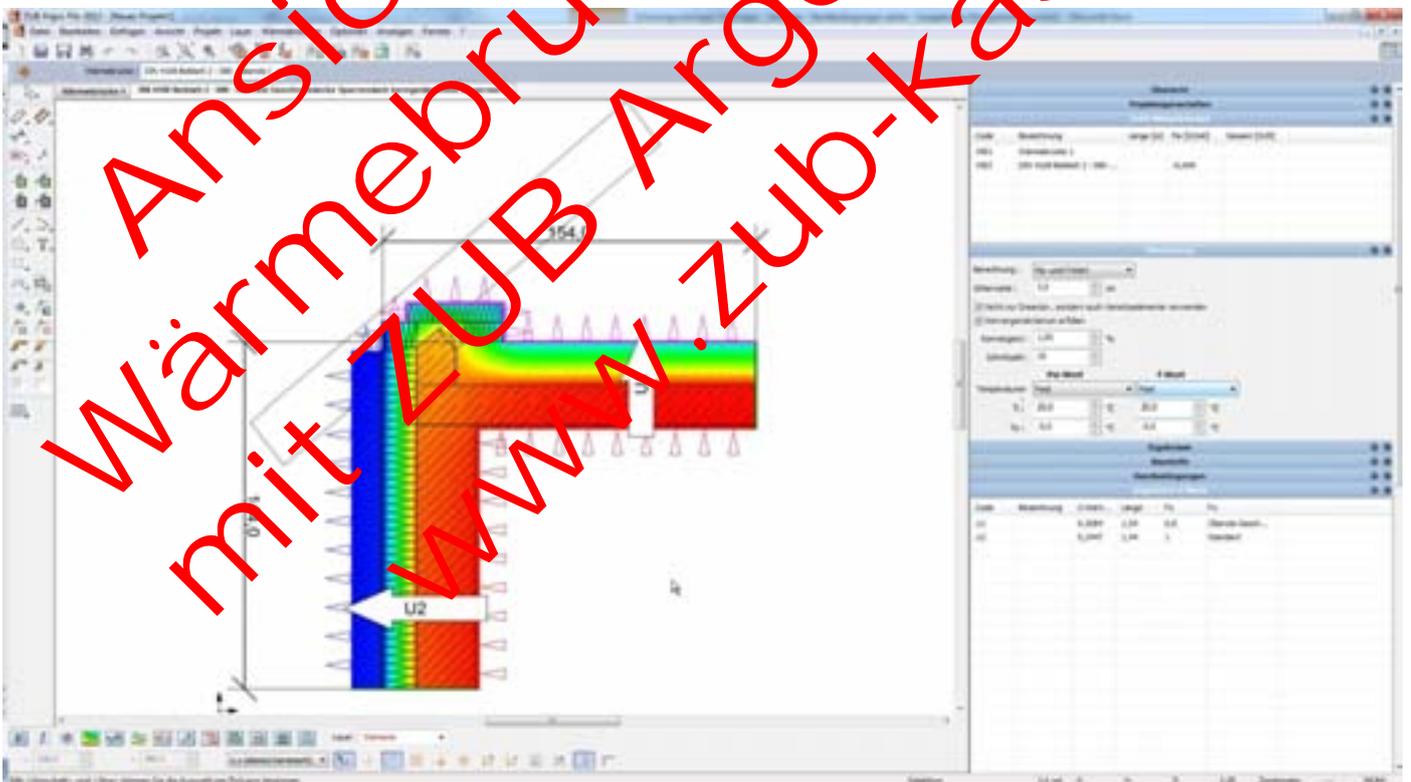


Praxisworkshop mit ZUB Argos® 2012

Psi-und f-Wert-Berechnung am Beispiel mit ZUB Argos® 2012 Pro

Grundlagenwissen für die rechnerische Untersuchung
von Wärmebrücken



Praxisworkshop mit ZUB Argos® 2012

Grundlagenwissen für die rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken

Die vorliegenden Unterlagen wurden nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt. Da Fehler jedoch nie auszuschließen sind, kann keine Gewähr für Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben übernommen werden. Insbesondere die Fortschreibung technischer Bestimmungen und Normen sowie deren Auslegung bedarf der eigenständigen und kritischen Prüfung. Die Autorenschaft ist für konstruktive Kritik und fachliche Diskussion jederzeit dankbar.

Grundlage für reale Projekte müssen ausschließlich eigene Planungen und Berechnungen gemäß den jeweils geltenden rechtlichen und normativen Bestimmungen sein. Eine Haftung des Verfassers dieser Unterlagen für unsachgemäße, unvollständige oder falsche Angaben und aller daraus entstehenden Schäden wird grundsätzlich ausgeschlossen.

Bitte respektieren Sie die Leistung der Autoren, indem Sie keine Raubkopien in Umlauf bringen. Danke!

Das Urheberrecht liegt ausschließlich bei der ZUB Systems GmbH. Eine Weiterverwendung der Unterlagen oder Teile der Unterlagen z.B. als Seminarunterlage oder Kopiervorlage für andere Veranstaltungen ist ebenso wie die Einspeicherung in elektronische Medien ohne ausdrückliche Zustimmung nicht gestattet!

Inhaltsverzeichnis

I. Was ist eine Wärmebrücke?	4
1.1 Erhöhter Wärmeabfluss	6
1.2 Reduzierte raumseitige Oberflächentemperatur	6
II. Übersicht der Verfahren zur Ermittlung der Wärmebrückeneffekte	8
2.1 Pauschaler Wärmebrückenzuschlag ohne Nachweis	9
2.2 Pauschaler Wärmebrückenzuschlag mit Nachweis der Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl.2	9
2.2.1 Gleichwertigkeit über das konstruktive Grundprinzip	11
2.2.2 Gleichwertigkeit über den Wärmehochlasswiderstand R	12
2.2.3 Gleichwertigkeit über Referenzwerte aus Veröffentlichungen	12
2.2.4 Gleichwertigkeit mittels Wärmebrückenberechnung	12
2.3 Detaillierter Wärmebrückennachweis	12
III. Wärmestromberechnung (ψ-Wert Ermittlung)	15
3.1 Modellbildung	15
3.2 Modellgeometrie bei Erdreichmodellen	20
IV. Wärmestromberechnung nach Randbedingungen der DIN 4108 Beiblatt 2	21
4.1 Temperaturrandbedingungen nach DIN 4108, Bbl.2	21
4.2 U-Wert Ermittlung	27
4.3 Wärmeübergangswiderstände nach DIN 4108, Bbl.2	30
4.4 Die Wirklänge – kurz und blindige	31
V. Wärmestromberechnung nach DIN 10211 (ψ-Wert Berechnung)	35
5.1 Wärmeübergangswiderstände	35
5.2 Temperaturrandbedingungen	35
5.3 Erdberührten Bauteilen nach DIN 13370	36

5.4 Das Konvergenzkriterium	38
VI. Wärmestromberechnung – Diskussion, Sonderfälle und Definitionslücken	39
VII. Ψ -und f-Wert Berechnung – der feine Unterschied	45
VIII. Berechnung der Oberflächentemperatur (f-Wert)	46
8.1 Erdberührte Bauteile	48
8.2 Wärmeübergangswiderstände	49
8.3 Temperaturrendbedingungen	52

Ansichtsexemplar
Wärmebrücken-Training
mit ZUB Argos Pro 2012
www.zub-kassel.de

I. Was ist eine Wärmebrücke?

Wärmebrücke sind Bereiche der wärmeübertragenden Hüllfläche mit erhöhtem Wärmeabfluss und ggf. reduzierten Oberflächentemperaturen

- Ungestörter Regelquerschnitt

An ungestörten Regelquerschnitt gibt es keine Bereiche mit erhöhtem Temperaturabfluss. Der Wärmeverlust L^{2D} (aus der FEM-Berechnung) ist gleich dem berechneten Wärmedurchgang L^0 (aus den U-Werten). Die Isothermen verlaufen parallel zueinander.



Bild 1 - Ungestörter Regelquerschnitt (mit Isothermenverlauf)

- Geometrische und formbedingte Wärmebrücken

An Bauteilen, die von ebenen Formen (Scheiben, Platten) abweichen, entstehen Wärmebrückeneffekte. Der Einfluss der Wärmebrücken hängt von Verhältnis der wärmezuführenden Innenseite und der wärmeabführenden Außenseite ab (Wand-, Boden- oder Deckenanschlüsse).

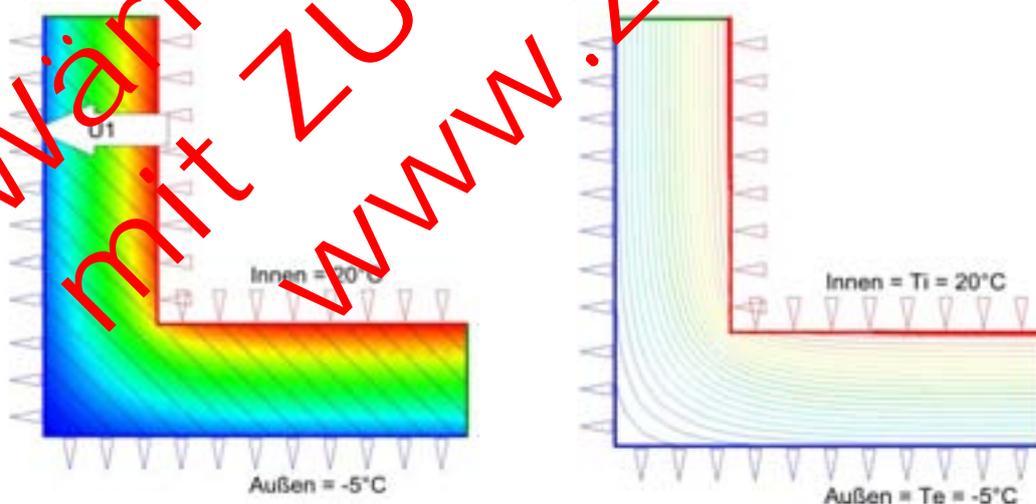


Bild 2 - Geometrische und formbedingte Wärmebrücken

- Konstruktive und stoffbedingte Wärmebrücken

An nebeneinanderliegenden Bereichen mit einem abweichenden Schichtaufbau (z.B. Baustoffe mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten λ) oder bei Änderung der Dicke der Bauteile treten Übergangseffekte in der Konstruktion als Wärmebrücken auf.

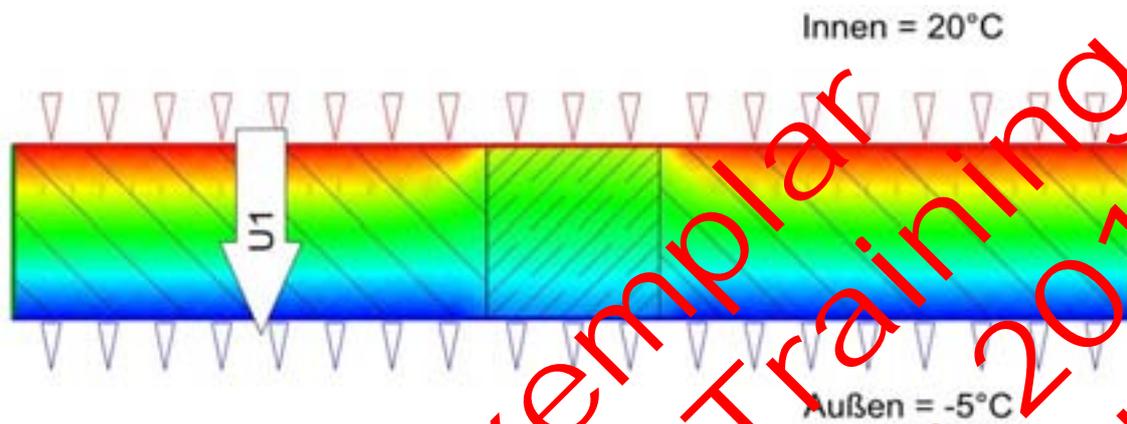


Bild 3 - Konstruktive und stoffbedingte Wärmebrücken

- Mischformen von Wärmebrücken

In der Praxis überlagern sich die Effekte aus konstruktiv / stoffbedingten und geometrie- / formbedingten Wärmeabflüssen.

