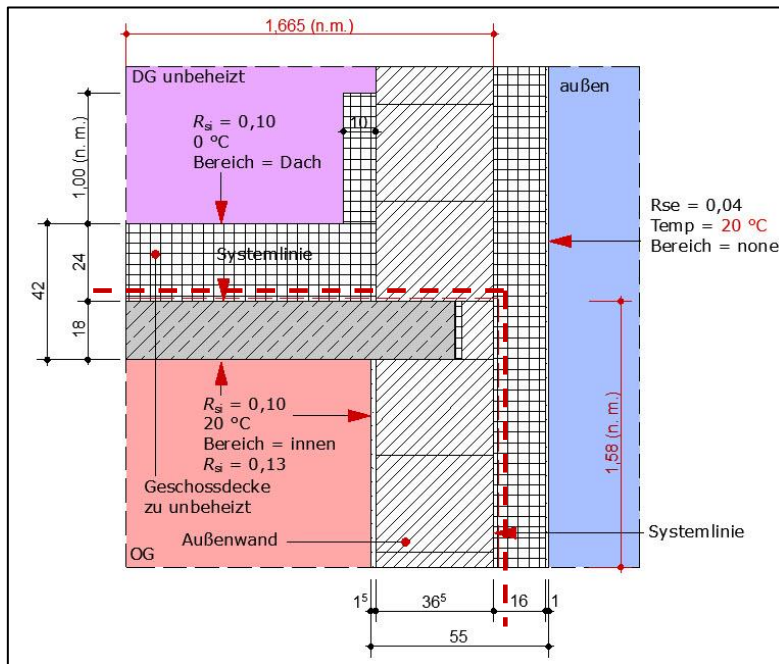
$$\psi = 0,502 - (0,264 + 0,195) \text{ W/(mK)}$$

$$\psi = 0,045 \text{ W/(mK)} < \text{zul. } 0,15 \text{ W/(mK)}$$

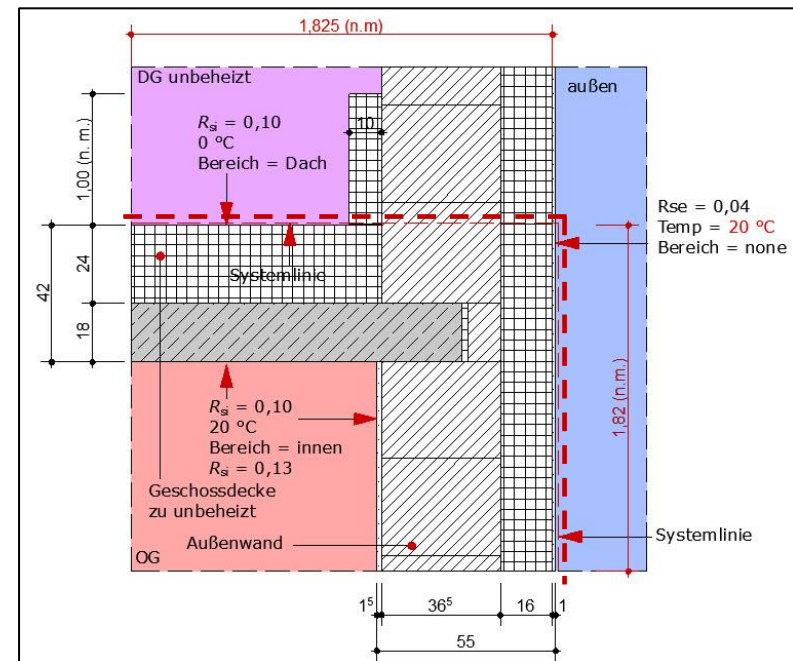
Nach dem die Außenwand bei diesem Beispiel Flächenmäßig ab OK Bodenplatte berücksichtigt wurde, ergibt sich ein kleinerer L_0 - Wert und somit ein größerer ψ -Wert.

Abhängigkeit des ψ - Werts von der Systemlinie bei einem Bestandsgebäude

Oberste Geschossdecke zum unb. Dachraum:

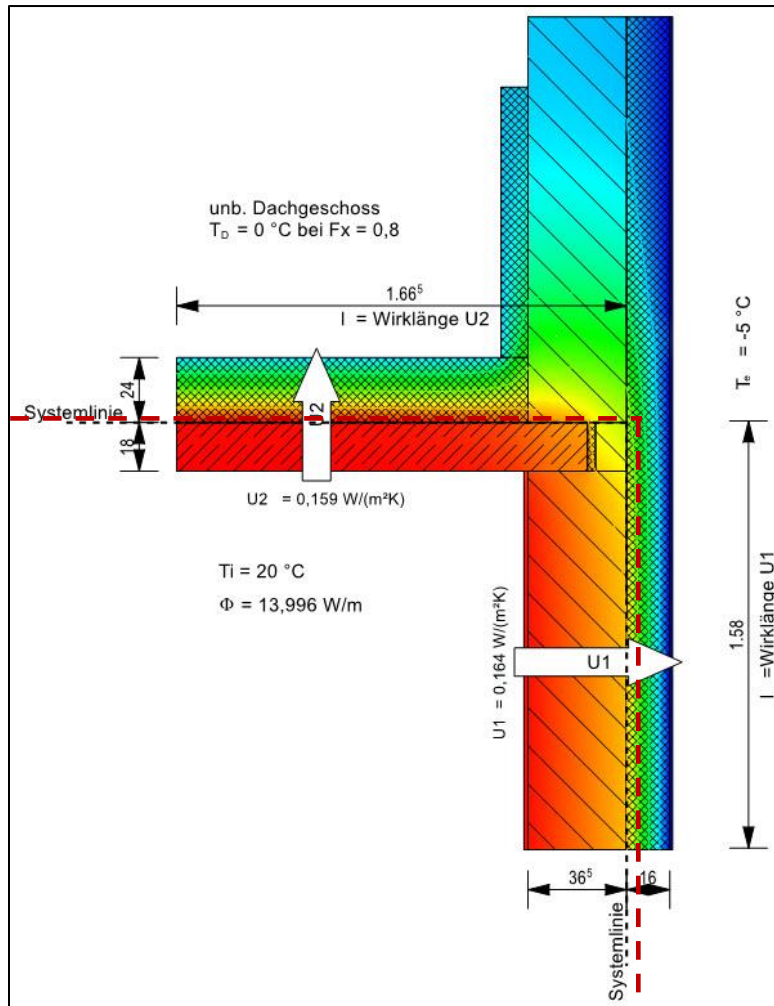


Systemlinie wurde nicht an die Außenkante verschoben.



Systemlinie wurde am die Außenkannte verschoben.

Abhängigkeit des ψ - Werts von der Systemlinie



$$\psi\text{-Wert} = L_{2D} - \sum U_i \cdot l_i$$

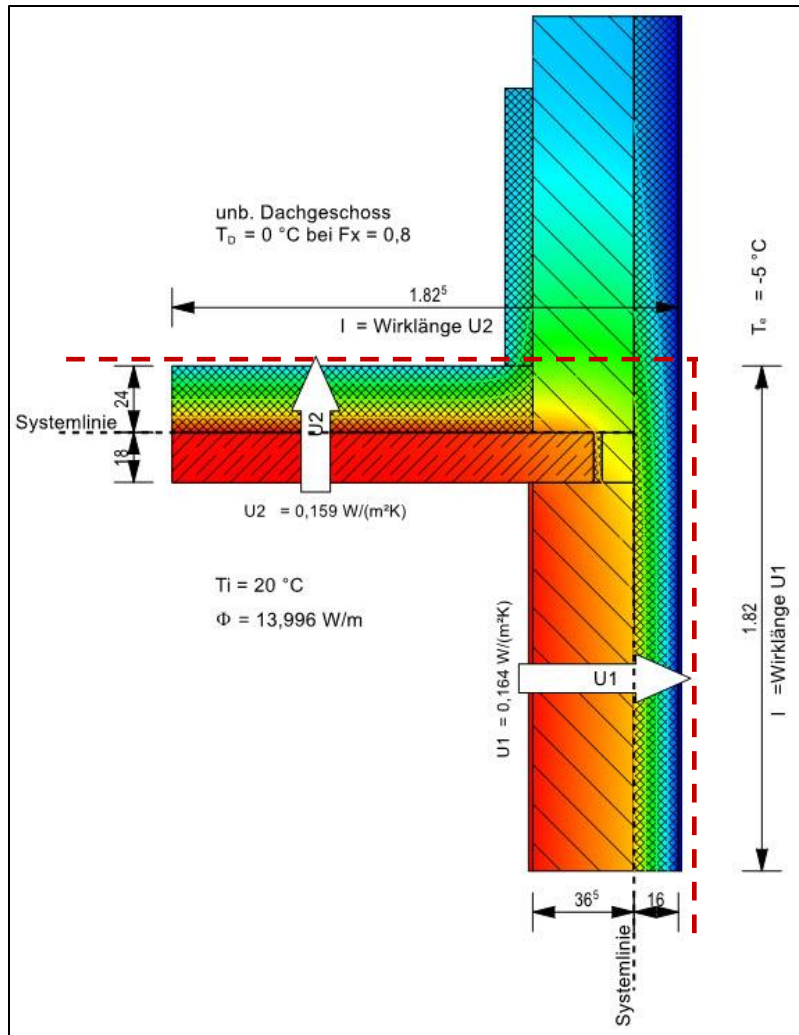
$$\psi\text{-Wert} = 13,996 \text{ W/m} / 25 \text{ K} -$$

$$(0,164 \cdot 1,58 + 0,159 \cdot 1,665 \cdot 0,8) \text{ W/(mK)}$$

$$\psi\text{-Wert} = 0,56 - (0,259 + 0,212) \text{ W/(mK)}$$

$$\psi\text{-Wert} = 0,088 \text{ W/(mK)}$$

Abhängigkeit des ψ - Werts von der Systemlinie



$$\psi\text{-Wert} = L_{2D} - \sum U_i \cdot l_i$$

$$= 13,996 \text{ W/m} / 25 \text{ K} -$$

$$(0,164 \cdot 1,82 + 0,159 \cdot 1,825 \cdot 0,8) \text{ W/(mK)}$$

$$\psi\text{-Wert} = 0,56 - (0,298 + 0,232) \text{ W/(mK)}$$

$$\psi\text{-Wert} = 0,028 \text{ W/(mK)}$$

Punktbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient (WBV) χ

Der χ -Wert kennzeichnet den sich an einer punktförmigen Wärmebrücke gegenüber dem ungestörten Bereich vergrößernden Wärmedurchgang in W/K. Dies sind z.B. Betonstützen in einer Tiefgarage oder die Verbindungsmittel eines Wärmedämmverbundsystems.

Nach DIN V 41086 (Tabelle D3) und DIN V 185992 (Abschnitt 6.2.1.2) sind für die Berechnung der Transmissionswärmeverluste nur lineare Wärmebrücken zu berücksichtigen, da punktförmige Wärmebrücken in der Regel nur einen geringen Einfluss auf die Energiebilanz haben.

Wenn jedoch **punktförmige Wärmebrücken** an einem Gebäude **häufig** auftreten, wie z. B. Stützen in Tiefgaragen, sollte deren Einfluss auf die Energiebilanz untersucht werden. Wichtig ist, dass auch punktförmige Wärmebrücken so ausgeführt werden müssen, dass sie nach DIN 41082 **tauwasserfrei** sind.

Wärmeverluste über Wärmebrücken (ψ -Wert)

Die Randbedingungen für die Berechnung von Wärmeverlusten an Wärmebrücken sind ebenfalls in der Tabelle 7 im Beiblatt 2 der DIN 4108 geregelt.

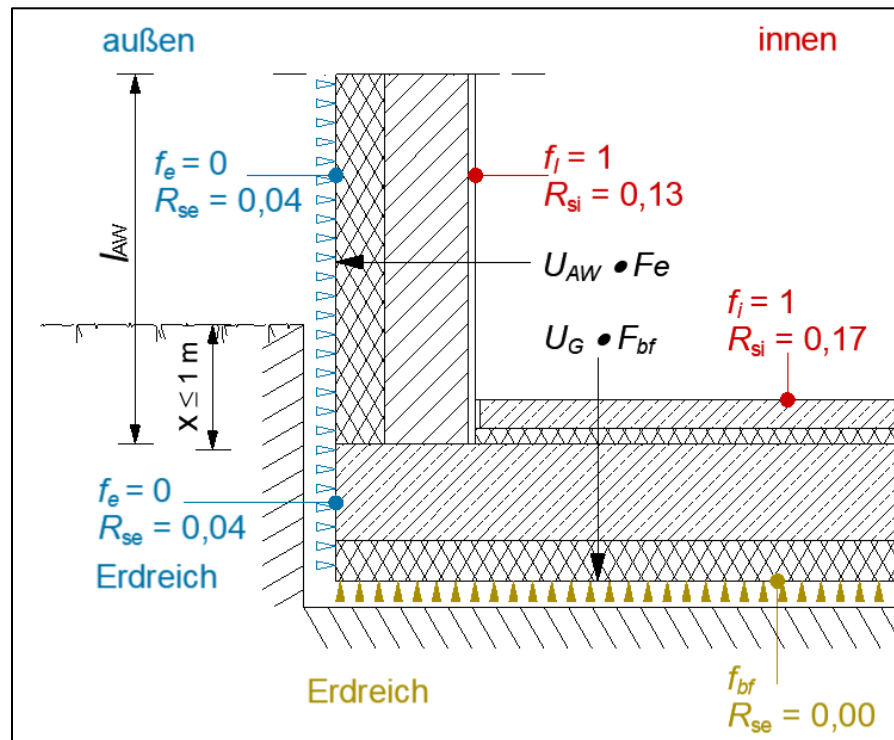
Der längenbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ gibt so wie der U-Wert an, wie viel Wärme

- pro m Länge und
- 1 K Temperaturunterschied

verloren gehen.

Die Bestimmung des ψ -Werts ist also **Temperaturunabhängig**.

Für die einzelnen Wärmebrückendetails sind die Randbedingungen für die Berechnung in der Tabelle 7 im Beiblatt 2 detailliert dargestellt. Sie sind identisch mit den Randbedingungen, die auch bei der U-Wert Berechnung nach EnEV gelten.