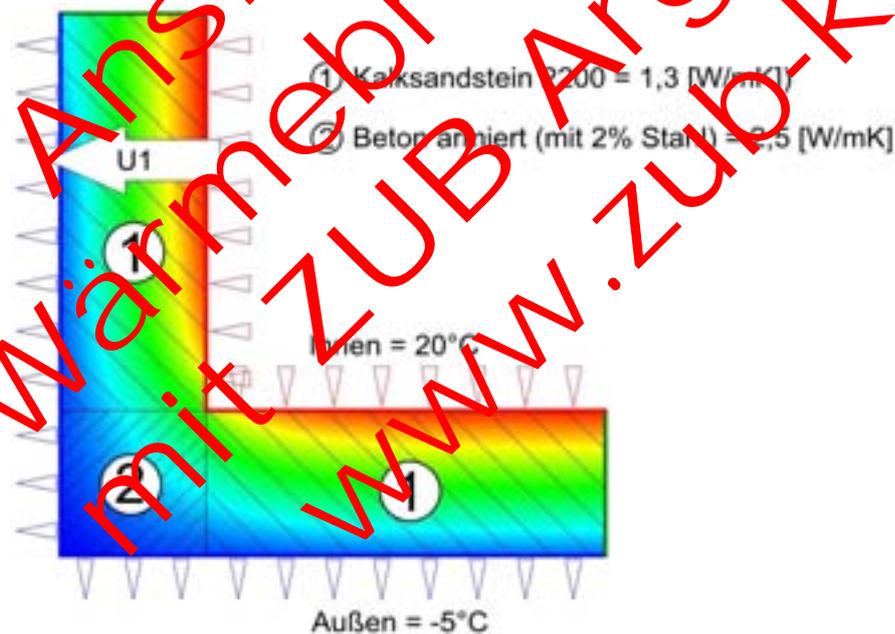


Bild 4 - Überlagernde Wärmebrückeneinflüsse (Mischform)

1.1 Erhöhter Wärmeabfluss

Der psi-Wert beschreibt die Differenz zwischen dem Wärmeverlust des Bauteils aus der FEM-Berechnung (unter Berücksichtigung des Wärmebrückenbereichs) und dem Wärmeverlust im ungestörten Regelquerschnitt. Je kleiner der psi-Wert ist, desto geringer sind die zusätzlichen Wärmeverluste aus dem Wärmebrückenbereich des Bauteils.

$$\text{psi-Wert} = L^{2D} - L^0 = Q/dT - \sum(U\text{-Wert} \times \text{Wirklänge} \times F_y)$$

Ergebnisse

Psi-Wert

Te : -5,0

Ti : 20,0

dT = Ti-Te : 25,0 = 20,0 - -5,0

Q : 151,501862

L2d = Q/dT : 6,060074 = 151,501862/25,0

Psi = L2d - 0,823304 = 6,060074 - (4,02812*0,6*1,0+2,819958*1,0*1,0)

EnEV :
Konvergenz : 0,1222

Schritt	rel. Güterweite [%]	Elemente	Wärmestrom [W/m]	Konvergenz [%]
1	100,0	106	151,607271	
2	66,5	226	151,501862	0,1222

Bild 5 – Ergebnisübersicht der psi-Wert-Ermittlung für Detail: Außenwand auf Bodenplatte (aus Fehler! erweisquelle konnte nicht gefunden werden.)

1.2 Reduzierte raumseitige Oberflächentemperatur

Bei Unterschreitung einer maßgebenden raumseitigen Oberflächentemperatur ist mit der Gefahr von Schimmelpilzbildung zu rechnen.

Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung ist gemäß 4108-2 die Bedingung $f_{Rsi} \geq 0,7$ an jedem Punkt auf der Innenseite einzuhalten. Dieser Zustand entspricht einer Temperatur auf der Innenoberfläche von 12,6°C bei Normbedingungen (= Wohnnutzung) mit einer Raumtemperatur von 20°C, Außentemperatur von -5°C und einer relative Raumlufffeuchte von 50%.

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

mit: θ_{si} [°C] raumseitige Oberflächentemperatur
 θ_e [°C] Außenlufttemperatur
 θ_i [°C] Innentemperatur

Schimmelpilzbildung ist nicht an Tauwasserausfall gebunden, sondern kann schon bei einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80% (12h/d)¹ in einem Zeitraum von 4-5 Tagen auftreten.

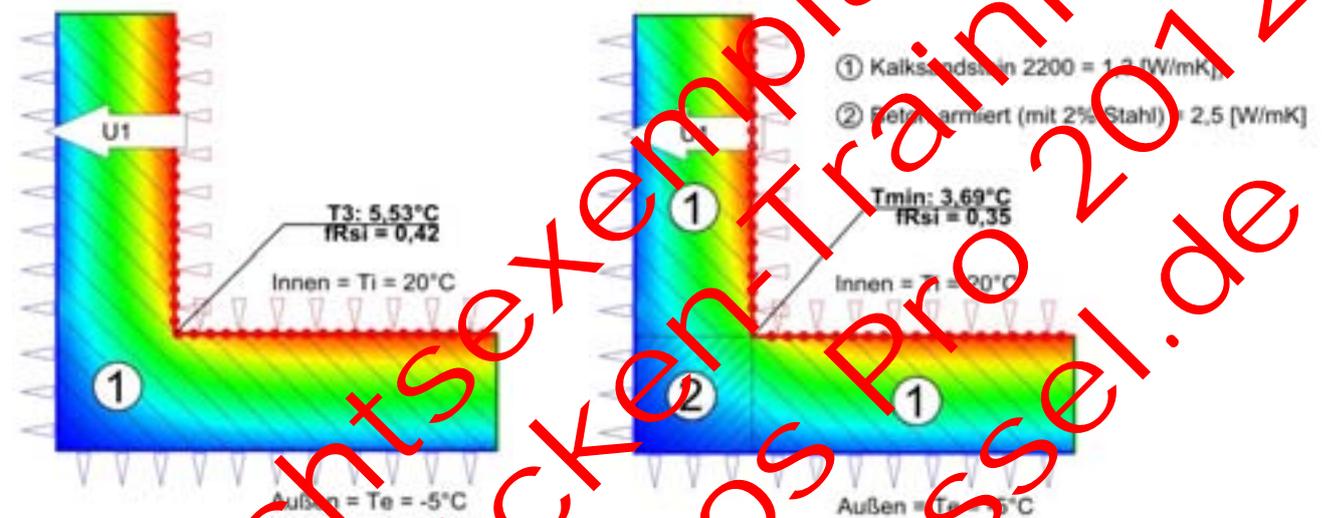


Bild 6 - Minimaler f-Wert an einer geometrischen Wärmebrücke (links) bzw. einer Mischform aus geometrischer und stoffbedingter Wärmebrücke (rechts)

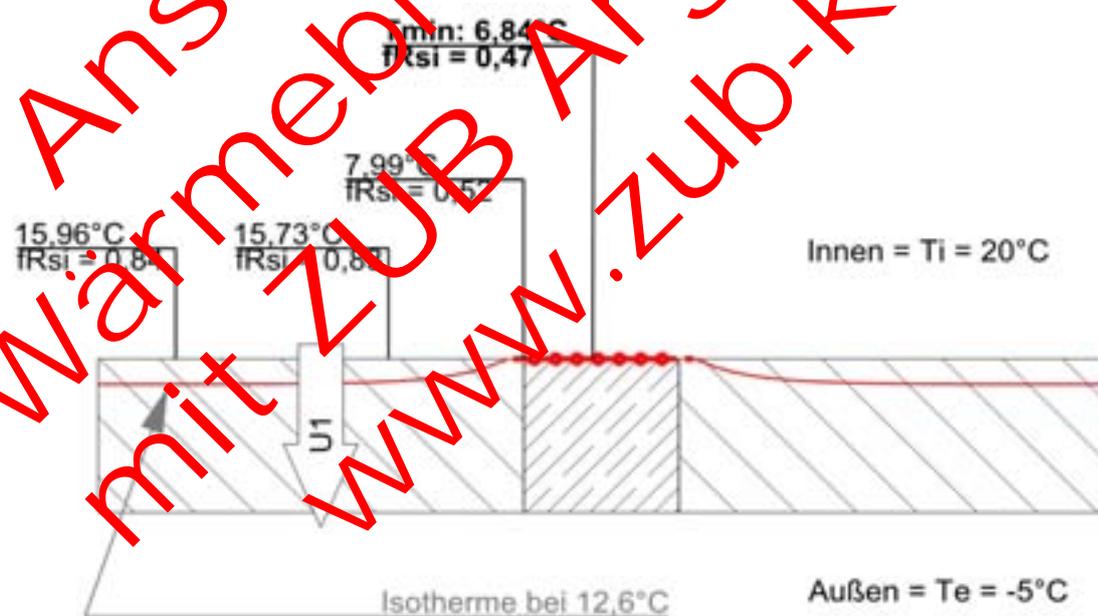


Bild 7 - Konstruktive Wärmebrücke mit Isotherme bei 12,6°C

Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken

Der Planer muss den Einfluss von konstruktiven Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf „nach den Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen“ nach § 7 EnEV 2009 so gering wie möglich halten. Der verbleibende Einfluss von Wärmebrücken ist im Berechnungsverfahren rechnerisch zu berücksichtigen.

In der DIN V 18599-2 wird der detaillierte Wärmebrückennachweis für Gebäudezonen mit hohem Wärmeschutz gefordert. „Bei Gebäudezonen mit hohem Wärmeschutz kann der Wärmetransport über Wärmebrücken im Vergleich zu dem gesamten Transmissionswärmestrom relativ groß werden und **darf** in diesem Fall nicht pauschal angesetzt werden.“²ⁿ

Wärmebrückeneffekte werden (in der EnEV) auch über den Außenmaßbezug bei der Definition der thermischen Gebäudehülle (Systemgrenzen) im Bilanzierungsverfahren mitberechnet.

II. Übersicht der Verfahren zur Ermittlung der Wärmebrückeneffekte

Der Einfluss von Wärmebrücken wird in den Berechnungsverfahren zur energetischen Bilanzierung über einen pauschalieren oder gebäudespezifischen Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} berücksichtigt.

- Pauschaler Wärmebrückenzuschlag ohne Nachweis
- Pauschaler Wärmebrückenzuschlag mit Nachweis der Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl.2
- Detaillierter Wärmebrückennachweis

Tabelle 1 - Übersicht der Verfahren zur rechnerischen Berücksichtigung des Wärmebrückenzuschlags

Verfahren zur rechnerischen Ermittlung der Wärmebrückeneffekte

Erläuterung (siehe Abschnitt)	Pauschaler Nachweis		Detaillierter Nachweis	
	... ohne Nachweis	mit Nachweis (Gleichwertigkeit nach DIN 4108, Bbl.2)	nach DIN EN ISO 10211 mit Randbedingungen nach DIN 4108, Bbl.2, Abschnitt 7	nach DIN EN ISO 10211
	2.1	2.2	IV	V
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	0,10 W/m ² K 0,15 W/m ² K	0,05 W/m ² K	ΔU_{WB} [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]
Anforderungen an das numerische Verfahren			DIN EN ISO 10211	DIN EN ISO 10211
Modellbildung nach			4108, Bbl.2 (Erdreichberücksichtigung mittels F_x -Faktoren)	DIN EN ISO 10211 (Erdreichmodell)
U-Werte	der nicht erdberührten Bauteile		DIN 6946	DIN 6946
	der erdberührten Bauteile		DIN 6946	DIN EN ISO 13370

2.1 Pauschaler Wärmebrückenzuschlag ohne Nachweis

Die (verbleibenden) Verluste von Wärmebrücken können im EnEV-Nachweis über pauschale Ansätze ohne Nachweis berücksichtigt werden:

- im Regelfall wird der U-Wert von Bauteile um einen Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ erhöht
- ein Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist anzusetzen, wenn mehr als 50 Prozent der Außenwand mit einer innenliegenden Dämmschicht und einbindender Massivdecken versehen sind

2.2 Pauschaler Wärmebrückenzuschlag mit Nachweis der Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Bbl.2

Um den reduzierten Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ in der Bilanzierung nach EnEV ansetzen zu dürfen, müssen die vorhandenen Wärmebrücken

gleichwertig zu denen in der DIN 4108 Beiblatt 2 : 2006-3 dargestellten Wärmebrückendetails sein. Hierzu ist ein Gleichwertigkeitsnachweis erforderlich.

In der DIN 4108 Bbl.2 sind nicht alle bei Gebäuden auftretenden Wärmebrücken berücksichtigt. Es müssen für die Anwendung des reduzierte pauschalen Wärmebrückenzuschlags $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ daher lediglich für die aufgeführten Planungsdetails eine Gleichwertigkeit nachgewiesen werden.

Es ist jedoch im Umkehrschluss für alle im Beiblatt 2 beschriebenen Details (soweit im geplanten oder vorhandenen Gebäude vorhanden) die Gleichwertigkeit nachzuweisen.

Für Wärmebrücken, die nicht im Beiblatt 2 aufgeführt sind, gelten die allgemeinen Prinzipien zur Vermeidung von Wärmebrücken:

- Vermeidung stark gegliederter Baukörper
- wärmetechnische Trennung auskragender Bauteile (z.B. Balkonplatten) von angrenzenden Baukörper
- durchgehende Dämmebene

Diese konstruktiven Grundprinzipien sind im Sanierungsfall häufig aufgrund von äußeren Zwängen nicht immer realisierbar. In der Praxis finden sich

- thermisch nicht entkoppelte Balkon-, Terrassen- oder Garagenanschlüsse,
- Sockelausbildungen ohne Perimeterdämmung oder
- ungünstige Fenstereinsparungen,

die aus gestalterischen, konstruktiven oder wirtschaftliche Gründen nicht entsprechend der Ausführungsempfehlungen des Beiblatt 2 saniert werden können. Hier kann (schon bei einer Abweichung) der reduzierte Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht mehr angewendet werden. Um nicht den ungünstigen Pauschalwert von $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ im EnEV-Nachweis ansetzen zu müssen, bleibt nur ein detaillierter Wärmebrückennachweis.

Mehr zum Gleichwertigkeitsnachweis nach DIN 4108 Bbl. 2 in Abschnitt IV.

Exkurs: Im Rahmen von EnEV-Nachweis ist ein Gleichwertigkeitsnachweis für „Wärmebrücken nicht erforderlich, bei denen [alle] angrenzenden Bauteile kleinere Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen, als in den Musterlösungen der DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03 zugrunde gelegt sind“.

Diese Vereinfachung darf für den Nachweis von KfW-Effizienzhausstandards nicht angewendet werden!⁴

Folgende Details dürfen bei einem Gleichwertigkeitsnachweis vernachlässigt werden⁵:

- Anschluss Außenwand/Außenwand (Außen- und Innenecke)
- Anschluss Innenwand oder Geschosdecke (zwischen beheizten Geschossen) an durchlaufende Außenwand
- oder obere bzw. untere Außenbauteile, die nicht durchstoßen werden bzw. eine durchlaufende Dämmschicht mit einer Dicke ≥ 100 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von $0,04$ W/mK aufweisen
- Anschlüsse außenluftberührter kleinflächiger Bauteile wie z. B. Unterzüge und untere Abschlüsse von Erkern mit außen liegenden Wärmedämmschichten mit $R \geq 2,5$ m²/KW
- einzeln auftretende Türanschlüsse von Wohngebäuden in der wärmetauschenden Hüllfläche (Haustür, Kellerabgangstür, Kelleraußentür)
- kleinflächige Querschnittsänderungen in der wärmetauschenden Hüllfläche (z.B. durch Steckdosen oder Leitungsschlitze)¹⁾
- Anschluss Innenwand oder Geschosdecke (zwischen beheizten Geschossen) an durchlaufende Außenwand¹⁾
- vereinzelt auftretende punktförmige Wärmebrücken (Befestigungspunkte vorgehängter Dächer, Markisenverankerungen, Konsolen als punktförmige Balkonaufleger)¹⁾

¹⁾ Sofern deren Anteil am Gesamtwärmeverlust durch Wärmebrücken $\leq 3\%$ ist.

2.3.1 Gleichwertigkeit über das konstruktive Grundprinzip

Eine Gleichwertigkeit liegt grundsätzlich vor, wenn das konstruktive Grundprinzip zur Wärmebrückenvermeidung und eine Übereinstimmung der beschriebenen Bauteilabmessungen und Baustoffeigenschaften vorliegen.

Es sind also für den Gleichwertigkeitsnachweis die Schichtdicken (Unter- und Obergrenzen) und Materialeigenschaften des Beiblatts 2 der DIN 4108 einzuhalten.

2.2.2 Gleichwertigkeit über den Wärmedurchlasswiderstand R

Bei abweichenden Wärmeleitfähigkeiten oder auch Abmessungen der einzelnen Schichten von den Details des Beiblatts 2 kann die Gleichwertigkeit auch über den Wärmedurchlasswiderstand (R- Wert) der jeweiligen Schicht nachgewiesen werden.

Die für die Anschlussdetails maßgeblichen Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sind der Tabelle 3 der DIN 4108 Bbl.2 dargestellt.

2.2.3 Gleichwertigkeit über Referenzwerte aus Veröffentlichungen

Die Einhaltung des ψ - Referenzwerts aus Beiblatt 2 und damit die Gleichwertigkeit darf auch über Veröffentlichungen (Wärmebrückenkataloge) oder Herstellerangaben erfolgen. Dabei ist sicherzustellen, dass die Randbedingungen aus Abschnitt 7 der DIN 4108 Bbl. 2 eingehalten wurden.

2.2.4 Gleichwertigkeit mittels Wärmebrückenberechnung

Ist mit dem bildlichen Verfahren (siehe 2.2.1 und 0) keine Übereinstimmung zu erzielen, wird die Gleichwertigkeit mit einer Wärmebrückenberechnung nachgewiesen. Für den rechnerischen Nachweis sind die ψ -Referenzwerte im Wärmebrückenbeiblatt angegeben. Der mit ZUB Argos 2012 berechnete ψ -Wert des geplanten Details darf – bei gleichen Berechnungsrandbedingungen nach Abschnitt 7 der DIN 4108 Bbl. 2 – nicht größer sein als der Referenzwert.

2.3 Detaillierter Wärmebrückennachweis

Neben den pauschalen Ansätzen für den Wärmebrückenzuschlag kann (immer) ein gebäudespezifischer Wärmebrückenzuschlag aus allen vorhandenen und rechnerisch nachgewiesenen Wärmebrücken ermittelt werden. Der detaillierte Nachweis der Wärmebrücken ist nach den Regelungen der DIN V 4108-6:2003-04, Tabelle D.3 bzw. DIN V 18599-2:2007-02, Abschnitt 6.2 zu führen.

Die Berechnung der ψ -Werte der Wärmebrücken erfolgt nach DIN V 18599-2 Abschnitt 6.2 auf Grundlage der DIN EN ISO 10211 unter Verwendung der Randbedingungen aus DIN 4108 Beiblatt 2. (siehe IV)

Nach DIN V 4108-6 Tabelle D.3 werden die ψ -Werte für Wärmebrücken nach DIN EN ISO 10211 (siehe V) für folgende (linienförmige) Anschlüsse ermittelt:

- Gebäudekanten
- Fenstern und Türen: Laibungen(umlaufend)
- Wand- und Deckeneinbindungen
- Deckenauflagern
- wärmetechnisch entkoppelten Balkonplatten

Die in DIN EN ISO 10211 beschriebenen Regeln für die modellhafte Abbildung sind jeweils zu beachten.

Es ist (normativ) nicht zulässig die Referenzwerte aus dem Beiblatt 2 der DIN 4108 als ψ -Wert eines Details im detaillierten Wärmebrückennachweis zu verwenden. Die Referenzwerte dienen zum Nachweis der Gleichwertigkeit! Das Beiblatt 2 der DIN 4108 legt Detailstandards fest und stellt keinen Wärmebrückenkatalog dar.

Exkurs: KfW-Effizienzhausstandard - Sonderregelung bei Sanierungsvorhaben (Gleichwertigkeitsnachweis).

„Sind an einem bestehenden Gebäude wenige in Beiblatt 2 nicht enthaltene Details vorhanden, wie etwa eine als Balkonplatte auskragende Geschossdecke neben ansonsten gleichwertigen Anschlussdetails, darf der pauschale Zuschlag von $U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ dennoch angesetzt werden, sofern der Wärmeverlust für diese Wärmebrücke ermittelt und zusätzlich bei der Berechnung des Transmissionswärmeverlusts über die Gebäudehülle angesetzt wird. Der ψ -Wert kann dabei durch Berechnung der Wärmebrücke ermittelt oder geeigneten Wärmebrückenkatalogen entnommen werden.“⁶

Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Erstellung eines detaillierten Wärmebrückennachweises:

1. Untersuchung der Konstruktion und Aufnahme der Wärmebrücken
2. Ermitteln des ψ -Werts
3. Erstellung eines Längenaufmaßes
4. Berechnung des gesamten zusätzlichen Wärmeverlustes
5. Ermittlung des Wärmebrückenzuschlag

$$HT'_{,WB} = \sum \psi_i \times L_i \quad [\text{W/K}]$$

$$\Delta U_{WB} = HT'_{,WB} / A_{\text{ges}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

mit A_{ges} = Thermische Hüllfläche [m^2]

Code	Bezeichnung	Länge [m]	Psi [W/mK]	Gesamt [W/K]
WB2	DIN 4108 Beiblatt 2 - 051 - Fensterlaibung kerngedämmtes Mauerwerk	25,0	0,093	2,322
WB3	DIN 4108 Beiblatt 2 - 069 - Terrassentür aussengedämmtes Mauerwerk	45,0	0,108	-4,872
WB4	DIN 4108 Beiblatt 2 - 006 - Keller - außengedämmtes Mauerwerk Psi-Wert	87,0	-0,077	-6,666
WB5	DIN 4108 Beiblatt 2 - 073 - Geschossdecke kerngedämmtes Mauerwerk	23,0	0,002	0,046
WB6	DIN 4108 Beiblatt 2 - 077 - oberste Geschossdecke Pfettendach kerngedämmtes Mauerwerk	89,0	-0,116	-10,303
WB7	DIN 4108 Beiblatt 2 - 056 - Fenstersturz kerngedämmtes Mauerwerk	23,0	0,027	0,63
WB8	DIN 4108 Beiblatt 2 - 063 - Rolllädenkasten kerngedämmtes Mauerwerk	15,0	0,204	3,066
WB9	DIN 4108 Beiblatt 2 - 082 - Ortsgang kerngedämmtes Mauerwerk	47,0	-0,006	-0,27