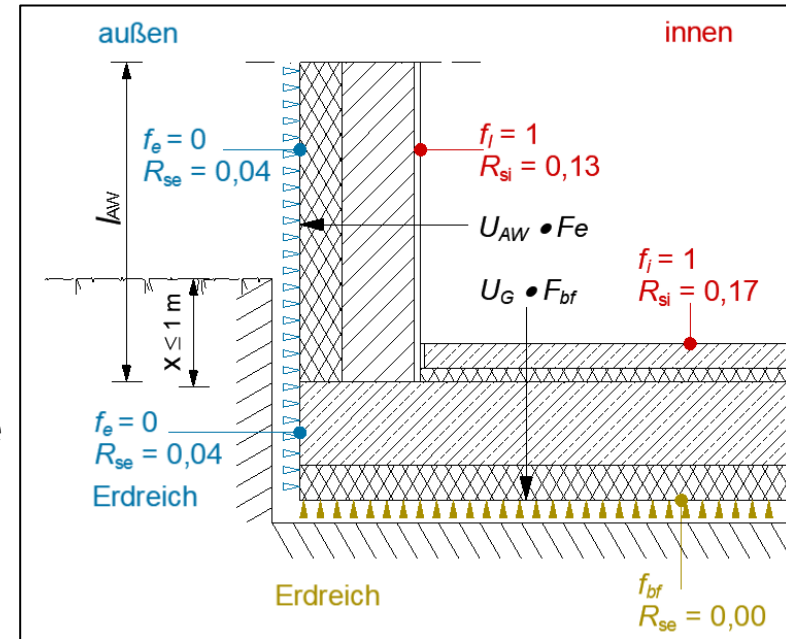


Randbedingungen für eine Bodenplatte mit geringer oder keiner Erdreichaufschüttung – (Quelle: DIN 4108 Bbl 2: 2006-03, Abschnitt 7.3)

Erläuterung der Abb. 2.21 aus dem Beiblatt 2
der DIN 4108:

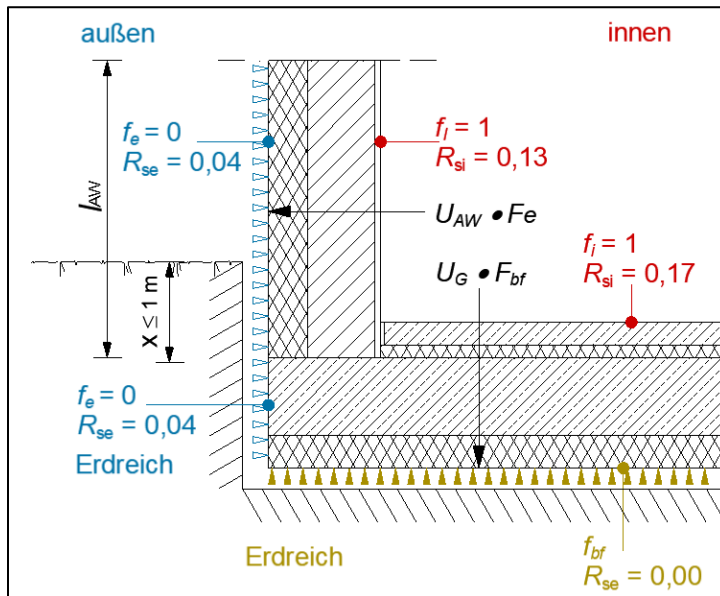
▼▼▼▼▼▼▼ Kennzeichnet die Kanten mit gleichen
Randbedingungen

- U_{AW} : Wärmedurchgangskoeffizient (Außenwand)
- A_{AW} : Fläche der Außenwand bis zur Schnittkante
- U_G : Wärmedurchgangskoeffizient (Bauteil zu Erdreich, Kellerdecke)
- A_{bf} : Fläche der Bodenplatte bis zur Schnittkante
- R_{si} : Wärmeübergangswiderstand innen
- R_{se} : Wärmeübergangswiderstand außen
- F_e : Temperaturkorrekturfaktor außen
- F_{bf} : Temperaturkorrekturfaktor Bodenplatte
- f_i : Temperaturfaktor (innen); $f_i = 1 = 100 \%$
- f_e : Temperaturfaktor (außen); $f_e = 0 = 0 \%$
- f_{bf} : Temperaturfaktor (Bodenplatte)
- $U_{AW} \cdot F_e$: angesetzter Wärmestrom aus der Berechnung der Transmissionswärmeverluste (UWert · Temperaturkorrekturfaktor F_x)



Nach dem es bei der ψ -Wert Berechnung um die zusätzlichen Wärmeverluste über eine Wärmebrücke geht, sind bei deren Berechnung auch die gleichen Randbedingungen anzusetzen, wie sie bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste angesetzt wurden.

Dies bezieht sich insbesondere auf die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , sowie die Temperaturkorrekturfaktoren F_x und U-Wert.



Systemgrenze:

Für den Gleichwertigkeitsnachweis ist die Systemgrenze wie im Beiblatt 2 Abschnitt 7.3 dargestellt anzusetzen (siehe Bild links).

Für die detaillierte Wärmebrückenberechnung nach GEG ist die Systemgrenze wie bei der GEG- Berechnung anzusetzen.

Temperaturfaktor f :

Wie der Temperaturfaktor f zu bestimmen ist, wird in Abschnitt 3.5 von DIN 4108 Beiblatt 2 erläutert. Dort wird die folgende Formel für den Bezug zwischen dem Temperaturkorrekturfaktor F und dem Temperaturfaktor f angegeben.

$$F = 1 - f$$

Daraus ergibt sich für den Temperaturfaktor f :

$$f = 1 - F$$

mit

f Temperaturfaktor

F Temperaturkorrekturfaktor

Der Temperaturfaktor f und der Temperaturkorrekturfaktor F ergeben immer in der Summe den **Wert 1, also 100 % Temperaturunterschied** zwischen Innen und Außentemperatur. Die Temperaturkorrekturfaktoren F_x sind wie in der Berechnung der Transmissionswärmeverluste nach EnEV anzusetzen entweder nach DIN V 4108-6 oder DIN V 18599-2.

Temperaturkorrekturfaktor F_x :

Über den Temperaturkorrekturfaktor kann die anzusetzende Außentemperatur berechnet werden:

$$\theta_x = \theta_i - F_x \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Berechnung der Temperatur für ein Bauteil gegen Erdreich:

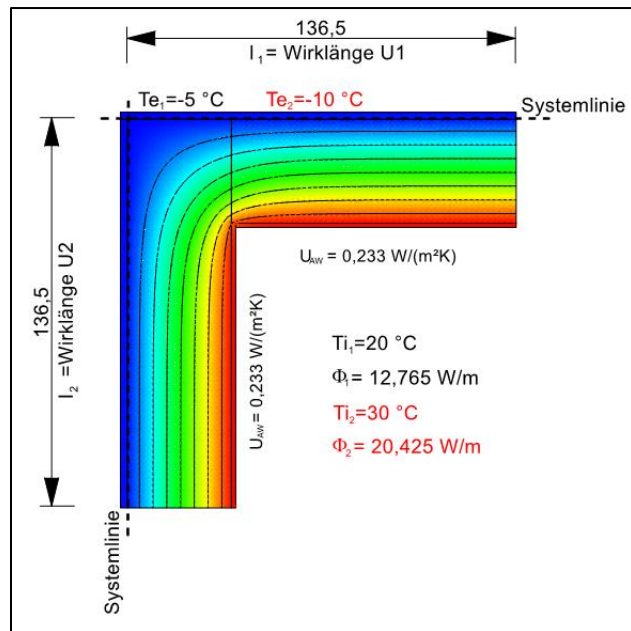
$$\begin{aligned} F_x &= 0,6 \\ \theta_i &= 20 \text{ °C} \\ \theta_e &= -5 \text{ °C (frei wählbar)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{bf} &= 20 - 0,6 \cdot (20 - (-5)) \\ \theta_{bf} &= 5 \text{ °C} \end{aligned}$$

Werden für die Innen- und Außenlufttemperatur andere Werte angesetzt, verändert sich auch die Temperatur im Erdreich.

Beachte:

Solange eine Wärmebrücke nur an **einen** Temperaturbereich grenzt (z.B. Außenluft), ist es gleich welche Innen- und Außentemperatur bei der Berechnung des ψ -Werts angesetzt wird, da sich dieser immer auf ein Kelvin bezieht. Der berechnete Wärmestrom Φ in W wird immer durch den vorhandenen Temperaturunterschied $\Delta\theta$ geteilt.



$$\theta_i = 20^\circ\text{C}; \theta_e = -5^\circ\text{C}$$

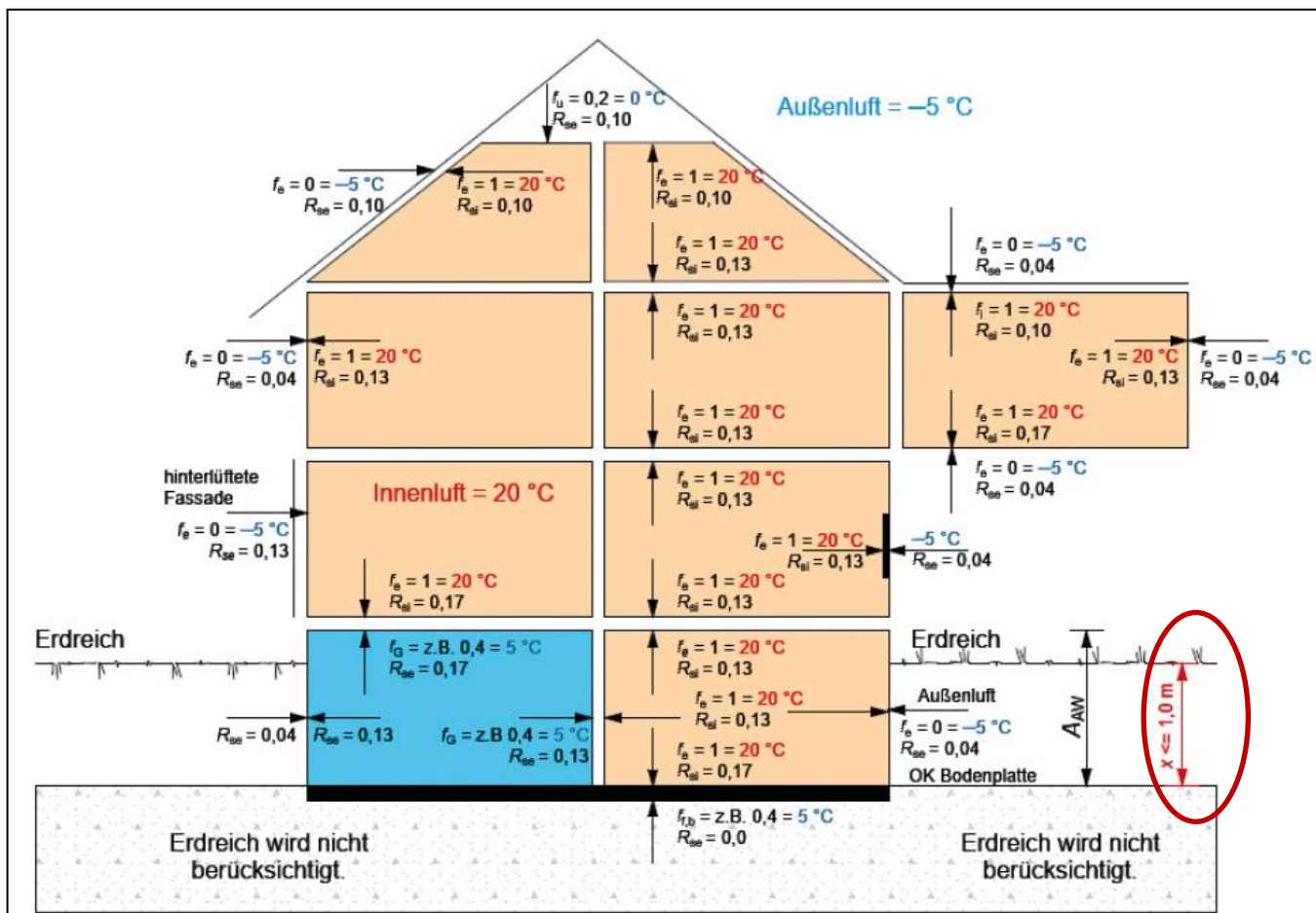
$$L_{2D,1} = 12,765 \text{ W/m} / 25 \text{ K} = 0,511 \text{ W/(mK)}$$

$$\theta_i = 30^\circ\text{C}; \theta_e = -10^\circ\text{C}$$

$$L_{2D,1} = 20,425 \text{ W/m} / 40 \text{ K} = 0,511 \text{ W/(mK)}$$

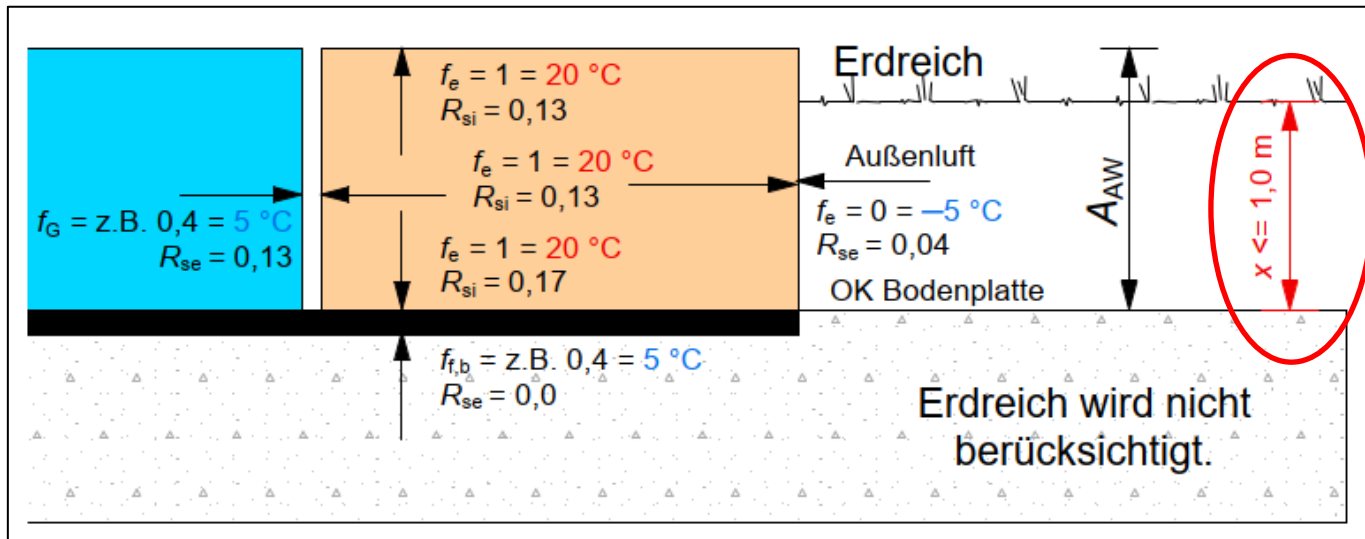
Parameter für die Berechnung von ψ - Werte

Erdreichanschüttung ≤ 1 m



Wärmebrücken gegen Erdreich

a) Erdreichanschüttung ≤ 1 m:



Annahme:

Geringe oder keine Erdreichanschüttung:

X von OK Bodenplatte bis OK Erdreich

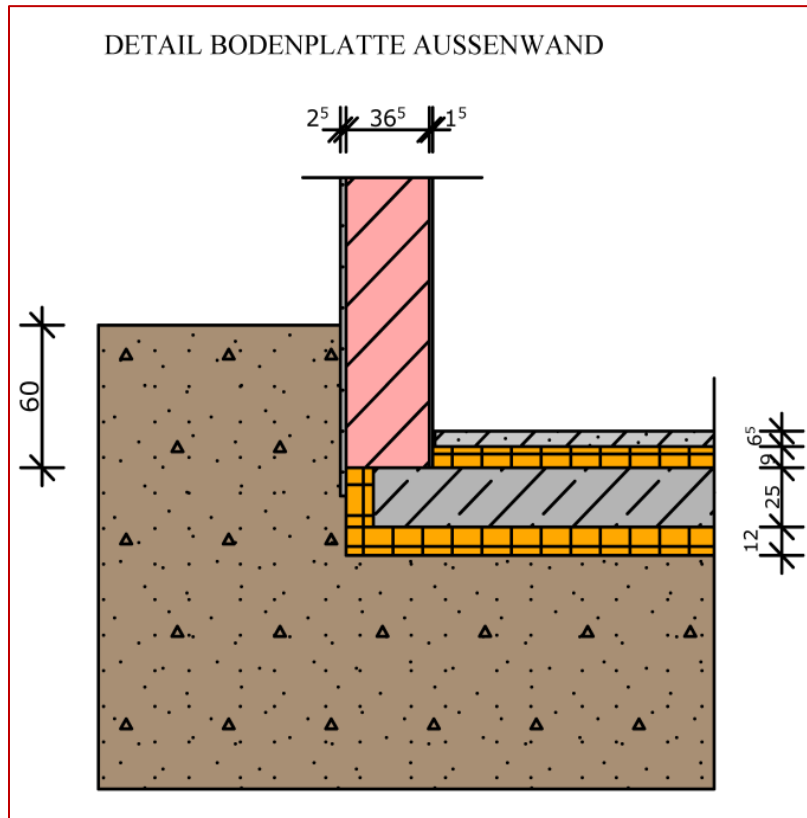
$X \leq 1,00\text{ m}$

gesamte Außenwand grenzt an Außenluft

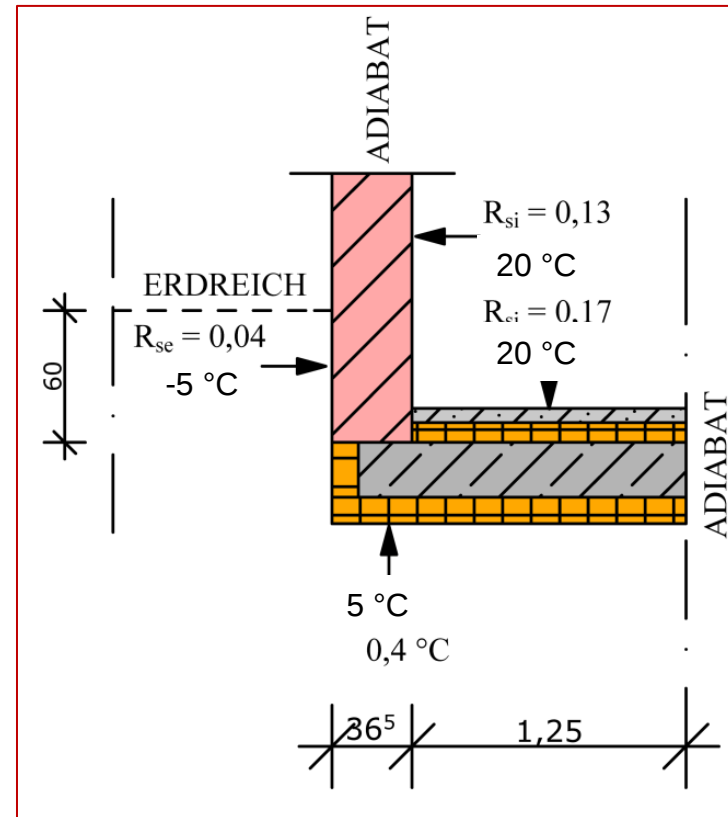
$R_{se} = 0,04\text{ m}^2\text{K/W}$

Außentemperatur = z.B. -5 °C

Beispiel:

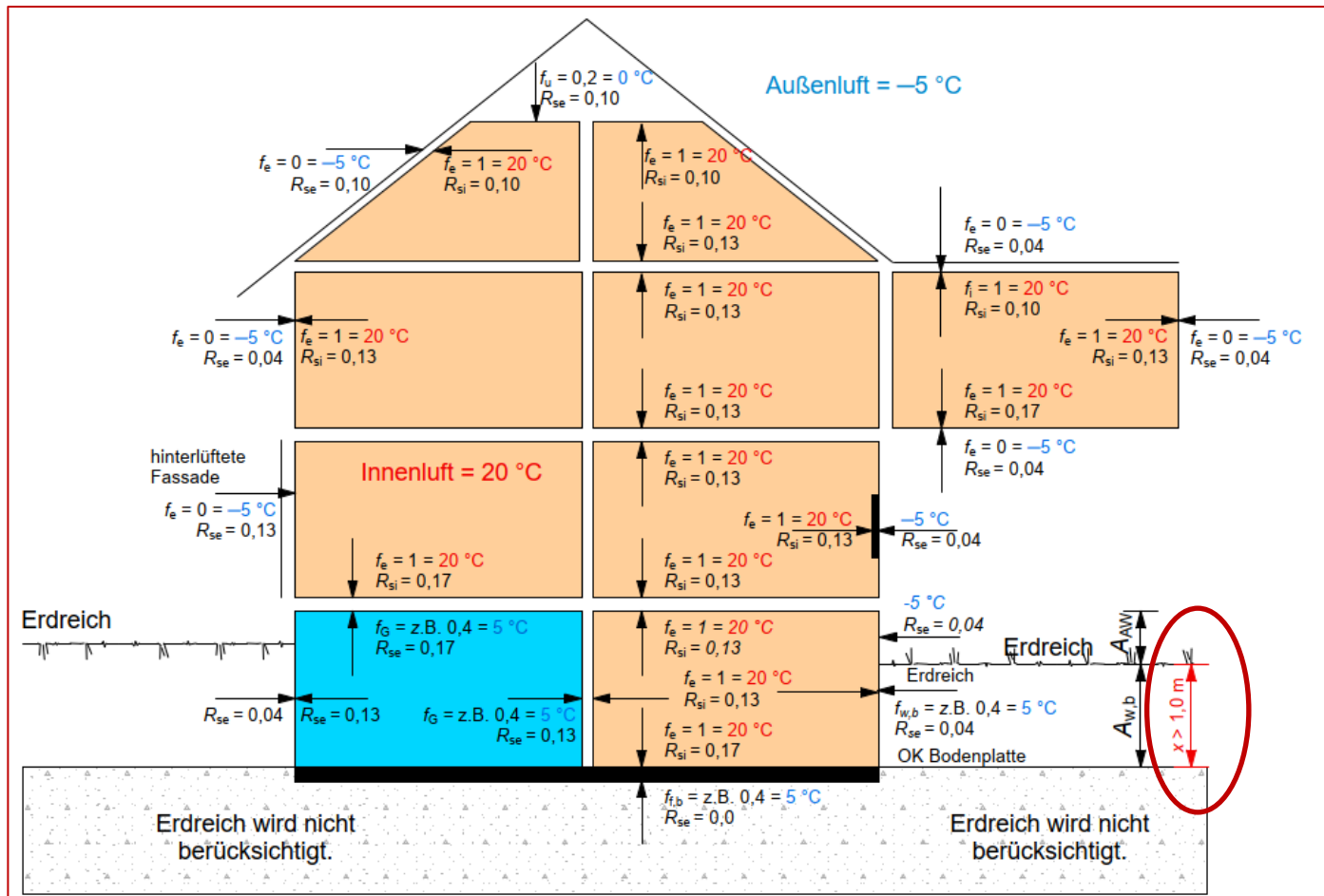


Anschluss Bodenplatte – Außenwand

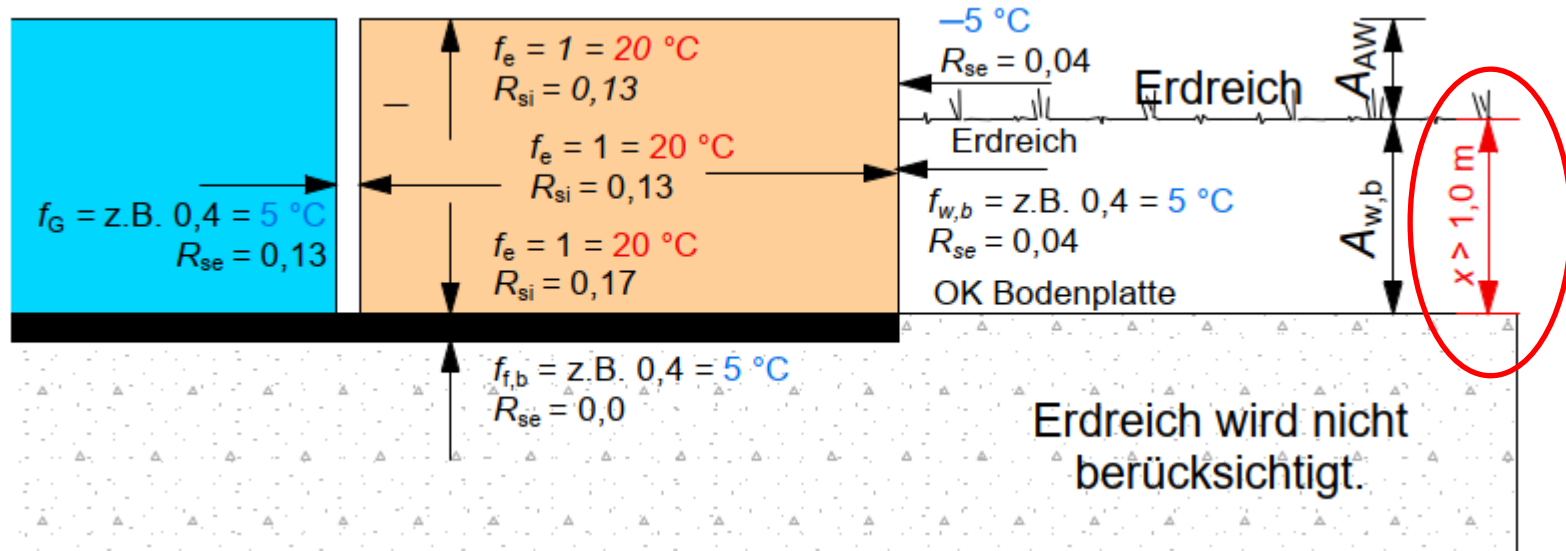


Darstellung der Randbedingungen für
die Berechnung des Sockeldetails –
Erdreichanschüttung $\leq 1\text{m}$

Parameter für die Berechnung von ψ - Werten Erdreichanschüttung größer als 1 m



b) Erdreichanschüttung größer als 1 m



Erdreichanschüttung größer als 1 m:

X von OK Bodenplatte bis OK Erdreich

$X > 1,00 \text{ m}$

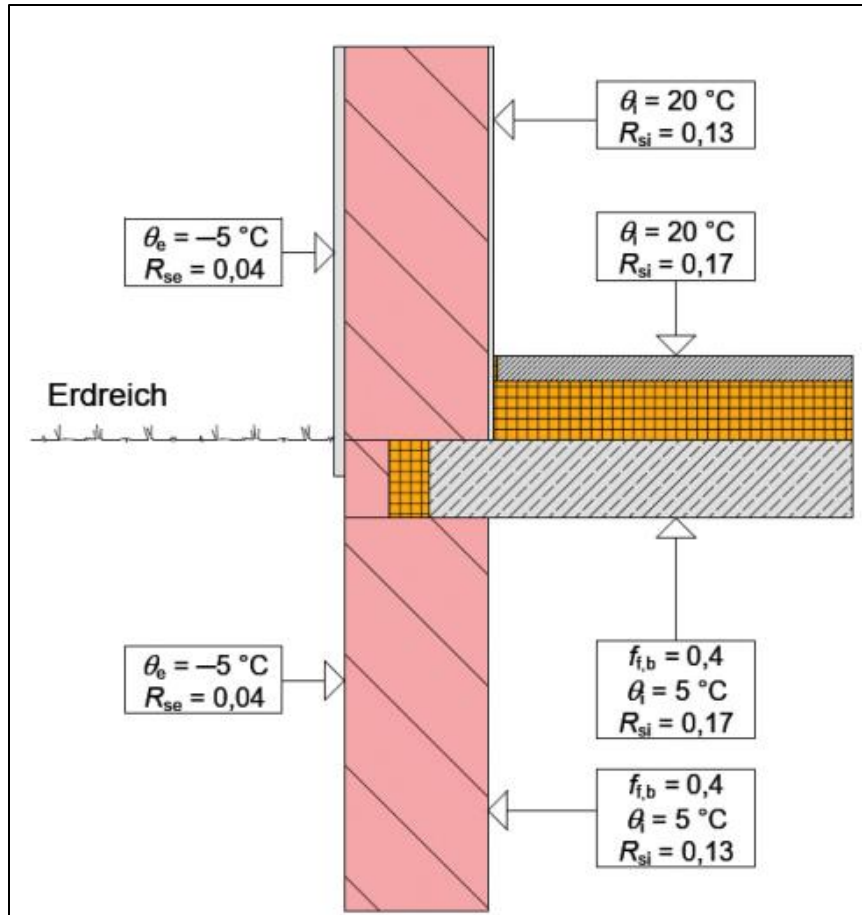
Annahme:

Außenwand grenzt an Erdreich

$R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$; $F_{bf} = 0,6$

Erdreichtemp. = 5°C bei -5°C Außentemp.

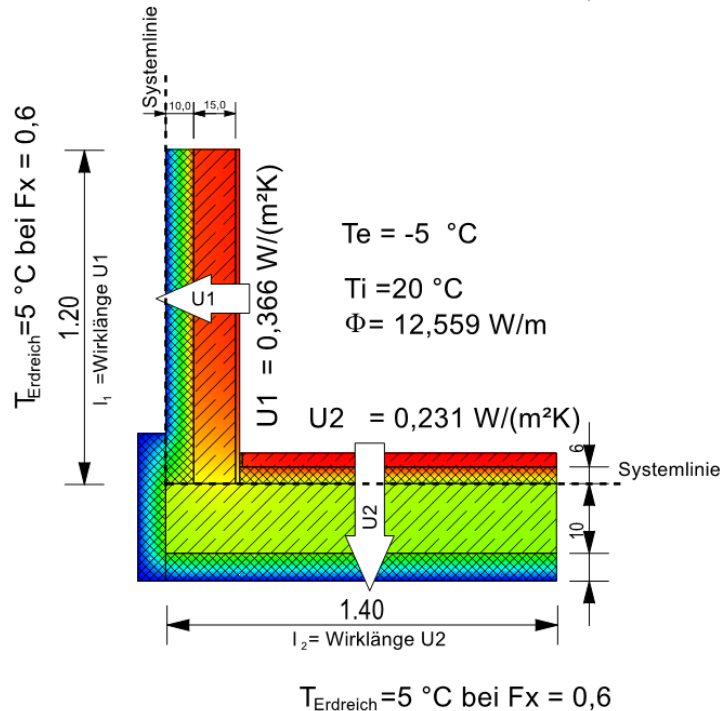
c) Sockeldetail mit unbeheiztem Keller



Darstellung der
Randbedingungen für die
Berechnung des
Sockeldetails – unbeheizter
Keller

d) Wann muss der ψ - Wert bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste über den F_x - Wert abgemindert werden?