Bild 8 - Ermittlung der psi-Werte und Längenaufmaß in ZUB Argos 2012

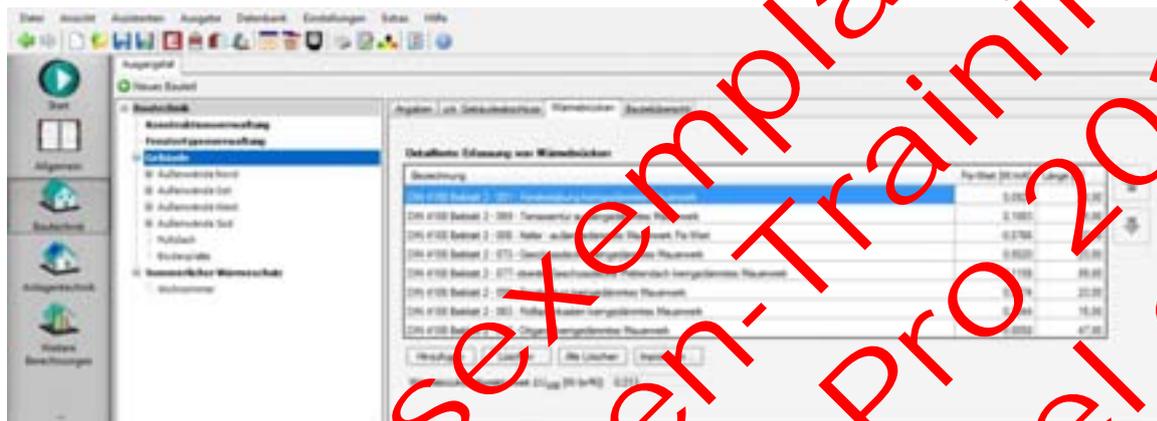


Bild 9 - Import der Daten (psi-Werte und Längenaufmaß) aus ZUB Argos 2012 und Ermittlung des Wärmebrückenanzugs aus der thermischen Hüllfläche des Gebäudes in ZUB Helena 2012

Nr.	Beschreibung der Wärmebrücke	Läng	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Produkt
i		l _i	ψ _i	l _i * ψ _i
		[m]	[W/(mK)]	[W/K]
1	DIN 4108 Beiblatt 2 - 051 - Fensterlaibung kerngedämmtes Mauerwerk	25,0	0,093	2,323
2	DIN 4108 Beiblatt 2 - 069 - Terrassentür aussengedämmtes Mauerwerk	45,0	0,108	-4,874
3	DIN 4108 Beiblatt 2 - 006 - Keller - außengedämmtes Mauerwerk Psi-Wert	87,0	-0,077	-6,664
4	DIN 4108 Beiblatt 2 - 073 - Geschossdecke kerngedämmtes Mauerwerk	23,0	0,002	0,046
5	DIN 4108 Beiblatt 2 - 077 - oberste Geschossdecke Pfettendach kerngedämmtes Mauerwerk	89,0	-0,116	-10,306
6	DIN 4108 Beiblatt 2 - 056 - Fenstersturz kerngedämmtes Mauerwerk	23,0	0,027	0,630
7	DIN 4108 Beiblatt 2 - 063 - Rolllädenkasten kerngedämmtes Mauerwerk	15,0	0,204	3,066
8	DIN 4108 Beiblatt 2 - 082 - Ortsgang kerngedämmtes Mauerwerk	47,0	-0,006	-0,273
Σ(l * ψ) [W/K] =				-6,305
Hüllfläche A [m ²] =				494,800
ΔU _{WB} =				-0,013

Bild 10 - Ermittlung des Wärmebrückenanzugs aus den psi-Werten der vorhandenen Anschlussdetails und der thermischen Hüllfläche des Gebäudes in Excel⁷

Ansichtsexemplar
Wärmebrücken-Training
mit ZUB Argos Pro 2012
www.zub-kassel.de

III. Wärmestromberechnung (ψ -Wert Ermittlung)

Die Ergebnisse einer rechnerischen Untersuchung von Wärmebrücken hängen entscheidend ab von der korrekten Wahl der Randbedingungen (Stoffkennwerte, Modellgeometrie, Temperaturen und Wärmeübergänge). Es ist daher zu unterscheiden nach einer **allgemeine Wärmebrückenberechnung** nach DIN EN ISO 10211 oder einem **Gleichwertigkeitsnachweis von Detailausführungen** gemäß DIN 4108 Bbl.2.

Für den Gleichwertigkeitsnachweis im Sinne der DIN 4108, Beiblatt 2 sind die dort vorgegebenen Definitionen der Randbedingungen maßgeblich und **zwingend** einzuhalten.

Für den allgemeinen Fall sind die tatsächlichen Verhältnisse abzubilden. Vorgaben zu Modellgeometrie und Temperatur- und Wärmeübergangsrandbedingungen finden Sie in der DIN 10211. Von diesen Vorgaben darf zur Berücksichtigung von örtlichen Verhältnissen oder besonderen Materialeigenschaften abgewichen werden⁸.

3.1 Modellbildung

Die Abbildung eines vollständigen Gebäudes (mit allen Wärmebrücken) ist i.d.R. nicht darstellbar. Daher wird ein Gebäude unter Verwendung von passenden Schnittebenen in mehrere geometrische Bereiche zerlegt.

Die nachfolgenden Ausführungen zu Schnittebenen gelten allgemein für Gleichwertigkeitsnachweise nach DIN 4108 Bbl. 2 als auch für allgemeine Wärmebrückenberechnungen.

Bei der Wahl der Modellgeometrie ist eine ausreichende Entfernung der flankierenden Bauteile von der Wärmebrücke („gestörter Bereich“ oder „zentrales Element“)⁹ einzuhalten.

Es sind Schnittebenen anzuordnen

- a. in einem Mindestabstand von 1 m oder das Dreifache der Bauteildicke von der Wärmebrücke, falls keine nähere Symmetrieebene vorhanden ist.
- b. in der Symmetrieebenen, falls diese weniger als den Mindestabstand von der Wärmebrücke entfernt ist.

Schnittebenen am Beispiel

Beispiel A: Wand mit Fenster

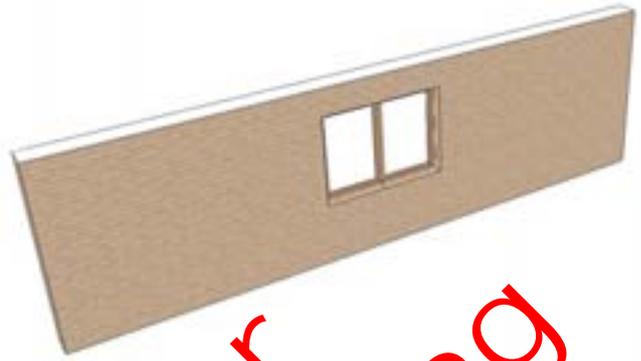


Bild 11 - Modell einer Wandscheibe mit einem Fenster

Die Wärmebrücke ergibt sich am Übergang zwischen dem eingebauten Fenster und der Bauöffnung. Die Symmetrieebene der Wand und des Fensters liegt in der Mitte des Fensters.

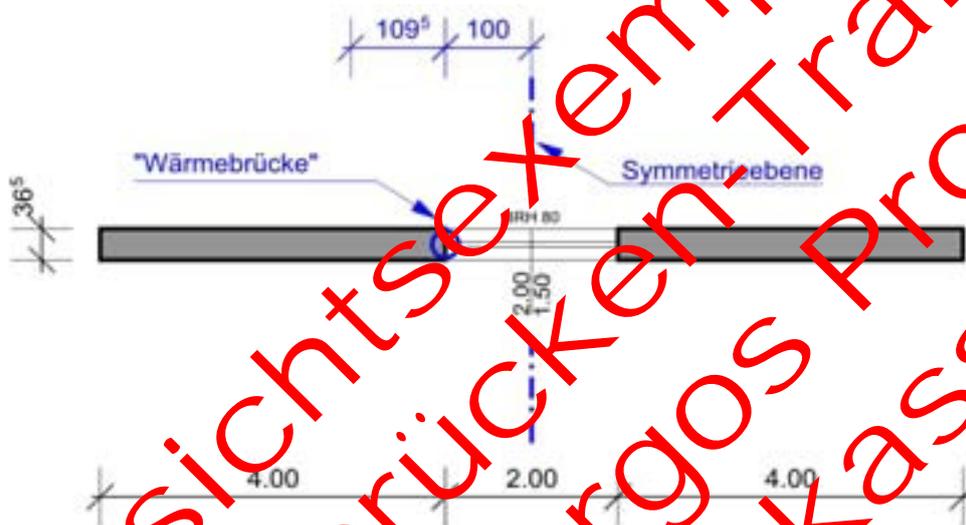


Bild 12 - Abmessungen und Symmetrieebene der Wandscheibe mit Fenster

Das Abstandmaß

...der Wand als flankierendes Element links von der Wärmebrücke:

- a. Mindestabstand von 1m oder das Dreifache der Bauteildicke von der Wärmebrücke von $3 \times 0,365 \text{ m} = \underline{1,095 \text{ m}}$
- b. Keine Symmetrieebene

⇒ maßgebliche Wert ist der Mindestabstand von **1,095 m**

...des Fensters als flankierendes Element rechts von der Wärmebrücke:

- a. Mindestabstand von 1m oder das Dreifache der Bauteildicke von der Wärmebrücke von $3 \times 0,365 \text{ m} = \underline{1,095 \text{ m}}$
- b. Symmetrieebene in 1m,

⇒ maßgebliche Wert ist die Symmetrieebene im Abstand von **1 m**, weil der Abstand geringer ist als der Mindestabstand von 1,095 m.

Bei der Modellbildung sind Abstände von der Wärmebrücke geringer als das Mindestmaß – abgesehen von Symmetrieebenen – zu vermeiden, weil dadurch Wärmebrückeneffekte unberücksichtigt bleiben.

Bei Abständen über dem erforderlichen Mindestabstand wird lediglich der Berechnungsaufwand ohne einen Einfluss auf die Berechnungsgenauigkeit erhöht, weil der Beitrag des ungestörten Bereichs zum ψ -Wert gleich Null ist. Das Ergebnis der ψ -Wert Berechnung beim Modell mit wesentlich größeren Bauteillängen als den maßgeblichen Mindestabständen links von der Wärmebrücke (Bild 14) ist gleich dem Modell mit den Mindestabständen (Bild 13).

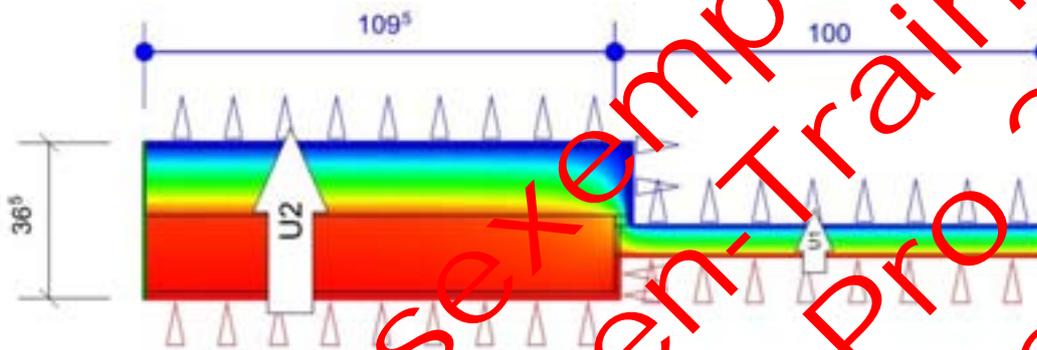


Bild 13 - Wärmebrückenmodell für Beispiel A; ψ -Wert = 0,055 W/mK

Ein inhaltliches Kriterium für den (Mindest-)Abstand von der Wärmebrücke ist der Verlauf der Isothermen. Im ungestörten Bereich - außerhalb des Mindestabstands zur Wärmebrücke - verlaufen die Isothermen parallel zueinander und liefern keinen Beitrag zum ψ -Wert. Im Bereich der Wärmebrücke verlaufen die Isothermen nicht mehr einheitlich. An diesem gestörten Isothermenverlauf lässt sich die Ausdehnung der Wärmebrücke ablesen.

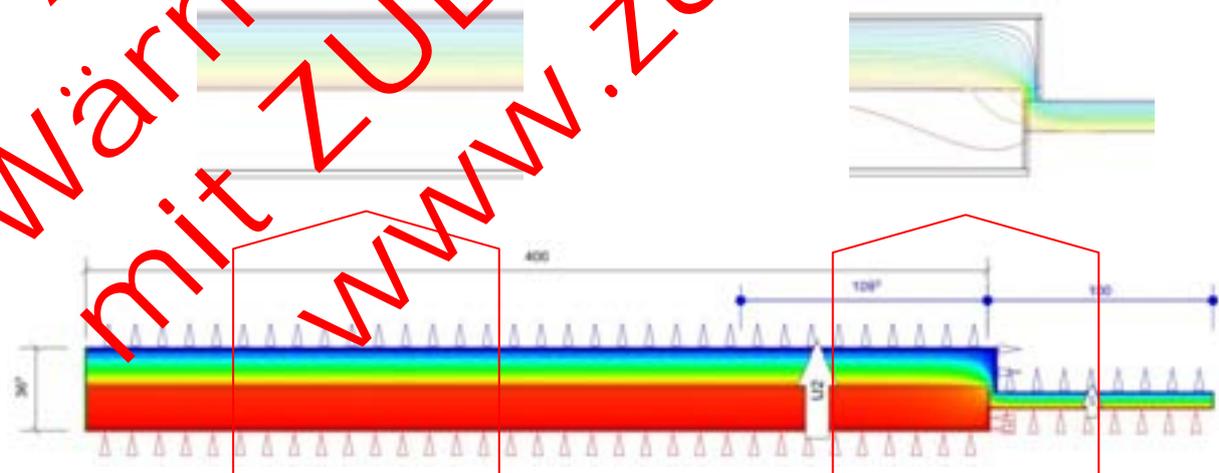


Bild 14 - Wärmebrückenmodell für Beispiel A mit Wandelement links von der Wärmebrücke deutlich über dem Mindestabstand; ψ -Wert = 0,055 W/mK

Beispiel B: Wandecke mit Fenster

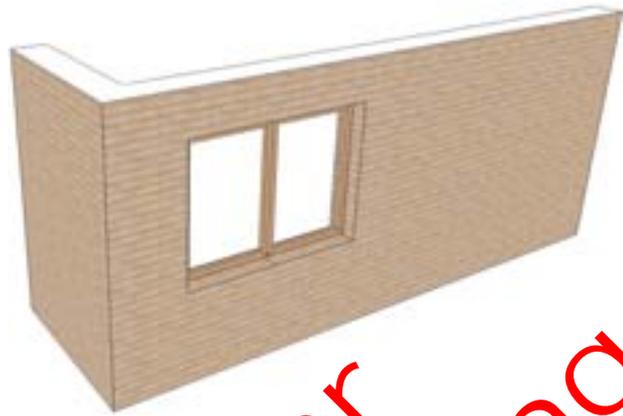


Bild 15 - Modell einer Wandecke mit Fenster

Die Symmetrieebene liegt in der Mitte des Fensters. Die Bereiche rechts und links dieser Symmetrieebenen sind zu untersuchen.

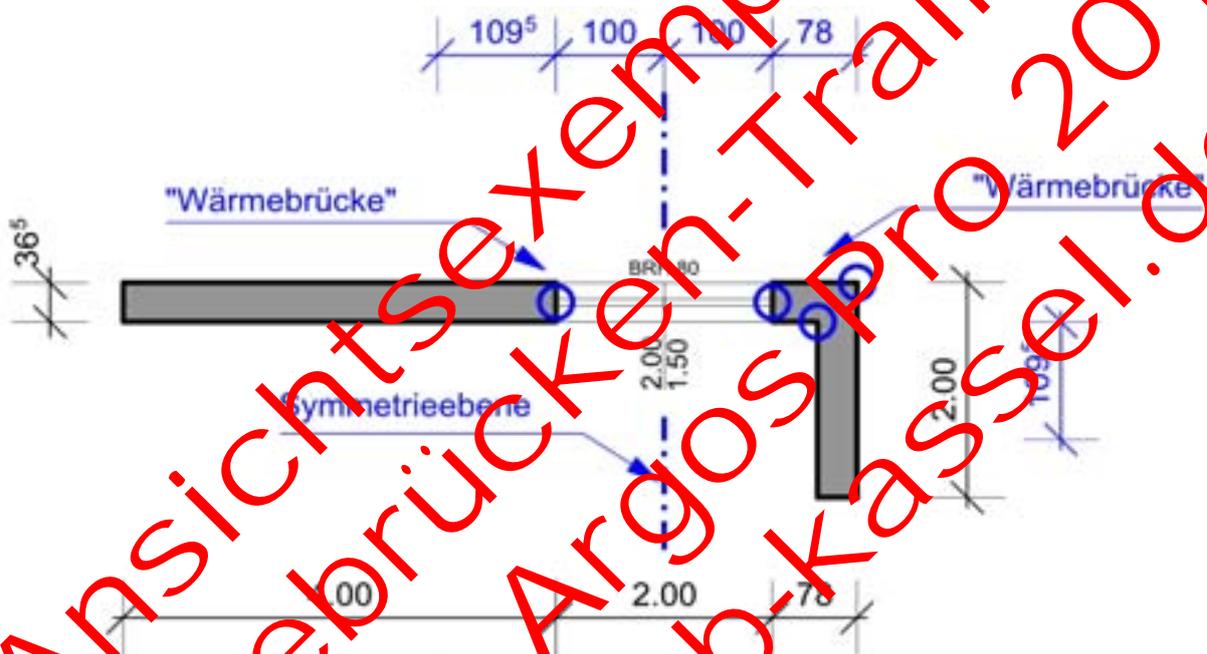


Bild 16 - Abmessung und Symmetrie der Wandecke mit Fenster

Die Modellierung des Bereichs links von der Symmetrieebene ist identisch zum Beispiel A (siehe Bild 15).

Der Bereich rechts von der Symmetrieebene des Fensters schließt zwei Wärmebrücken ein: Anschluss Fenster- Bauöffnung und Anschluss Wand-Wand (im Eckbereich).

Die Abstände dieser beiden Wärmebrücken ist mit 0,78m geringer als der maßgebliche Abstand von 1,095m (= Dreifache der Bauteildicke).

Ansichtsexemplar
www.zub-argos.de
Wärmebrücken-Training
2012

Liegen zwei Wärmebrücken so nahe beieinander, dass die Mindestabstände nicht eingehalten werden können, so wird ein Modell gebildet, das beide Wärmebrücken enthält.

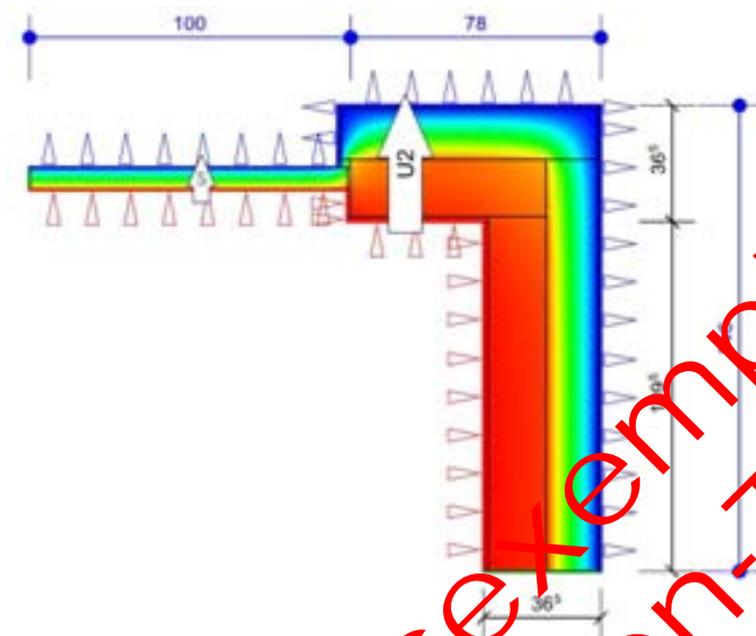


Bild 17 - Wärmebrückenmodell für Beispiel B; ψ -Wert = -0,016 W/mK

Eine getrennte Modellierung ist nicht möglich, weil beide Wärmebrücken sich gegenseitig beeinflussen. Dieser gegenseitige Einfluss ist an den Isothermenverläufe erkennbar.



Bild 18 - Isothermenverlauf im Beispiel B

3.2 Modellgeometrie bei Erdreichmodellen

Die Modellgeometrie von erdberührten Bauteilen unterscheidet sich im allgemeinen Verfahren nach DIN EN ISO 10211 grundsätzlich von den Verfahren nach DIN 4108 Beiblatt 2.

Nach DIN 10211 werden für die Berechnung der Wärmeübertragung über erdberührte Bauteile (Gründung, Bodenplatte, Keller) Schnittebenen im Erdreich angeordnet.

Abweichend davon ist für den Gleichwertigkeitsnachweis nach DIN 4108 Bbl. 2 für die Wärmestromberechnungen (ψ -Wert Ermittlung) kein Erdreichmodell anzusetzen. Die Temperatur- und Wärmeübergänge werden direkt an der Bauteiloberfläche aufgebracht.¹⁰ (siehe Abschnitt 4)