Wenn bei der Berechnung der ψ - Werte höhere Außentemperaturen im Erdreich oder in unbeheizten Räumen berücksichtigt wurden, muss der berechnete ψ - Wert nicht mehr mit dem F_x - Faktor multipliziert werden.



$$\begin{aligned} \psi\text{-Wert} &= L_{2D} - \sum U_i \cdot l_i \cdot F_x \\ &= 12,559 \text{ W/m} / 25 \text{ K} - \\ &\quad (0,366 \cdot 1,20 \cdot 0,6 + 0,231 \cdot 1,40 \cdot 0,6) \text{ W/(mK)} \\ \psi\text{-Wert} &= 0,045 \text{ W/(mK)} \end{aligned}$$

e) Berücksichtigung von Bauelementen nach Beiblatt 2 2019/06

Das Kapitel 6.2 beschreibt erstmals Rechenregeln zur **vereinfachten Berücksichtigung von Bauelementen**.

Zur Beurteilung der thermischen Qualität eines Anschlusses zwischen Außenbauteil und Bauelement kann für die nachfolgend aufgeführten Bauelemente eine **Ersatzmaske** abgebildet werden.

Wird die Wärmebrücke mit Hilfe einer Ersatzmaske berechnet, ist der berechnete ψ -Wert mit einem **Korrekturwert** zu versehen.

(siehe Skript Teil 1)

Berücksichtigung von Bauelementen nach Beiblatt 2:2019/06

Die Verwendung von Ersatzsystemen in der Modellierung vernachlässigt verschiedene Einflüsse auf den ψ -Wert und kann deswegen zu abweichenden Ergebnissen gegenüber einer detaillierten Modellierung führen.

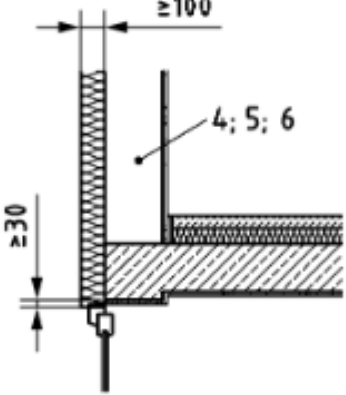
Daher sind bei den in Abschnitt 7 dargestellten Anschlüssen mit Bauelementen jeweils zwei Referenz- ψ -Werte angegeben,

- $\psi_{\text{ref,Ers}}$ bei Modellierung mittels Ersatzsystem und
- $\psi_{\text{ref,det}}$ bei detaillierter Modellierung.

Wenn ein ψ -Wert aus einem Wärmebrückenkatalog entnommen wird, ist zu prüfen, ob der ψ -Wert detailliert oder mit Hilfe eines Ersatzmodel bestimmt wurde.

Berücksichtigung von Bauelementen nach Beiblatt 2:2019/06

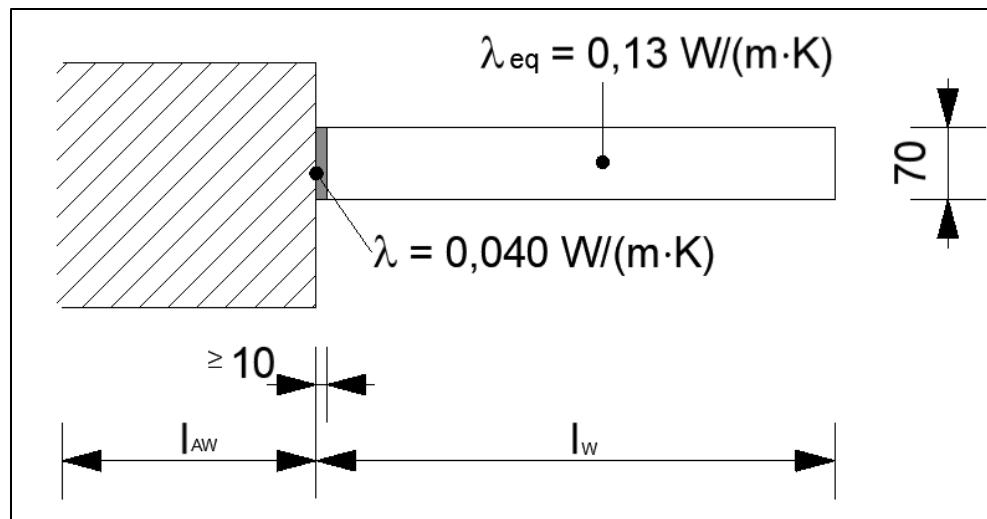
- $\psi_{\text{ref,Ers}}$ bei Modellierung mittels Ersatzsystem und
- $\psi_{\text{ref,det}}$ bei detaillierter Modellierung.

236	Fenstersturz Außenwand außengedämmt mit Geschossdecken-einbindung Blendrahmen in Dämmebene		Fensterlage gilt für Blendrahmen vollständig in der Dämmebene Überdämmung ≥ 3 cm (inklusive 1 cm Fuge)	$\psi_{\text{ref,Ers}} \leq 0,07$ / $\psi_{\text{ref,det}} \leq 0,10$	B
-----	---	--	--	---	---

Bauelemente **Fenster/Fenstertüren**

Die prinzipielle vereinfachte Abbildung eines Fensteranschlusses aus dem Bbl. ist geblieben.

Das Fenster darf weiterhin als „**Holzbrett**“ mit einer Dicke von **70 mm** und einem **λ -Wert von 0,13 W/(mK)** abgebildet werden. Bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen ist jedoch nun nach Bbl 2:2019-06 Bild 3 ein **Korrekturwert** nach Tabelle 1 zu berücksichtigen.

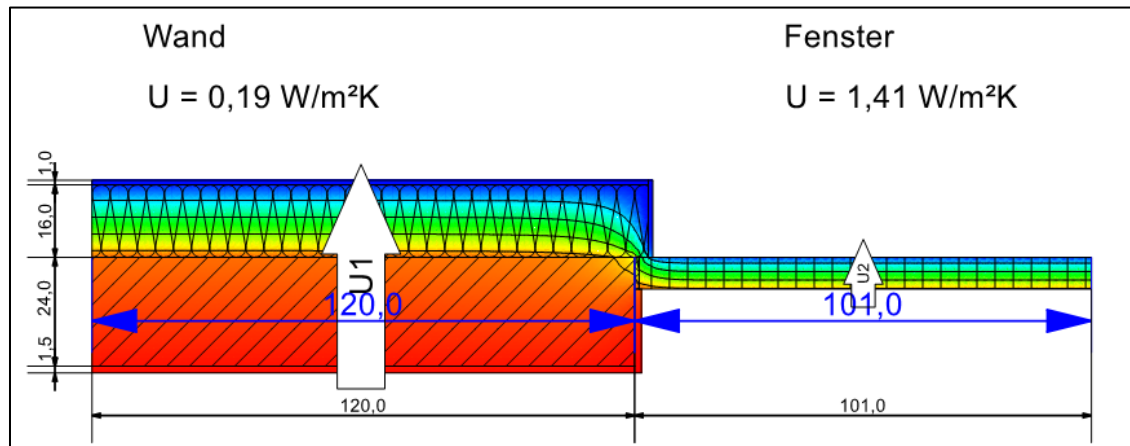
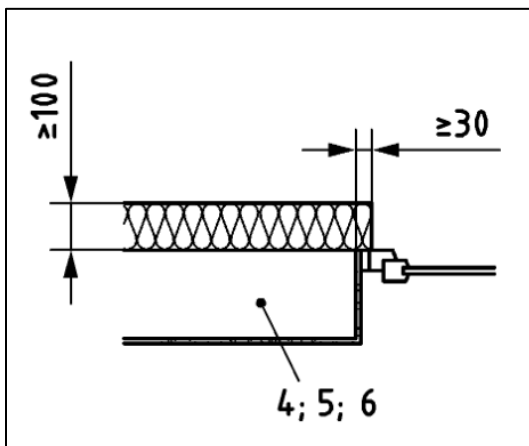


Bauelemente **Fenster/Fenstertüren**

Bestimmung des Korrekturwerts für die ψ -Wertermittlung bei Verwendung eines Ersatzsystems

Beispiel:

1) Berechnung des $\psi_{\text{rechn,Ers}}$



$$\psi_{\text{rechn,Ers}} = 0,024 \text{ W/mK}$$

Bauelemente **Fenster/Fenstertüren**

Bestimmung des Korrekturwerts für die ψ - Wertermittlung bei Verwendung eines Ersatzsystems

2) Bestimmung von $\psi_{\text{ref,Ers}}$ und $\psi_{\text{ref,det}}$

	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
--	---	---	----------	----------------------------------

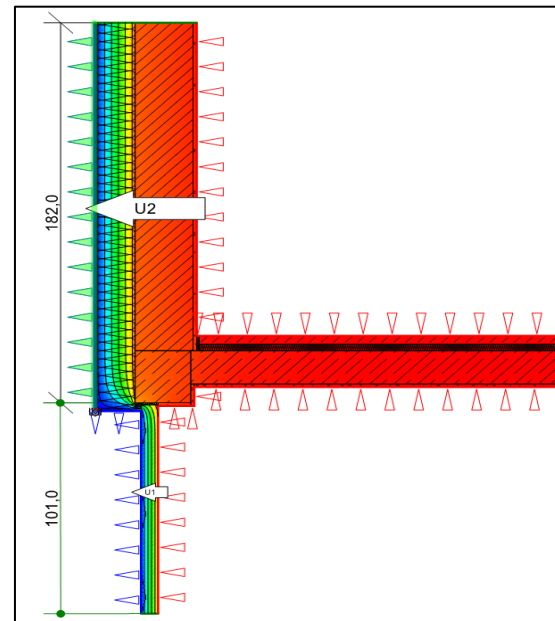
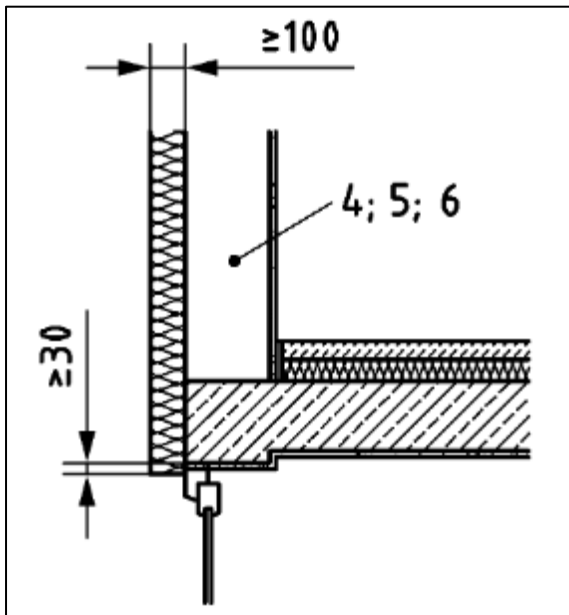
$$\psi = \psi_{\text{rechn,Ers}} + (\psi_{\text{ref,det}} - \psi_{\text{ref,Ers}}) = 0,024 + (0,18 - 0,08) = 0,124 \text{ W/mK}$$

Übung Fenstersturz:

Bestimmung des Korrekturwerts für die ψ - Wertermittlung bei Verwendung eines Ersatzsystems

Beispiel:

1) Berechnung des $\psi_{\text{rechn,Ers}}$

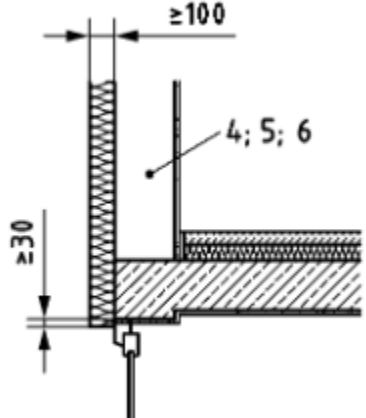


$$\psi_{\text{rechn,Ers}} = 0,069 \text{ W/mK}$$

Bauelemente **Fenster/Fenstertüren**

Bestimmung des Korrekturwerts für die ψ - Wertermittlung bei Verwendung eines Ersatzsystems

2) Bestimmung von $\psi_{\text{ref,Ers}}$ und $\psi_{\text{ref,det}}$

Fenstersturz Außenwand außengedämmt mit Geschoss- decken- einbindung		Überdämmung ≥ 3 cm (inklusive 1 cm Fuge) Fensterlage gilt für Achismaß (Mitte) des Blendrahmens in der äußeren Hälfte der Tragschale	$\psi_{\text{ref,Ers}}$ $\leq 0,14$ $\psi_{\text{ref,det}}$ $\leq 0,18$	A
--	--	--	---	----------

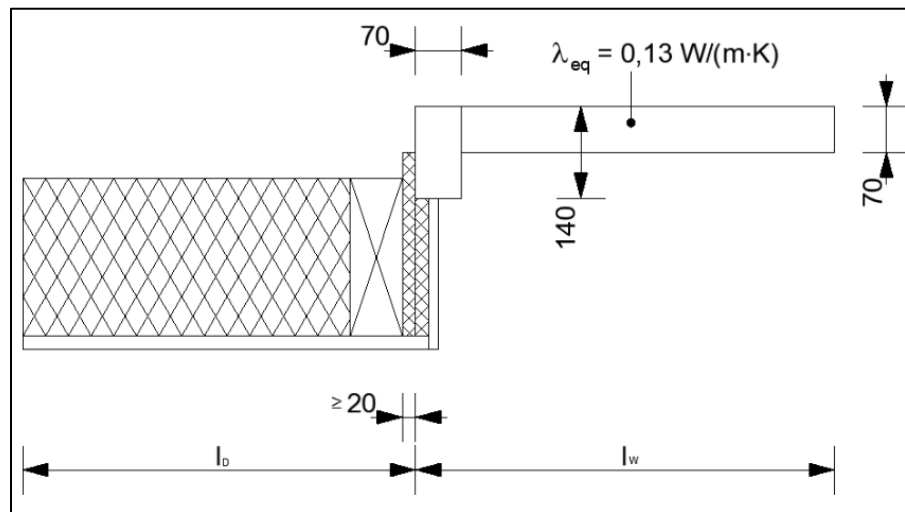
$\psi = 0,069 \leq 0,14 = \text{gleichwertig mit Kategorie A ?}$

Bauelemente **Dachflächenfenster**

Der Anschluss eines Dachflächenfensters an die Dachhaut kann vereinfacht über die Ersatzmaske nach Bild 4 Bbl 2:2019-06 erfolgen. Wird der ψ -Wert mit Hilfe der Ersatzmaske berechnet, muss dieser über korrigiert werden.