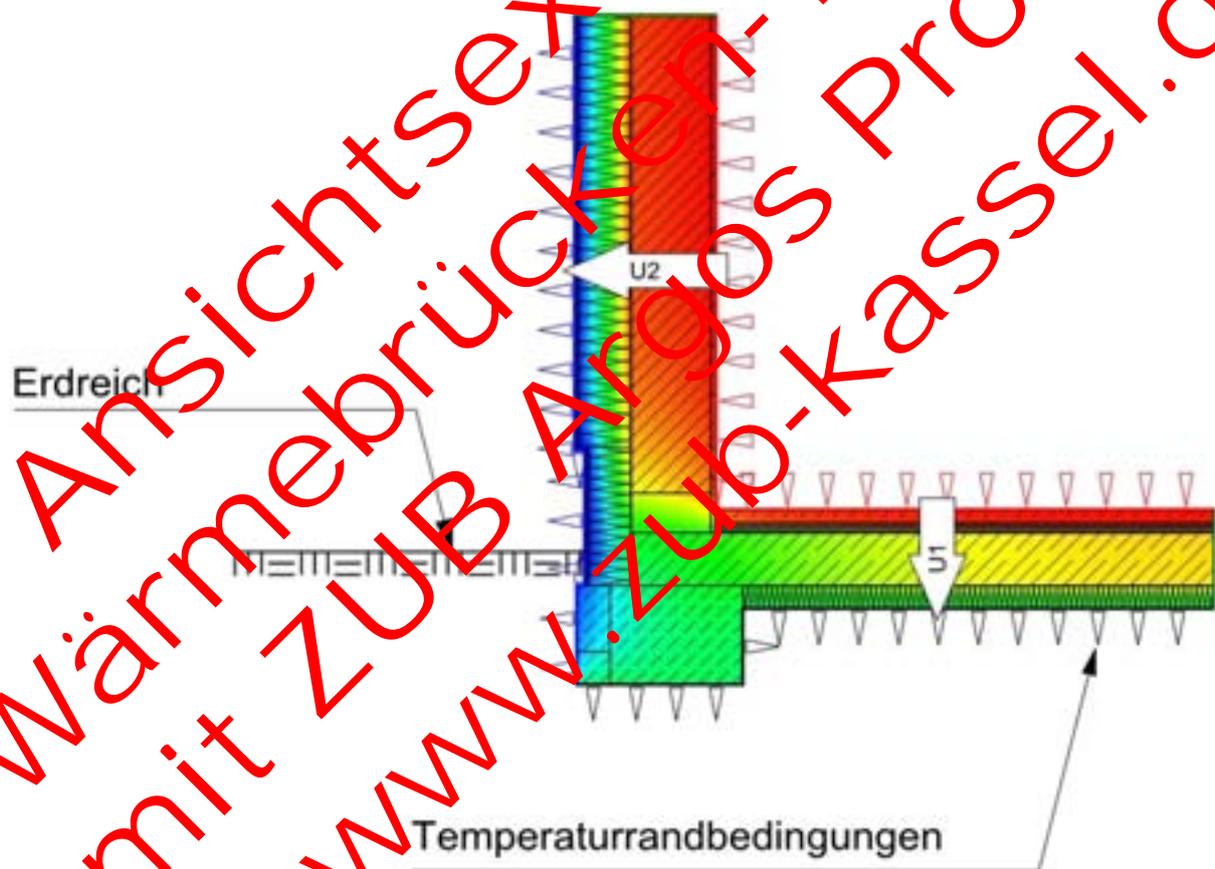


Bild 19 - Temperaturrandbedingungen direkt an erdberührten Bauteilen nach DIN 4108 Bbl. 2

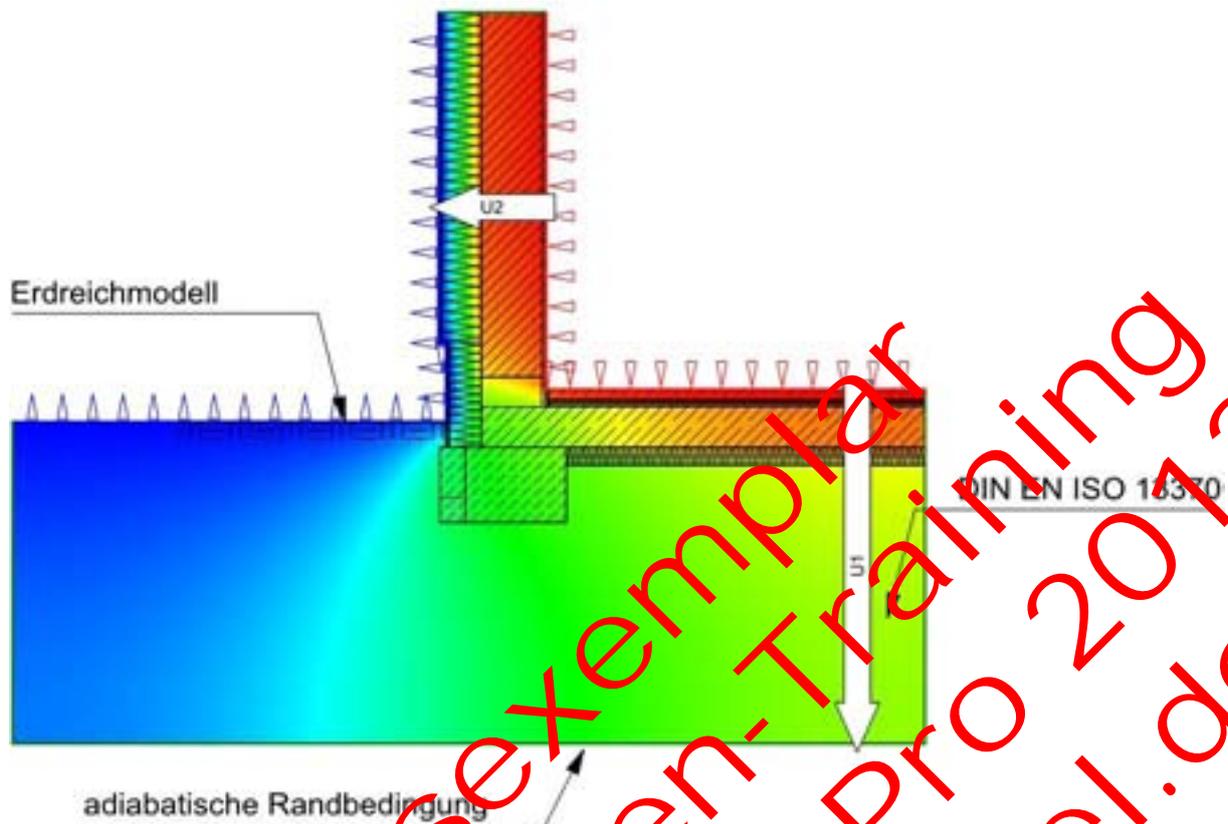


Bild 20 - Modellierung von Erdreichmodellen nach DIN EN ISO 10211

IV. Wärmestromberechnung nach Randbedingungen der DIN 4108 Beiblatt 2

Ist mit dem bildlichen Verfahren (2.2.1 und 2.2.2) keine Übereinstimmung zu erzielen, wird die Gleichwertigkeit mit einer Wärmebrückenberechnung nachgewiesen. Für den rechnerischen Nachweis sind die einzuhaltenden ψ -Referenzwerte im Wärmebrückenbeiblatt angegeben. Der mit ZUB Argos 2012 berechnete ψ -Wert eines Anschlussdetails darf – bei gleichen Berechnungsrandbedingungen nach Abschnitt 7 der DIN 4108 Bbl. 2 – nicht größer sein als der Referenzwert.

4.1 Temperaturrandbedingungen nach DIN 4108, Bbl.2

Der ψ -Wert [W/mK] ist auf eine Temperaturdifferenz von 1 K normiert. Daher ist es bei einer Wärmebrückenberechnung unerheblich mit welchem „normgerechten“ Temperatursatz gerechnet wird.

In der DIN 4108 Bbl. 2 werden die Temperatur-Randbedingungen mit Innen = 1 K und Außen = 0 K angegeben.

Die Standardtemperaturen von 20°C und -5°C werden gewählt, um aus praktischen Gründen für die psi- und f-Wert Ermittlung mit denselben Temperaturrendbedingungen zu rechnen.

Tabelle 2 - Temperaturrendbedingungen für Gleichwertigkeitsnachweise

Anwendung		Temperatursatz	
		0 K – 1 K	-5°C – 20°C
Innen	- allgemein	$f_i = 1,0$	$\theta_i = 20^\circ\text{C}$
	- unbeheizter Raum	$f_i = 0,5$	$\theta_i = 8,5^\circ\text{C}$
	- unbeheizter Dachraum	$f_u = 0,2$	$\theta_u = 0^\circ\text{C}$
Außen	- gegen Außenluft	$f_e = 0$	$\theta_e = -5^\circ\text{C}$
	- erdberührt: Bodenplatte oder >1m Erdreichtiefe	$f_{bf} = f_{bw} = 0,4$	$\theta_e = 5^\circ\text{C}$
	- erdberührt: <1m Erdreichtiefe	$f_{bw} = f_e = 0$	$\theta_e = -5^\circ\text{C}$

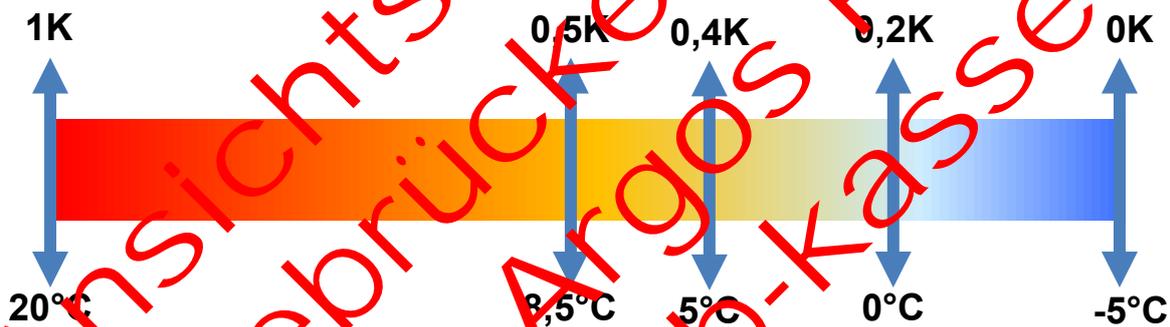


Abbildung 1 - Normgerechte Temperatursatz für Gleichwertigkeitsnachweise

Für den Zusammenhang zwischen dem Temperaturfaktor f und dem Temperaturkorrekturfaktor F gilt: $f = 1 - F$.

Für Außenbauteile gegen Außenluft gilt generell, dass keine Korrektur bezüglich abweichender Temperatur-Differenzen vorzunehmen ist.

Für die Außenwand 1 gilt:

$$f_e = 1 - F_e = 1 - 1 = 0$$

mit Temperaturkorrekturfaktor $F_e = 1,0$ für Außenwand gegen Außenluft

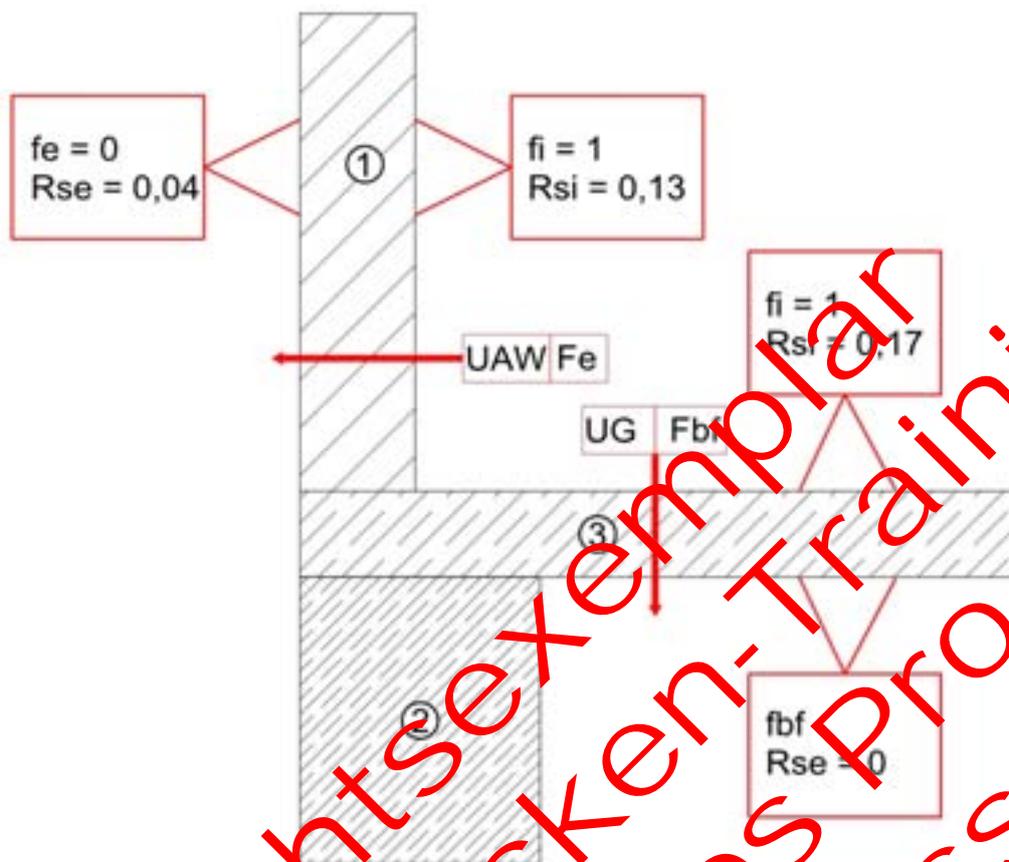


Bild 21 - Darstellung von Randbedingungen, Definition für KG-Fundament <1m Erdreichtiefe¹¹

Bei Bauteilen des unteren Gebäudeanschlusses ist der Temperaturkorrekturfaktor F_G abhängig vom charakteristischen Bodenplattenmaß (B') und des Wärmedurchlasswiderstand (R_{f} bzw. R_w) der Kellerwände/-decke und Bodenplatte. Für die Ermittlung der Gleichwertigkeit darf vereinfachend der Wert 0,6 angesetzt werden¹².