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

(Bbl 2:2019-06 Formel 1)

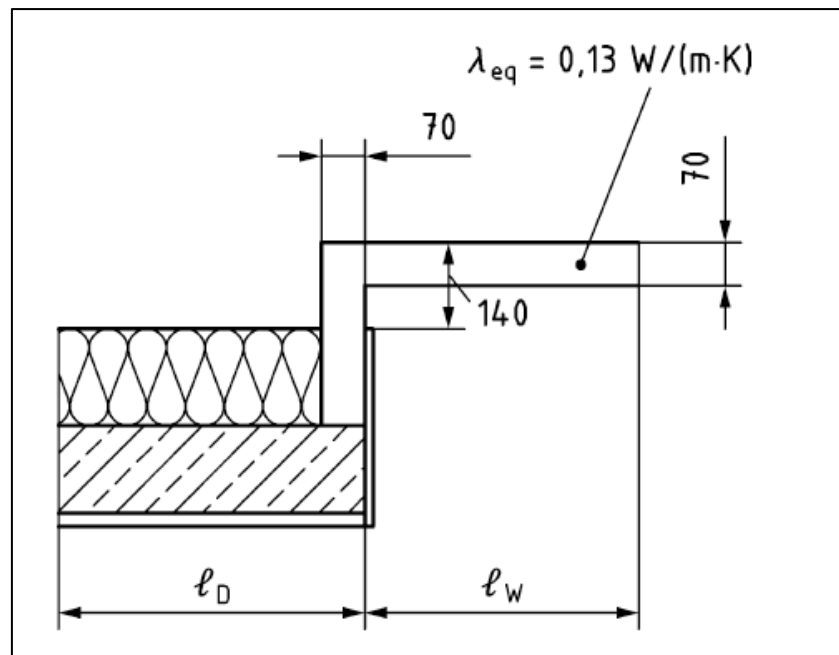


Bauelemente **Lichtkuppeln**

Der Anschluss einer Lichtkuppel an die Dachhaut kann vereinfacht über die Ersatzmaske nach Bild 5 Bbl 2:2019-06 erfolgen. Wird der ψ -Wert mit Hilfe der Ersatzmaske berechnet, ist dieser zu korrigieren

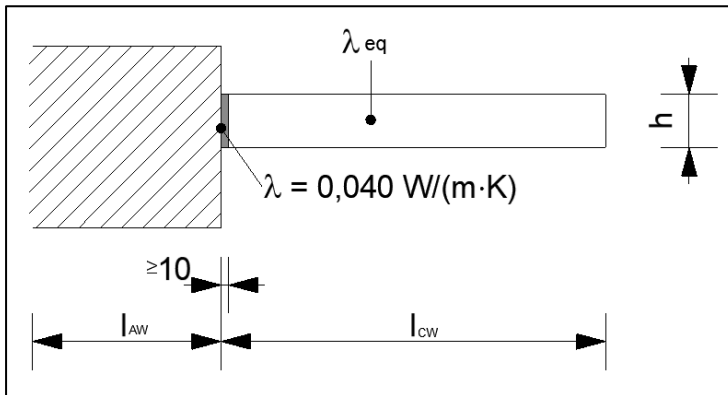
$$\psi = \psi_{\text{rechn,Ers}} + (\psi_{\text{ref,det}} - \psi_{\text{ref,Ers}})$$

(Bbl 2:2019-06 Formel 1)



Bauelemente **verglaste Fassaden**

Der Anschluss von verglasten Fassaden an ein Außenbauteil kann vereinfacht über die Ersatzmaske nach Bild 6 Bbl 2:2019-06 erfolgen. Wird der ψ -Wert mit Hilfe der Ersatzmaske berechnet, ist dieser zu korrigieren.



Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit des „Ersatzbrettes“ für die verglaste Fassade ist aus dem **U_{cw} - Wert der Fassade** zu berechnen.

$$\lambda_{eq} = h / (R_{CW} - R_{si} - R_{se}); \quad R_{CW} = 1/U_{CW}$$

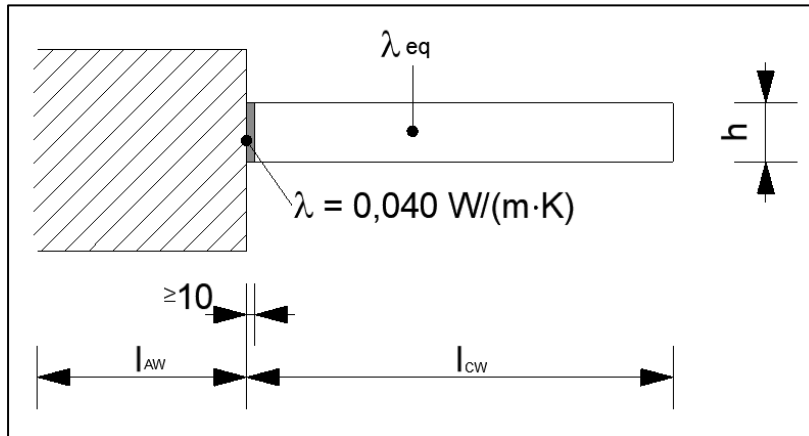
h = geplante Tiefe der Anschlussfuge zwischen Baukörper und Pfosten/Riegel in m

U_{CW} = Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade

R_{CW} = Wärmedurchlasswiderstand der Fassade

Bauelemente **verglaste Fassaden**

Der Anschluss von verglasten Fassaden an ein Außenbauteil kann vereinfacht über die Ersatzmaske nach Bild 6 Bbl 2:2019-06 erfolgen. Wird der ψ -Wert mit Hilfe der Ersatzmaske berechnet, ist dieser zu korrigieren.



$$h = 0,16 \text{ m}$$

$$U_{CW} = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$R_{CW} = 1,11 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{eq} = h / (R_{CW} - R_{Si} - R_{Se}); R_{CW} = 1/U_{CW}$$

$$\lambda_{eq} = 0,16 \text{ m} / (1,11 - 0,13 - 0,04) = 0,16 / 0,94 = 0,17 \text{ W/(mK)}$$

Berücksichtigung von Rollladenkästen

Rollladenkästen können in der Energiebilanz wie folgt berücksichtigt werden:

- als flächige Bauteile mit ihrem U- Wert und ihrer Fläche,
- in der Wärmebrückenberechnung.

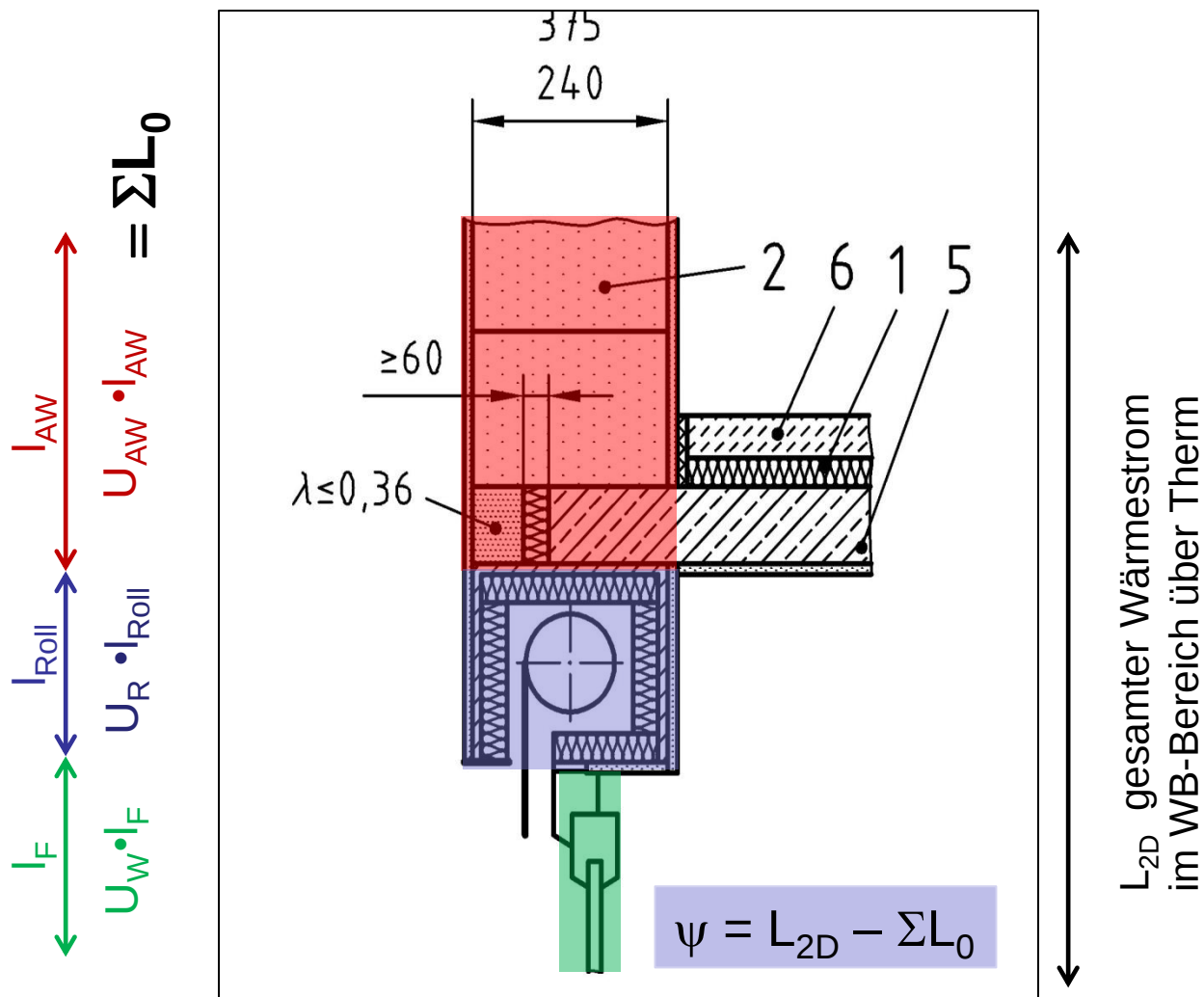
In der Wärmebrückenberechnung kann der Rollladenkasten bei der Ermittlung der Außenwandflächen übermessen werden.

Entspricht die Einbausituation einem Referenzbild aus DIN 4108 Beiblatt 2, so kann ΔU_{WB} mit $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt werden.

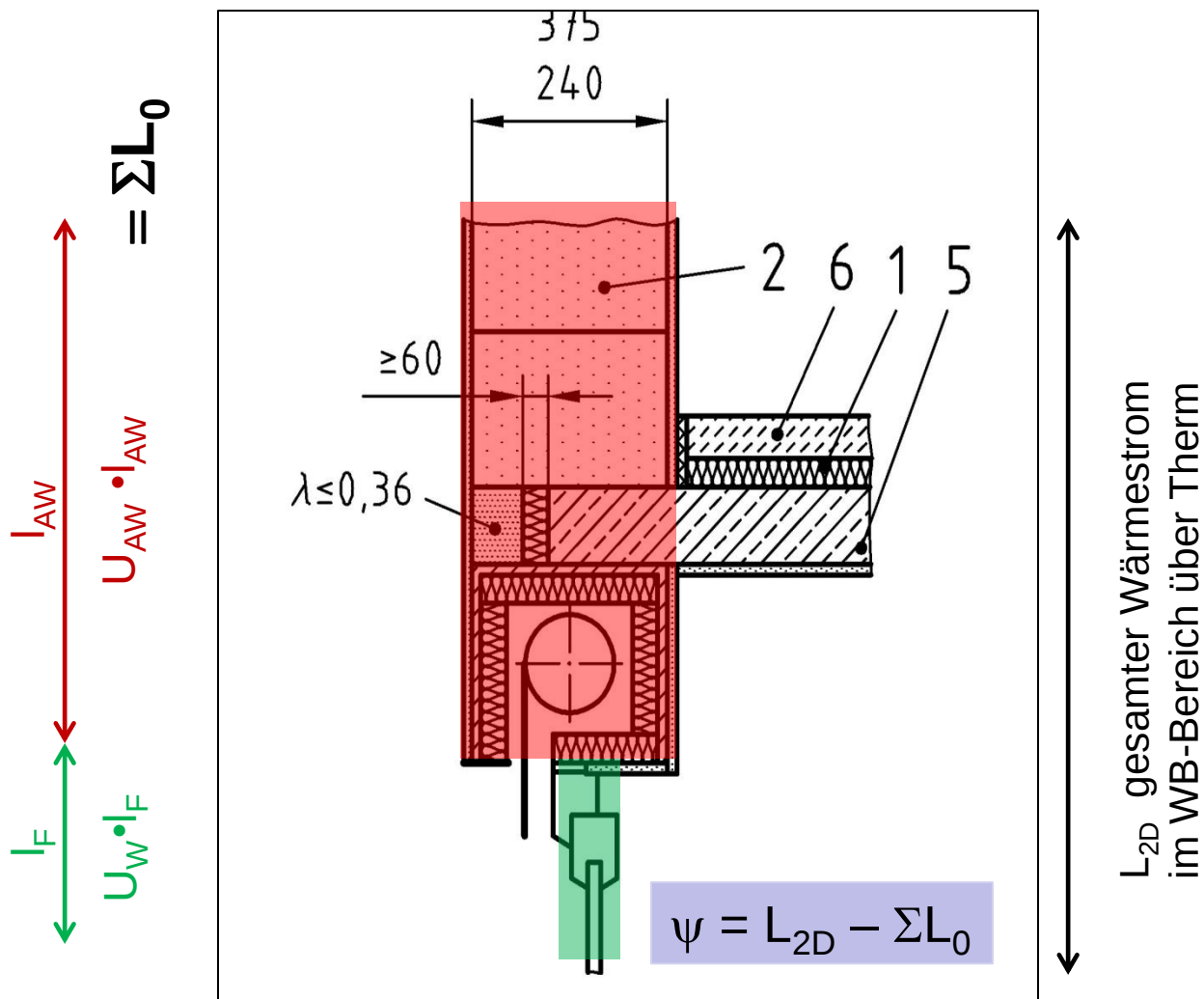
Weiterhin können die Wärmeverluste auch über den ψ -Wert des Anschlussdetails bestimmt werden.