Im Rahmen von EnEV-Nachweisen ist der bauteilspezifische Temperaturkorrekturfaktor F_G zwingend anzusetzen!

Für die Bodenplatte 3 gilt:

$$f_{bf} = 1 - F_G = 1 - 0,6 = 0,4$$

mit Temperaturkorrekturfaktor $F_{bf} = 0,6$ für Fußboden auf dem Erdreich (vereinfachend) bzw. der $F_{bf/bw}$ -Wert korrespondierend zum EnEV-Nachweis.

Sonderfall: Bauteile im Boden ohne Kontakt zur Außenluft

Die Details

- Kellerinnenwand an Kellerdecke oder
- Kellerinnenwand an Bodenplatte oder
- Kellerwandaußenecke im Horizontalschnitt

haben die Besonderheit, dass im Detailaufbau keine Außentemperaturrandbedingung (entspricht 0 K bzw. -5°C) vorliegt.

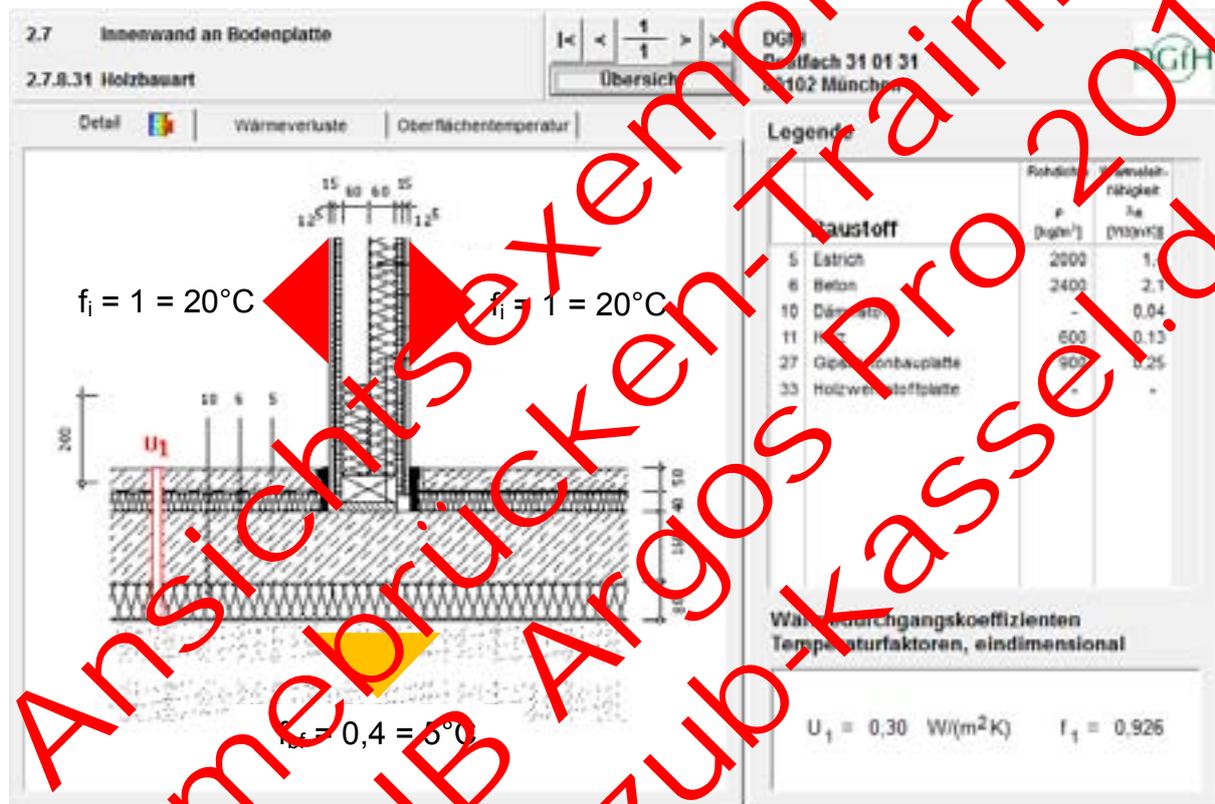


Bild 22 - Detail Innenwand an Bodenplatte aus ZUB Wärmebrückenatlas

Bei einer Modellierung ohne Berücksichtigung dieses Umstandes würde man den Wärmestrom L^{2D} daher nur auf die Temperaturdifferenz von 0,6 K anstatt der Temperaturdifferenz von 1 K beziehen. (Dies entspricht bei einem Temperatursatz von $-5^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ einer Temperaturdifferenz von 15 K anstatt 25 K). Beim ungestörten Regelbauteil (U-Wert) hingegen wird der Wärmeverlust L^0 über den Temperaturkorrekturwert F_x immer auf die Differenz von Außen- und Innentemperatur von 1 K bezogen (bzw. 25 K bei einem Temperatursatz von $-5^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$). Das hätte zur Folge, dass die Modellierung den zusätzlichen Wärmestrom im Bereich der Wärmebrücke (als Differenz von L^{2D} und L^0) überschätzen würde.

Um diese besonderen Bedingung in ihrer Wärmerückenberechnung normativ richtig abzubilden, gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Variante:

- a. Modellierung des Details mit den Temperaturreandbedingungen für Raumtemperatur und Keller- oder Erdtemperatur (nach Bild 22: Raumtemperatur: 1K bzw. 20°C und Erdreich: 0,4 K bzw. 5°C)
- b. Der Leitwert L^{2D} wird mit der Temperaturdifferenz aus einem Wärmebrückenmodell ermittelt (nach Bild 22: Temperaturdifferenz: 0,6 K bzw. 15 K)
- c. Bei der U-Wert Ermittlung wird **immer** Temperaturkorrekturfaktor $F_x = 1$ angesetzt
- d. Der ermittelte psi-Wert ist für die EnEV-Bilanzierung mit dem Temperaturkorrekturfaktor F_G des Bauteils des unteren Gebäudeabschlusses zu multiplizieren.

2. Variante:

- a. Modellierung des Details mit den Temperaturreandbedingungen für Raumtemperatur und Keller- oder Erdtemperatur (nach Bild 20: Raumtemperatur: 1K bzw. 20°C und Erdreich: 0,4 K bzw. 5°C)
- b. Der Leitwert L^{2D} wird mit der **Temperaturdifferenz aus Raumtemperatur und der Außentemperatur** ermittelt (nach Bild 22: Temperaturdifferenz: 1 K bzw. 25 K)
- c. Bei der U-Wert Ermittlung wird der Temperaturkorrekturfaktor F_G des Bauteils des unteren Gebäudeabschlusses $F_G < 1$ angesetzt
- d. Der ermittelte psi-Wert ist (ohne Korrektur) für die EnEV-Bilanzierung direkt anwendbar

Randbedingungen im Detail

1.Variante

Temperaturdifferenz

2.Variante

Ergebnisse	
Psi-Wert	
Te :	5,0
Ti :	20,0
dT = Ti-Te :	15,0 = 20,0 - 5,0
Q :	13,226013
L2d = Q/dT :	0,881734 = 13,226013/15,0
Phi = L2d ·	0,040013 = 0,881734 · (0,361254*1,0*2,33)
EnEV :	
Konvergenz :	0,1038

Ergebnisse	
Psi-Wert	
Te :	-5,0
Ti :	20,0
dT = Ti-Te :	25,0 = 20,0 - (-5,0)
Q :	13,226013
L2d = Q/dT :	0,529041 = 13,226013/25,0
Phi = L2d ·	0,024008 = 0,529041 · (0,361254*0,6*2,33)
EnEV :	
Konvergenz :	0,1038

F_x-Wert (für Ermittlung des Wärmestrom L² im Regelbauteil)

Code	Bezeichnung	U-Wert [W/m ² K]	Länge	F _x	F _x
U1	Bodenplatte (unterseitig gedämmt)	0,3613	2,33	1	Standard

Code	Bezeichnung	U-Wert [W/m ² K]	Länge	F _x	F _x
U1	Bodenplatte (unterseitig gedämmt)	0,3613	2,33	0,6	Fußboden auf Dämm

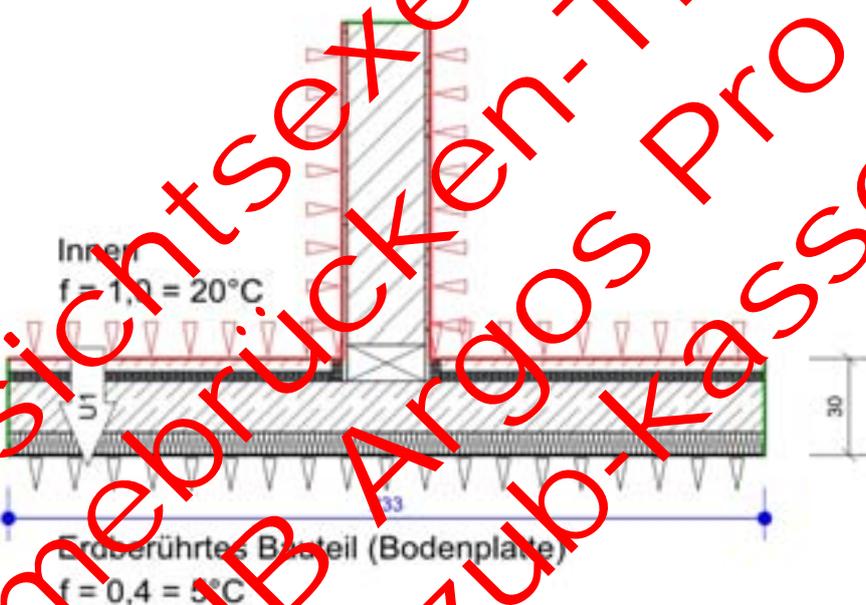


Bild 23 Modellierung einer Innenwand im beheizten Keller an Bodenplatte

Im Ergebnis sind beide Modellierungsansätze gleichwertig:

(Ergebnisse nach Bild 23)

1. Variante: ψ -Wert aus Wärmebrückenberechnung = 0,04 W/mK
EnEV-Nachweis: ψ -Wert x F_G = 0,040 W/mK x 0,6 = **0,024 W/mK**
2. Variante: ψ -Wert aus Wärmebrückenberechnung = 0,024 W/mK
EnEV-Nachweis: ψ -Wert x 1,0 = 0,024 W/mK x 1,0 = **0,024 W/mK**

4.2 U-Wert Ermittlung

Die Ermittlung der Wärmeverluste der Regelbauteile erfolgt über den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und dem Temperaturkorrekturfaktor zu Berücksichtigung der unterschiedlichen Anwendungsfälle.