Für die Deckel von Rollladenkästen ist ein Wert von $R \geq 0,55 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ einzuhalten und für das gesamte Bauteil im Mittel $R_m \geq 1,0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

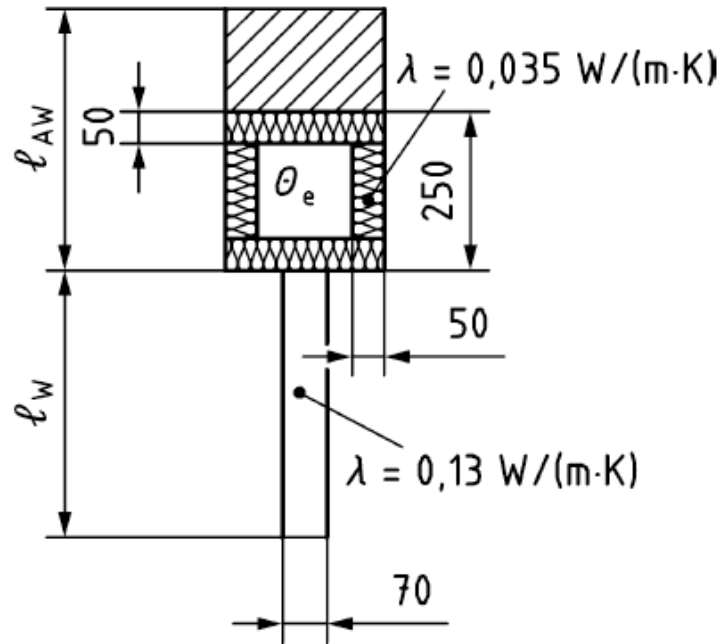
Berücksichtigung als Flächiges Bauteile mit seinem U-Wert und deren Fläche



Berücksichtigung in der Wärmebrückenberechnung



Berücksichtigung von Rollläden nach Beiblatt 2



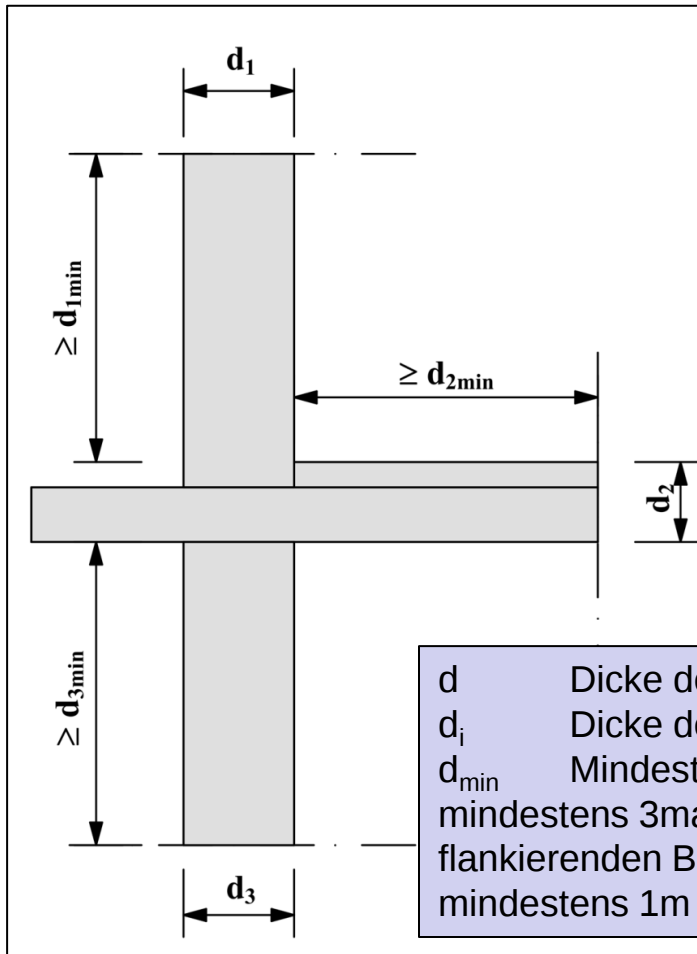
f) Festlegung der Schnittebenen für zweidimensionale WB

Nachdem im Beiblatt 2 die Wahl der Schnittebene (Länge der flankierenden Bauteile) nicht definiert ist, sind hier die Regelungen nach DIN EN ISO 10211 anzusetzen. Dort ist definiert, wie die Schnittebenen bei der Berechnung von zweidimensionalen Wärmebrücken zu wählen sind.

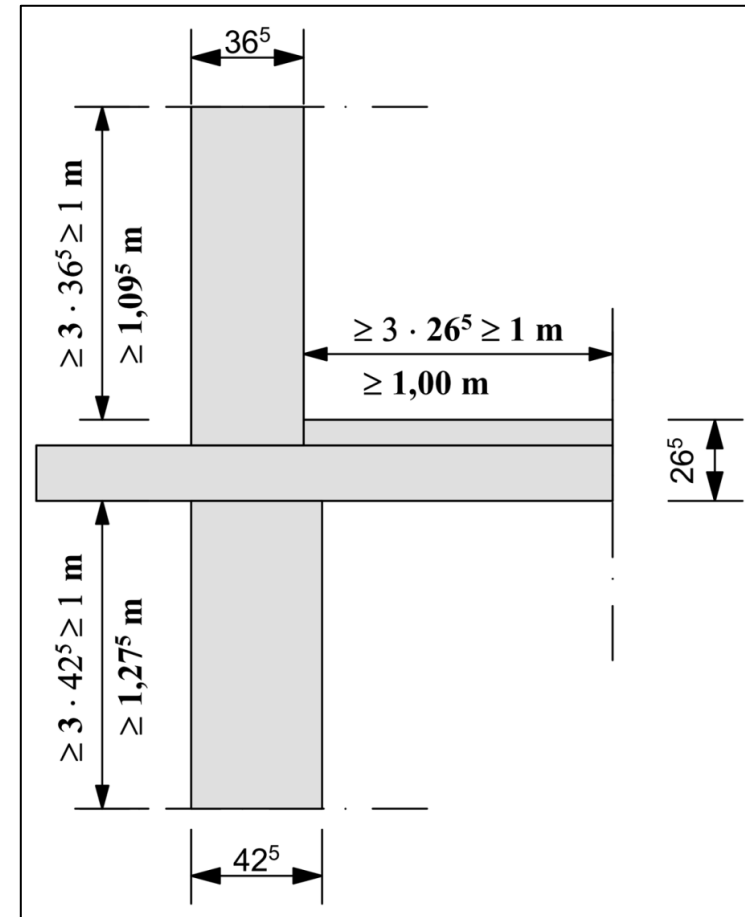
Prinzip:

Die flankierenden Bauteile eines Wärmebrückendetails sind so lang zu zeichnen, dass der gesamte gestörte Bereich einer Wärmebrücke erfasst ist.

Schnittebene für ein Wärmebrückendetail



d Dicke des Bauteils
 d_i Dicke des Bauteils i
 d_{min} Mindestdicke,
 mindestens 3mal die Dicke des
 flankierenden Bauteils, jedoch
 mindestens 1m



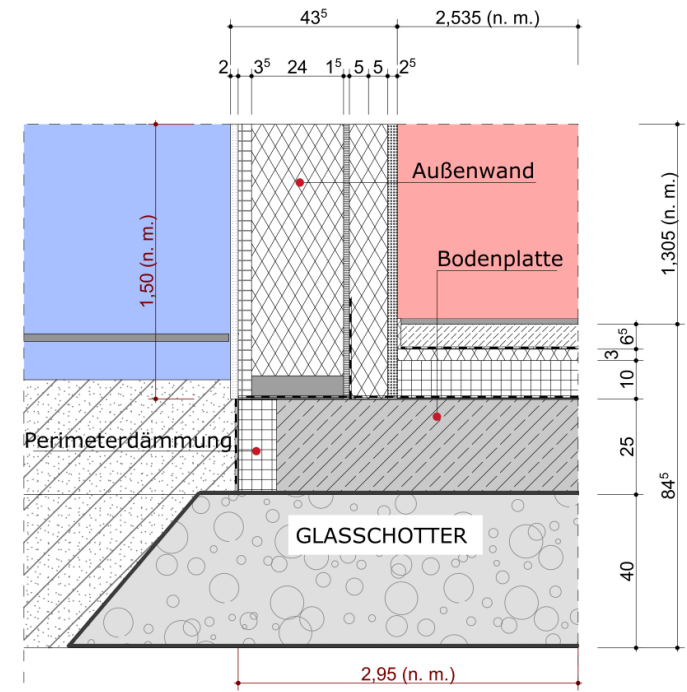
Schnittebene für ein Wärmebrückendetail

Bei Wärmebrücken sind die Längen der einzelnen Bauteile dreimal so lang zu berücksichtigen wie deren flankierenden Bauteile, mindestens jedoch 1 m (vgl. Abb. 2.29 und 2.30). Dies ist notwendig, damit der gesamte gestörte Bereich der Wärmebrücke erfasst wird. Wenn die mit einem Isothermen-Programm berechneten Isothermen an der Schnittebene immer noch nicht parallel zu den Bauteilkanten laufen, ist die Bauteillänge zu verlängern. Erst wenn die Isothermen parallel laufen, wurde der gesamte gestörte Bereich der Wärmebrücke erfasst.

g) Wärmebrücken für Fachwerkbauteile

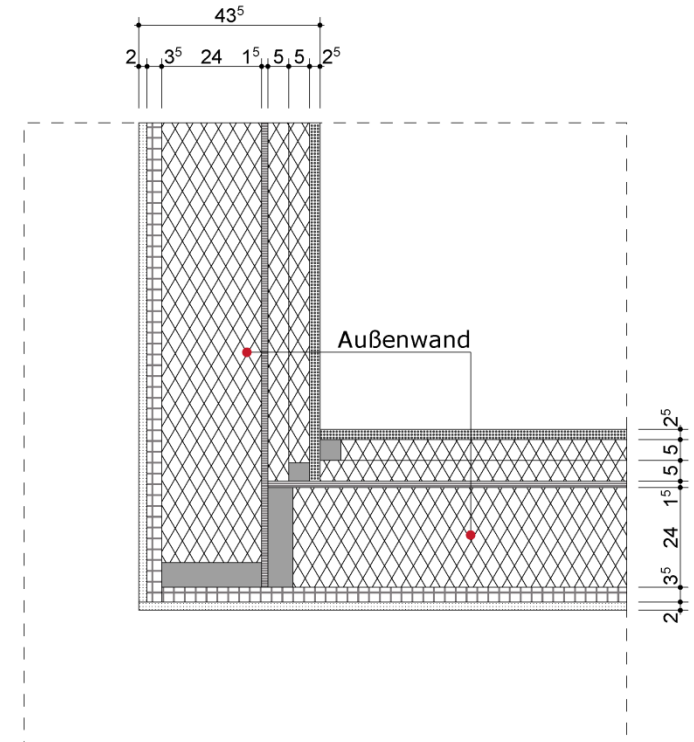
Bei Anschlüssen mit Fachwerkbauteilen gibt es 2 Wärmebrücken, eine im Bereich der Rippe und eine im Bereich des Gefaches. Die Wärmebrücke durch die Rippe bildet eine punktförmige dreidimensionale Wärmebrücke, die durch das Gefache eine zweidimensionale. Für die energetische Berechnung nach GEG ist der Nachweis der zweidimensionalen Wärmebrücken nach DIN V 185992 und DIN V 41086 ausreichend.

Nachfolgend ist ein Sockeldetail mit einer Holzwand dargestellt. Die Schnittebene verläuft durch das Gefache der Wand. Für die ψ -Wert Ermittlung ist zu beachten, dass für die Wand nicht der U-Wert der Holzwand einschließlich Rippe anzusetzen ist, sondern der **U-Wert der Wand ohne Rippe**.



Wärmebrücken bei Fachwerkbauteilen

Hier wird eine Außenecke in Holzbauweise dargestellt. Auch hier werden nur die Konstruktionshölzer dargestellt, die in der Ecke für den zusätzlichen Wärmestrom über die Außenecke von Bedeutung sind. Weitere Konstruktionshölzer innerhalb der Schnittebene sind für den ψ -Wert des Details nicht von Bedeutung.



4.6 Erfassung der Wärmebrücken für die detaillierte Wärmebrückenberechnung

Wie müssen Wärmebrücken erfasst werden, damit Sie anschließend berechnet werden können?

1. Darstellen und Nummerieren der zu untersuchenden Wärmebrücken

Als erstes sind alle Wärmebrücken in den Plänen zu kennzeichnen. Für die Übersichtlichkeit sollte hierfür eine logische Nummerierung festgelegt werden, damit die Wärmebrücken besser zugeordnet und wieder gefunden werden können. Die Nummerierung kann z.B. im Gebäude von unten nach oben erfolgen:

1. alle Wärmebrücken der Bodenplatte
2. alle Wärmebrücken der Außenwände
3. alle Wärmebrücken der Geschossdecke
4. alle Wärmebrücken des oberen Gebäudeabschlusses
5. alle Fensteranschlüsse unten
6. alle Fensteranschlüsse oben
7. alle Fensteranschlüsse seitlich

Anhang B – Formblatt aus Beiblatt 2

Ermittlung eines projektbezogenen Wärmebrückenzuschlags

Tabelle B.1 — Tabellenstruktur für die Ermittlung eines projektbezogenen Wärmebrückenzuschlags

lfd. Nr.	Bezeichnung	Detail- Nr.	n (1)	l (2)	$n \cdot l$ (3)	ψ (4)	ψ_{Fx} (5)	F_x (6)	$H_{T,WB}$ (3) * (4) oder (3) * (5) * (6)
			—	m	m	W/(m·K)	W/(m·K)	—	W/K
Oberer Gebäudeabschluss (First, Ortgang, Traufe usw.)									
1									
2									
3									
4									
Gebäudekanten (Außenwandecken usw.)									
5									
6									
7									
8									
Fenster (Laibung, Sturz, Brüstung usw.)									
9									

Formblatt C: KfW

Die KfW hat ein eigenes Formblatt herausgebracht, mit deren Hilfe der detaillierte Wärmebrückennachweis dargestellt und der Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} berechnet werden kann. Im Formblatt C können 20 Wärmebrücken berücksichtigt werden. Sind mehr als 20 Wärmebrücken vorhanden, können diese in das Formblatt C-1 eingetragen werden.

Formblatt C: Detaillierter Wärmebrückennachweis

KfW-Wärmebrückenbewertung, Formblatt C
Detaillierter Wärmebrückennachweis (151, 153, 430)

Sachverständiger
 Name _____
 Straße _____ Nr. _____
 PLZ _____ Ort _____

Bauvorhaben
 Objekt _____ Baujahr _____
 Straße _____ Nr. _____
 PLZ _____ Ort _____

Beantragtes Effizienzhaus (EH)
☐ EH Denkmal
 ☐ EH 115
 ☐ EH 100
 ☐ EH 85
 ☐ EH 70
 ☐ EH 55
 ☐ EH 40

1. Der detaillierte Wärmebrückennachweis wurde erstellt auf Basis
☐ von Planungsdaten im Rahmen des KfW-Effizienzhausantrages
☐ der vorhandenen Konstruktion im Rahmen der KfW-Bestätigung nach Durchführung

2. Detailauflistung und Zusammenstellung Wärmebrückenverluste

Nr.	Lage	Kennung	Zuordnung	Quelle*	ψ -Wert [W/mK]	Länge [m]	Anzahl	Fx	Wärme- brücken- verlust	W/K	
1.					→	×	×	×	=	0,0	W/K
2.					→	×	×	×	=	0,0	W/K
3.					→	×	×	×	=	0,0	W/K
4.					→	×	×	×	=	0,0	W/K
5.					→	×	×	×	=	0,0	W/K

Formblatt C: Detaillierter Wärmebrückennachweis

18.					→		×		×		×		=	0,0	W/K
19.					→		×		×		×		=	0,0	W/K
20.					→		×		×		×		=	0,0	W/K

* "EB"=eigene Berechnung; "WBK"= Wärmebrückenkatalog;
"WBV"=Wärmebrückenveröffentlichung

Zwischensumme: 0,0

Weitere Wärmebrückenverluste aus separater Auflistungen (Formblatt C-1): 0,0

Gesamtsumme Wärmebrückenverluste (gWBV): 0,0 W/K

3. Hüllflächenspezifischer Wärmebrückenverlust

☐ Ergebnisübertrag aus eigener Zusammenstellung

$$\Delta\text{-UWB} \rightarrow \left(\overset{\text{gWBV}}{\boxed{}} \text{ W/K} / \overset{\text{Gebäudehüllfläche A}}{\boxed{}} \text{ m}^2 \right) = \boxed{} \text{ W/(m}^2\text{)K}$$

Bestätigung Sachverständiger

Ich versichere, dass die obigen Angaben zum detaillierten Wärmebrückennachweis vollständig und richtig sind und dass ich sie durch geeignete Unterlagen belegen kann. Ich bin bereit, diese Unterlagen auf Anforderung der KfW zur Verfügung zu stellen. Die Hinweise und Erläuterungen des Infoblatts "KfW-Wärmebrückenbewertung" sind berücksichtigt. Neben der Wärmebrückendokumentation ist auch die Konstruktionsbeschreibung aus der U-Wert-Berechnung diesem Formular beigelegt.

Ort, Datum

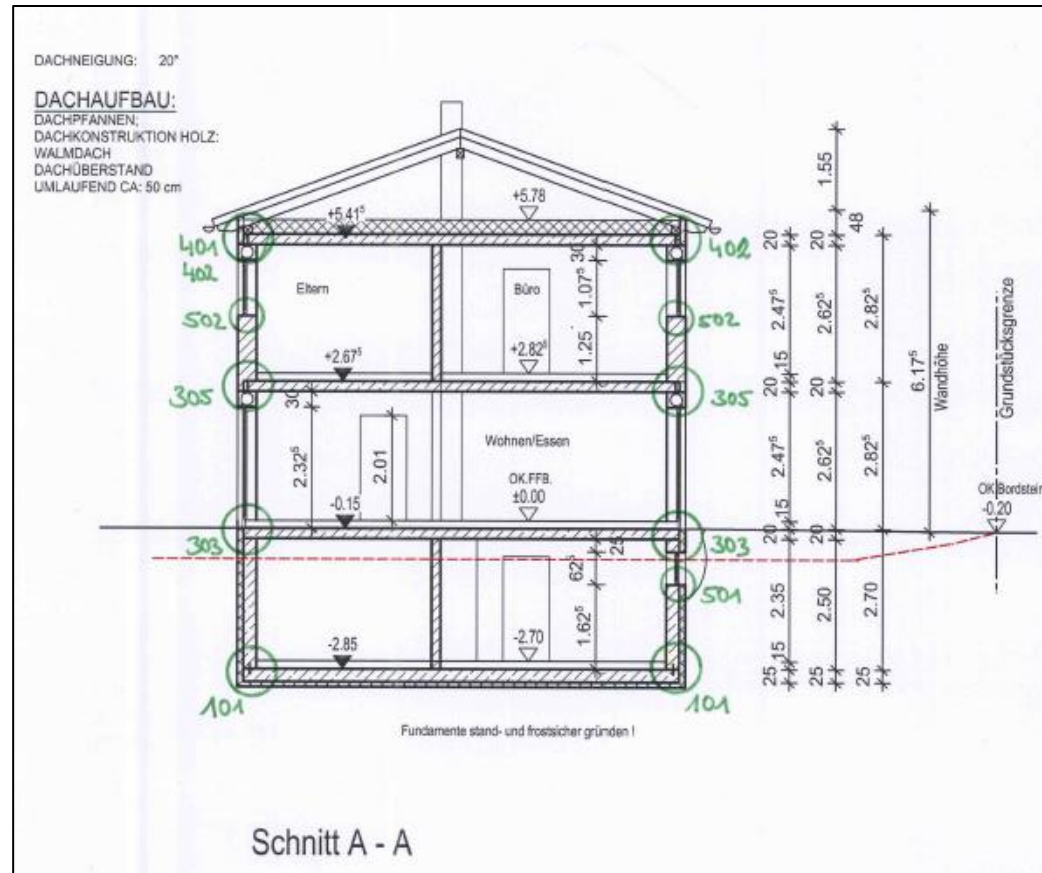
Unterschrift Sachverständiger

Für den detaillierte Wärmebrückennachweis verlangt die KfW eine „Nachvollziehbare Dokumentation“.

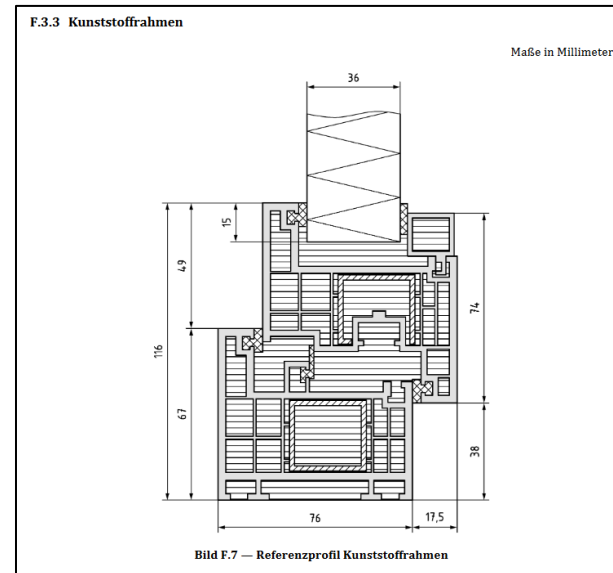
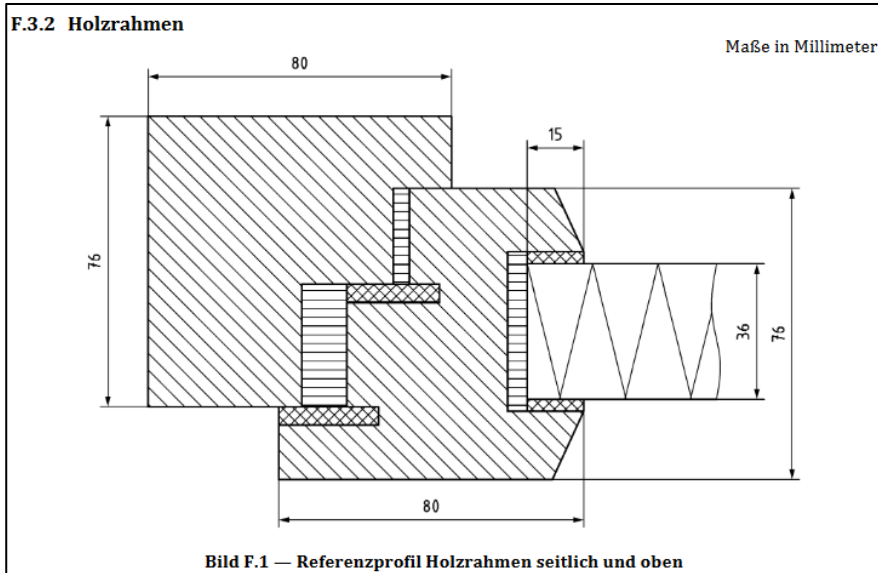
Dies Dokumentation soll beinhalten:

- *U-Wert-Berechnungen der einzelnen und wärmebrückenrelevanten Bauteile mit Darstellung der einzelnen Bauteilschichten und deren Wärmeleitfähigkeiten*
- *Bildliche Darstellung sämtlicher relevanten Wärmebrückendetails*
- *Positionsplan und Längenaufmaß für die vorhandenen Wärmebrücken*
- *Auflistung und Zusammenstellung der einzelnen Details und deren Wärmebrückenverluste*
- *Quellenangabe bei Verwendung von Wärmebrückenkatalogen oder Fachveröffentlichungen*
- *Vollständige KfW-Effizienzhausberechnung.*

Erfassung der Wärmebrücken für die detaillierte Wärmebrückenberechnung



5. Detaillierte Berechnung von WB-Details mit Bauelementen



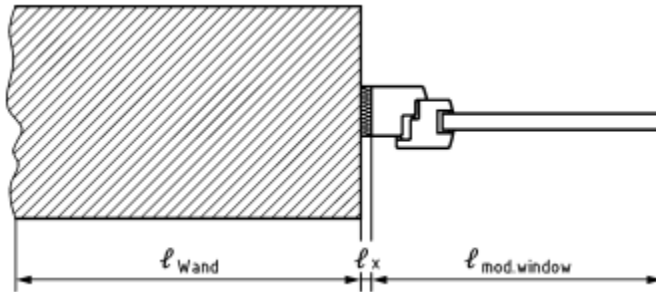
Statt der Verglasung kann in Abweichung zu DIN EN ISO 13788 bei der Wärmebrückenberechnung im Referenzrahmen eine Dämmfüllung (nach DIN EN ISO 10077-2) mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ und mit einer Dicke von 36 mm angesetzt werden (gilt für alle Verglasungen). Die Länge der Dämmfüllung wird in Übereinstimmung mit der DIN EN ISO 10211 angesetzt. In Abweichung zu DIN EN ISO 13788 kann der Nachweis der Oberflächentemperatur an der Einbaufuge für die Referenzrahmen dieses Anhanges mit einer Dämmfüllung im Glasbereich geführt werden.

Profile mit Metallvorsatzschalen werden wie Metallrahmen mit thermischer Trennung behandelt.

5. Detaillierte Berechnung von WB-Details mit Bauelementen (Bbl. 2 Anhang E)

Berechnung des ψ -Werts mit einem Referenzrahmen

$$\psi = L_{2D,gesamt} - \left(U_{Wand} \cdot l_{Wand} + L_{2D,mod.window} \cdot \frac{l_{mod.window} + l_x}{l_{mod.window}} \right)$$

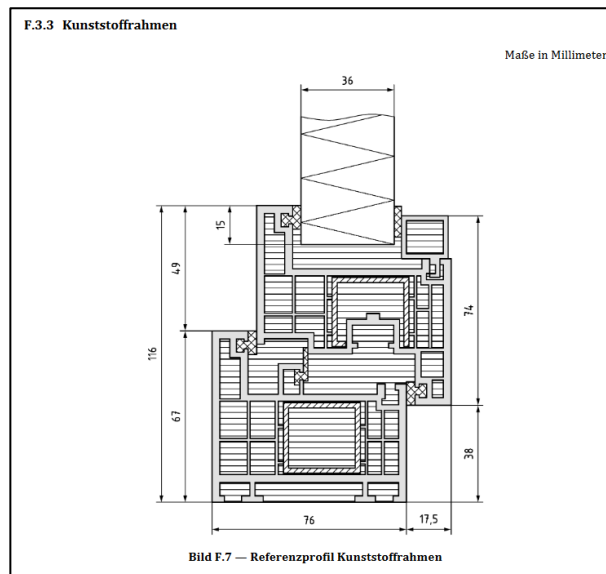


l_R = Länge Referenzrahmen

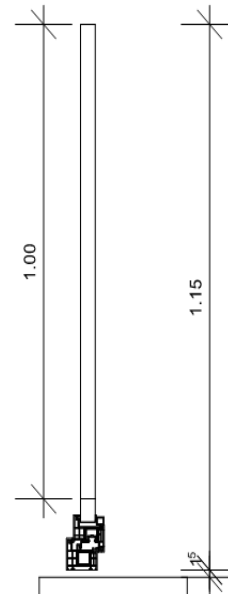
Ψ-Wert Berechnung bei der Verwendung von Referenzrahmen nach Bbl. 2

Im Isothermenprogram „Argos“ (Version 2021) sind alle Referenzrahmen aus dem Beiblatt 2 abgebildet.

1. Laden eines Referenzrahmens auf der Baustoffbibliothek



2. Verlängern der „Glasscheibe auf ca. 1,00 m Berechnen des „Ψ-Werts“ (L_{2D}- Wert)



Psi-Wert	
Te =	-5,0 °C
Ti =	20,0 °C
dT =	25,0 = Ti-Te K
Q =	25,561 W/m
L2d =	1,022 = Q/dT W/(mK)

3. Berechnung des U-Wertes Referenzm.

$$U_w = L_{2d} / I_R$$

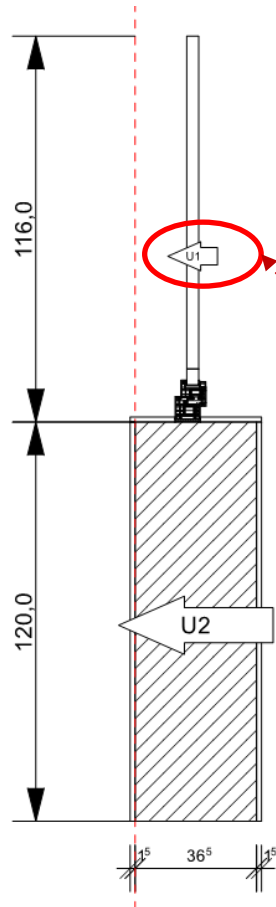
$$U_w = 1,022 / [1,15 \times (1,15 \text{ m} + 0,015 \text{ m}) / 1,15]$$

$$U_w = 1,022 \text{ W/(mK)} / [1,15 \text{ m} \times 1,013]$$

$$U_w = 1,022 / 1,165 = 0,877 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ψ-Wert Berechnung bei der Verwendung von Referenzrahmen nach Bbl. 2

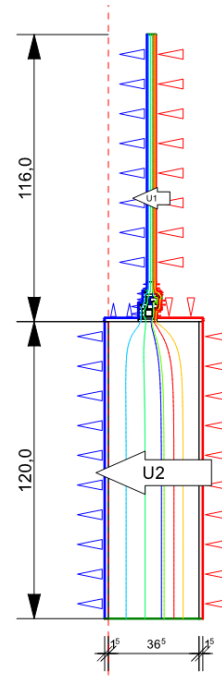
4. Referenzrahmen in WB-Detail einbauen



5. Berechneten U-Wert Referenzrahmen U1 zuordnen

$$U_1 = 0,877 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

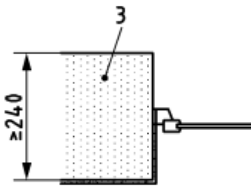
6. ψ- Wert berechnen



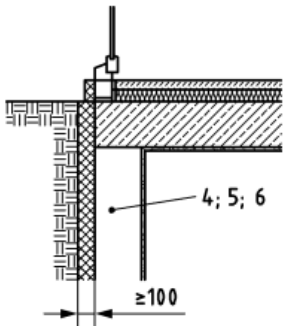
Te =	-5,0	°C
Ti =	20,0	°C
dT =	25,0 = Ti-Te	K
Q =	32,477	W/m
L2d =	1,299 = Q/dT	W/(mK)
Psi =	0,03 = L2d-EnEV/GEG = 1,299 - (0,877*1,0*1,16+0,209*1,0*1,2)	
		W/(mK)

$$\psi = 0,03 \text{ W/(mK)}$$

Welche Auswirkungen hat dies auf die Effizienzhausberechnung

225	Fensterlaibung Außenwand monolithisch		Fensterlage gilt für Achsmaß (Mitte) des Blendrahmens im mittleren Drittel der Massivwand gilt auch für Fenster mit Führungsschienen (direkt auf dem Blendrahmen befestigte Führungsschienen dürfen die Außenkante des Blendrahmens nicht überschreiten)	$\psi_{\text{ref,Ers}}$ $\leq 0,05$ / $\psi_{\text{ref,det}}$ $\leq 0,06$	B	Tabelle 108, Zeile 27
-----	---	---	---	---	---	--------------------------

$$\Delta\psi = 0,01 \text{ W/(mK)}$$

180	Terrassentür Kellerdecke innengedämmt zum beheizten Keller Kellerwand außengedämmt			$\psi_{\text{ref,Ers}}$ $\leq -0,01$ / $\psi_{\text{ref,det}}$ $\leq 0,17$	B	Tabelle 108, Zeile 25
-----	--	--	--	--	---	--------------------------

$$\Delta\psi = 0,18 \text{ W/(mK)}$$

Beispiel für ein Einfamilienhaus

Detailauflistung und Berechnung des Wärmebrückenfaktors ΔU_{WB}

			<u>Berechnung ohne Zuschläge</u>			
Lf.	WB	Bezeichnung	Länge	ψ-Wert	x1	$H_{T,WB} = \sum \psi_i \cdot F_i$
Nr.	Nr.		m	W/(mK)		W/K
	1.00	Bodenplatte				
1	1.01	Bodenplatte an Außenwand	34,99	0,176	1,00	6,16
2	1.02	Bodenplatte an Außenwand zu Tiefgarage	18,18	0,229	1,00	4,16
3	1.02a	Bodenplatte an Außenwand zu Tiefgarage Tür	1,01	-0,103	1,00	-0,10
4	1.03	Bodenplatte an Stb-Innenwand 25cm	14,72	0,317	1,00	4,66
5	1.04	Bodenplatte an Innenwand 17,5cm	25,14	0,128	1,00	3,22
	2.00	Außenwände				
6	2.01	KG Außenecke an Erdreich	5,96	-0,040	1,00	-0,24
7	2.02	KG Außenecke an Tiefgarage	5,96	0,056	1,00	0,33
8	2.03	EG/OG Außenecke	23,16	-0,067	1,00	-1,55
9	2.04	DG Innenecke Dachterasse	5,40	0,021	1,00	0,11
	3.00	Geschossdecke				
10	3.01	Decke KG an Außenwand EG	42,53	-0,001	1,00	-0,04
11	3.01a	Decke KG an Außenwand EG bodentiefe Öffnung	3,28	-0,033	1,00	-0,11
12	3.01b	Decke KG an Außenwand über Tiefgarage	9,14	0,157	1,00	1,43
13	3.01c	Decke KG an Außenwand über Tiefgarage bodentiefe Öffnung	10,05	-0,039	1,00	-0,39
14	3.01d	Decke KG an Außenwand zu Tiefgarage	19,19	-0,043	1,00	-0,82
15	3.02	Decke EG/1.OG an Außenwand	62,15	0,003	1,00	0,19
16	3.02a	Decke EG/1.OG an Außenwand bodentiefe Öffnung & Rolladen	18,12	0,059	1,00	1,07
17	3.02b	Decke EG/1.OG an Außenwand Rolladen	9,07	0,055	1,00	0,50
18	3.02c	Decke EG/1.OG an Außenwand Sturz	2,27	0,047	1,00	0,11
19	3.03	Decke OG an Außenwand Dachterasse	12,85	0,021	1,00	0,27
20	3.03a	Decke OG an Außenwand Dachterasse bodentiefe Öffnung	1,51	0,053	1,00	0,08
21	3.04	Decke OG an Außenwand unter Dachterasse	3,64	0,038	1,00	0,14
22	3.05	Decke über Dachterasse an Außenwand	12,85	0,023	1,00	0,30
23	3.05a	Decke über Dachterasse an Außenwand Sturz	1,51	0,066	1,00	0,10

Berechnung mit Zuschlägen

Länge	ψ-Wert	x1	$H_{T,WB} = \sum \psi_i \cdot F_i$
m	W/(mK)		W/K
34,99	0,176	1,00	6,16
18,18	0,229	1,00	4,16
1,01	-0,103	1,00	-0,10
14,72	0,317	1,00	4,66
25,14	0,128	1,00	3,22
5,96	-0,040	1,00	-0,24
5,96	0,056	1,00	0,33
23,16	-0,067	1,00	-1,55
5,40	0,021	1,00	0,11
42,53	-0,001	1,00	-0,04
3,28	0,147	1,00	0,48
9,14	0,157	1,00	1,43
10,05	-0,029	1,00	-0,29
19,19	-0,043	1,00	-0,82
62,15	0,003	1,00	0,19
18,12	0,059	1,00	1,07
9,07	0,055	1,00	0,50
2,27	0,087	1,00	0,20
12,85	0,021	1,00	0,27
1,51	0,053	1,00	0,08
3,64	0,038	1,00	0,14
12,85	0,023	1,00	0,30
1,51	0,106	1,00	0,16

Beispiel für ein Einfamilienhaus

31	4.06	Ortgang Gaube	15,96	0,024	1,00	0,38
	5.00	Fensteranschluss unten				
32	5.01	Brüstung EG-DG	14,14	0,106	1,00	1,50
33	5.02	Brüstung Gaube	1,62	0,002	1,00	0,00
34	5.03	Brüstung Dachfenster	1,89	0,090	1,00	0,17
	6.00	Fensteranschluss oben				
35	6.01	Sturz Gaube	3,13	-0,039	1,00	-0,12
36	6.02	Sturz Dachfenster	1,89	0,090	1,00	0,17
	7.00	Fensteranschluss seitlich				
37	7.01	Laibung EG-DG	130,18	0,010	1,00	1,30
38	7.01a	Laibung KG	4,27	0,077	1,00	0,33
39	7.02	Laibung Gaube	14,74	0,002	1,00	0,03
40	7.03	Laibung Dachfenster	4,04	0,085	1,00	0,34
		Summe				24,65
		$\Delta U_{WB} = H_{T,WB} / \text{Hüllfläche}$	$\Delta U_{WB} =$	Faktor		0,0201
			Hüllfläche =	1228,7 m²		

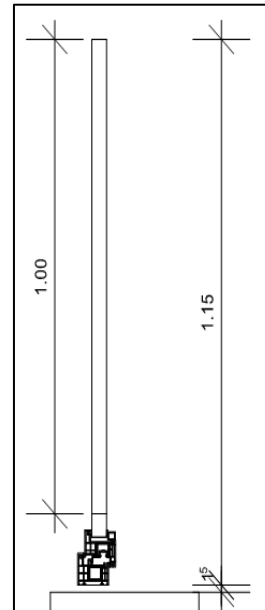
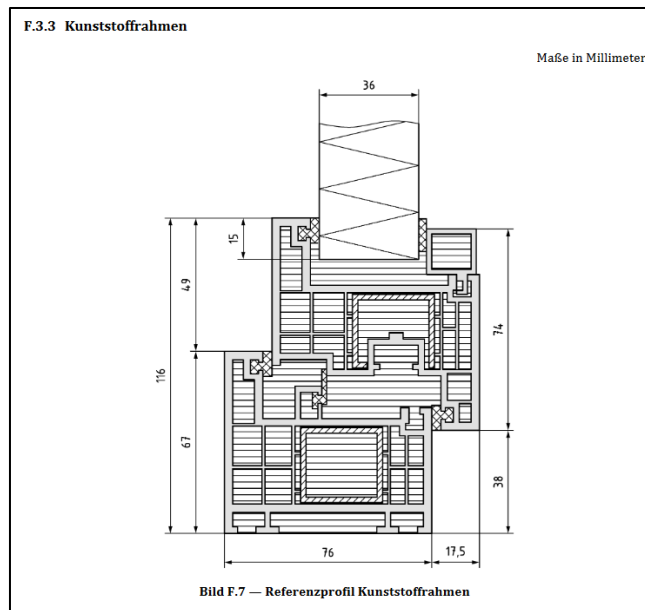
			15,96	0,024	1,00	0,38
			14,14	0,186	1,00	2,63
			1,62	0,092	1,00	0,15
			1,89	0,030	1,00	0,06
			3,13	-0,019	1,00	-0,06
			1,89	0,040	1,00	0,08
			130,18	0,110	1,00	14,32
			4,27	0,177	1,00	0,76
			14,74	0,022	1,00	0,32
			4,04	-0,005	1,00	-0,02
		Summe				40,24
		$\Delta U_{WB} =$		Faktor		0,0327
			Hüllfläche =	1228,7 m²		

Berechnung ohne Korrekturwerte $\Delta U_{WB} = 0,020 \text{ W/m}^2\text{K}$

Berechnung mit Korrekturwerte $\Delta U_{WB} = 0,032 \text{ W/m}^2\text{K}$

Für das Erreichen eines Effizienzhausstandard ergibt dies wesentlich höhere Investitionen für die Gebäudehülle bzw. Anlagentechnik.

Berechnung mit „Detailliert Modellierung“ nach Anhang F Bbl.2



Berechnung des U-Wertes

$$L_{2DAW} = L_{2d} \times (l_{\text{mod.window}} + l_x) / l_{\text{mod.window}}$$

$$L_{2DAW} = 1,017 \times (1,15 + 0,015) / 1,15$$

$$L_{2DAW} = 1,017 \text{ W/(mK)} \times 1,013 \text{ m}$$

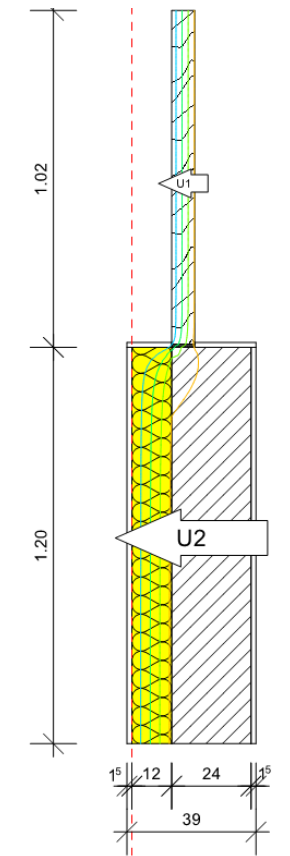
$$L_{2DAW} = \mathbf{1,03 \text{ W/(m}^2\text{K)}}$$

$$\Psi = L_{2D,\text{gesamt}} - \left(U_{\text{Wand}} \cdot l_{\text{Wand}} + L_{2D,\text{mod.window}} \cdot \frac{l_{\text{mod.window}} + l_x}{l_{\text{mod.window}}} \right)$$

Anhang E Bbl.2

Vergleich ψ - Wert ohne Korrektur, mit Korrektur und detailliert Berechnet

1) Fensteranschluss WDVS



Bbl.2 2006

Te =	-5,0	°C
Ti =	20,0	°C
dT =	25,0 = Ti-Te	K
Q =	45,731	W/m
L2d =	1,829 = Q/dT	W/(mK)
Psi =	0,098 = L2d-EnEV/GEG = 1,829 - (1,412*1,0*1,02+0,243*1,0*1,2)	W/(mK)

$\psi = 0,098$ W/(mK) o. Korrektur

Bbl.2 2019 Ersatzmodell

Te =	-5,0	°C
Ti =	20,0	°C
dT =	25,0 = Ti-Te	K
Q =	45,731	W/m
L2d =	1,829 = Q/dT	W/(mK)
psi,rech =	0,098 = L2d-EnEV/GEG = 1,829 - (1,412*1,0*1,02+0,243*1,0*1,2)	W/(mK)
Psi =	0,178 = Psi,rech+[Zuschlag] = 0,098 + 0,08	W/(mK)

$\psi = 0,178$ W/(mK) mit Korrektur

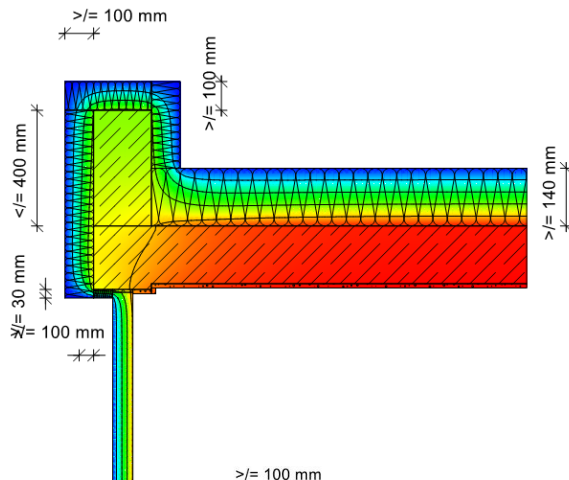
Bbl.2 2019 Referenzmodell

Psi-Wert		
Te =	-5,0	°C
Ti =	20,0	°C
dT =	25,0 = Ti-Te	K
Q =	35,545	W/m
L2d =	1,422 = Q/dT	W/(mK)
Psi =	0,101 = L2d-EnEV/GEG = 1,422 - (1,03*1,0*1,0+0,243*1,0*1,2)	W/(mK)

$\psi = 0,101$ W/(mK) detailliert Berechnet

Vergleich ψ - Wert ohne Korrektur, mit Korrektur und detailliert Berechnet

2) Fenstersturs

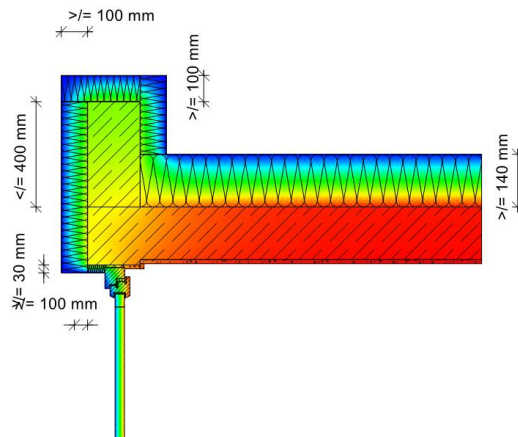


Bbl.2 2006

$\psi = 0,198 \text{ W/(mK)}$ o. Korrektur

Bbl.2 2019 Ersatzmodel

$\psi = 0,248 \text{ W/(mK)}$ mit Korrektur



Bbl.2 2019 Referenzmodel

$\psi = 0,20 \text{ W/(mK)}$ detailliert Berechnet

Danke für die Aufmerksamkeit!