Bei der Ermittlung der U-Werte sind die Temperaturkorrekturfaktor entsprechend des Anwendungsfalls zu wählen. Im Allgemeinen gilt gemäß DIN 4108 Bbl. 2:

Tabelle 3 - Temperaturkorrekturfaktoren F_x nach DIN 4108 Bbl. 2

Wärmestrom nach außen über Bauteil	Temperatur-Korrekturfaktor
Außenwand, Fenster	1
Dach (als Systemgrenze)	1
Oberste Geschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut)	0,8
Abseitenwand (Drempelwand)	0,8
Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	0,5
Unterer Gebäudeabschluss:	
- Kellerdecke/-wände zu unbeheiztem Keller	F _G bzw. 0,6
- Fußboden auf Erdreich	
- Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich	

Vereinfachend darf nach DIN 4108 Bbl.2 für F_G ein Wert von 0,6 eingesetzt werden. Im Rahmen einer EnEV-Berechnung ist der tatsächliche F_G -Wert der Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses gemäß Tabelle 3 der DIN V 4108-6 einzusetzen.

Exkurs: Der Anwendungsbereich der DIN EN 6946 schließt erdberührten Bauteile aus¹³. Die Legitimation für die Anwendung der Rechenmethodik auf erdberührte Bauteile findet sich in der DIN 4108-6, Anhang E.

Die „Pufferwirkung“ des Erdreiches wird vereinfacht über den Temperaturkorrekturfaktor F_G berücksichtigt. Dieser Faktor ist abhängig von der Art und der Dämmqualität des erdberührten Bauteils sowie der Kompaktheit der Bodenplatte.

Tabelle 4 - Temperatur-Korrekturfaktoren F_G für Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses

Zeile	Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses		B' [m]					
			< 5		5 bis 10		> 10	
			R_f bzw. R_w					
			≤ 1	> 1	≤ 1	> 1	≤ 1	> 1
	Flächen des beheizten Kellers:							
10	- Fußboden des beheizten Kellers	$F_G = F_{bf}$	0,30	0,45	0,25	0,40	0,20	0,35
11	- Wand des beheizten Kellers	$F_G = F_{bw}$	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60
12	Fußboden ^{c)} auf dem Erdreich ohne Randdämmung	$F_G = F_{bf}$	0,45	0,60	0,40	0,5	0,25	0,35
	Fußboden ^{c)} auf dem Erdreich mit Randdämmung ^{d)} :							
13	- 5 m breit, waagrecht	$F_G = F_{bf}$	0,30		0,25		0,20	
14	- 2 m tief, senkrecht	$F_G = F_{bf}$	0,25		0,20		0,15	
	Kellerdecke und Kellerinnenwand:							
15	- zum unbeheizten Keller mit Perimeterdämmung	F_G	0,55		0,50		0,45	
16	- zum unbeheizten Keller ohne Perimeterdämmung	F_G	0,70		0,65		0,55	
17	Aufgeständerter Fußboden	F_G			0,9			
18	Bodenplatte von niedrig beheizten Räumen ^{e)}	F_G	0,2	0,55	0,15	0,5	0,1	0,35

^{b)} R_f : Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte (betrifft Zeile 10, 12, 18) bzw. R_w : Wärmedurchlasswiderstand der Kellerwand (betrifft Zeile 11); ggf. flächengewichtete Mittelung von R_f und R_w (betrifft Zeile 10, 11)

^{c)} Bei fließendem Grundwasser erhöhen sich die Temperatur-Korrekturfaktoren um 15%

^{d)} Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Randdämmung $> 2 \text{ m}^2/\text{KW}$; Bodenplatte ungedämmt; siehe auch Bild 2 und 3 in DIN EN ISO 13370:1998-12 (Bild 26);

^{e)} Räume mit Innentemperaturen zwischen 12°C und 16°C ;

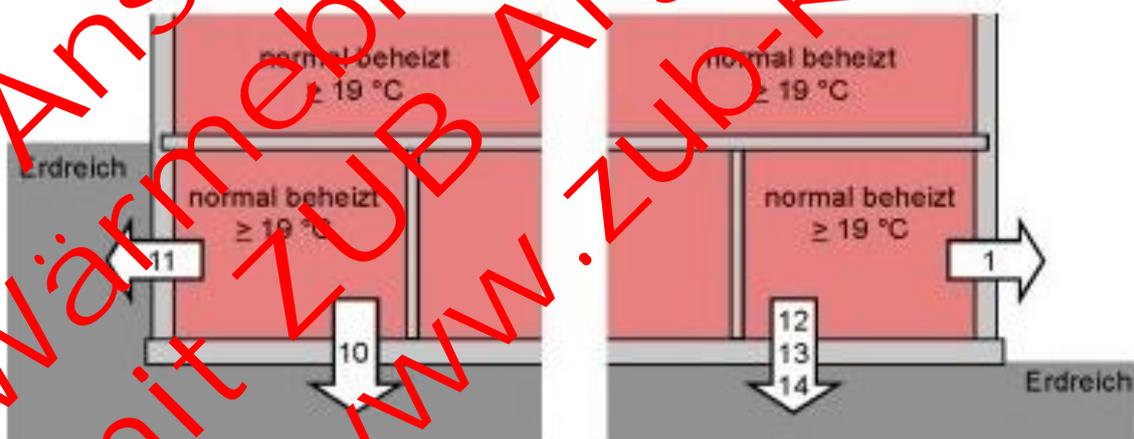


Bild 24 - Anwendungsfälle der Bauteile im beheizten Keller/-Erdgeschoss

Die Kompaktheit der Bodenplatte, d.h. das charakteristische Bodenplattenmaß B' , ergibt sich aus dem Quotienten der Bodengrundfläche A_G und dem (halben) Umfang der Bodenplatte P (Perimeter): $B' = A_G / (0,5 P)^{14}$

Exkurs: Der Umfang der Bodenplatte P ist der exponierte Umfang der Bodenplatte, d.h. die Gesamtlänge der Außenwand, die das beheizte Gebäude von der äußeren Umgebung oder von einem unbeheizten Raum außerhalb der gedämmten Gebäudehülle trennt.

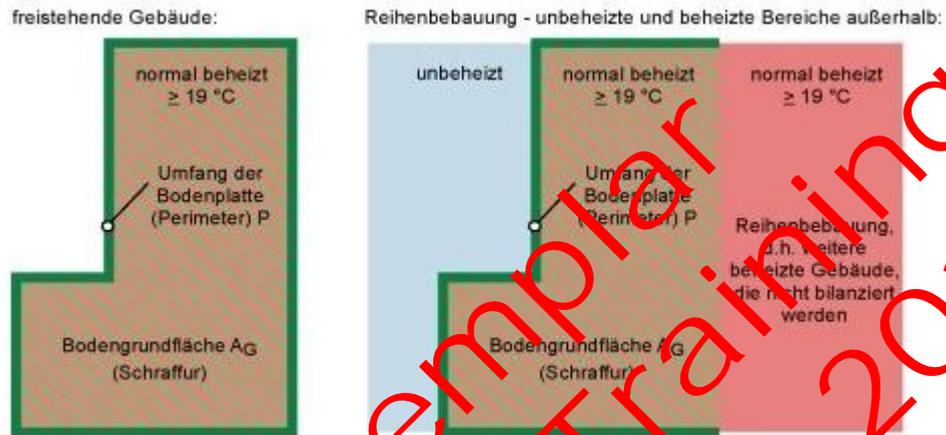


Bild 25 - Bestimmung der Bodengrundfläche und des Umfangs der Bodenplatte.

Bei nicht unterkellerten, normal beheizten Gebäuden (= Bodenplatte auf Erdreich) hat das Vorhandensein einer Randdämmung und deren Anordnung Einfluss auf den Temperaturkorrekturfaktor¹⁵.

- Gründungen aus Baustoffen geringer Dichte, deren Wärmeleitfähigkeit geringer ist als die des Erdreichs, werden als senkrechte Randdämmung behandelt. Eine senkrechte Randdämmung kann auch außerhalb oder raumseitig zur Gründungsmauer angeordnet sein.
- Eine waagerechte Randdämmung kann auch oberhalb der Bodenplatte oder außerhalb des Gebäudes angeordnet sein

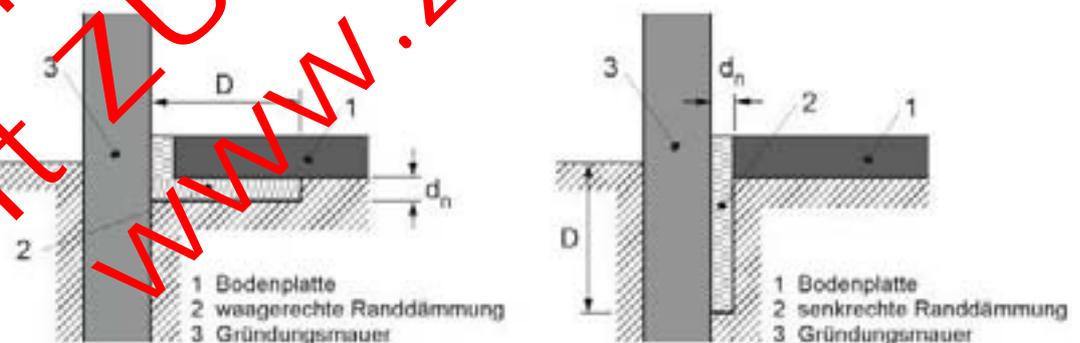
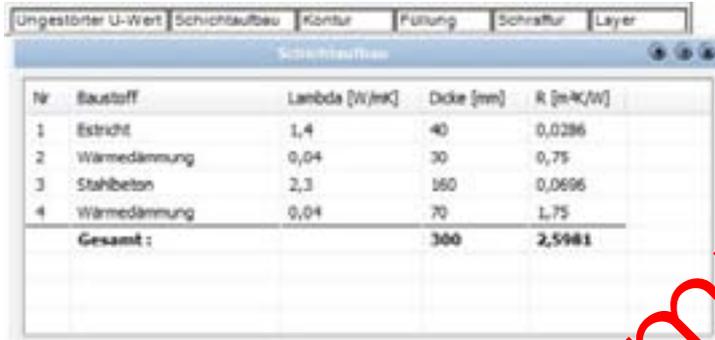


Bild 26 - Lage und Abmessungen der Randdämmung¹⁶

Aus dem Schichtaufbau der Konstruktion ergibt sich der Wärmedurchlasswiderstand R für mehrschichtige homogene Bauteile.

Bei inhomogenen Bauteilen (z.B. Gefachen) muss der U-Wert (entsprechend der EnEV-Bilanzierung) manuell überschrieben werden.



Nr	Baustoff	Lambda [W/mK]	Dicke [mm]	R [m ² K/W]	
1	Estrich	1,4	40	0,0286	
2	Wärmedämmung	0,04	30	0,75	
3	Stahlbeton	2,3	160	0,0696	
4	Wärmedämmung	0,04	70	1,75	
Gesamt:				300	2,5981

Bild 27 – Ermittlung des Wärmedurchlasswiderstands R für mehrschichtige homogene Bauteile

Zusammen mit den Wärmeübergangswiderständen der oberflächennahen Luftschichten (R_{si} und R_{se}) ergibt sich der Wärmedurchgangswiderstand R_T . Der Kehrwert aus R_T ergibt den Wärmedurchgangskoeffizienten U (U-Wert).

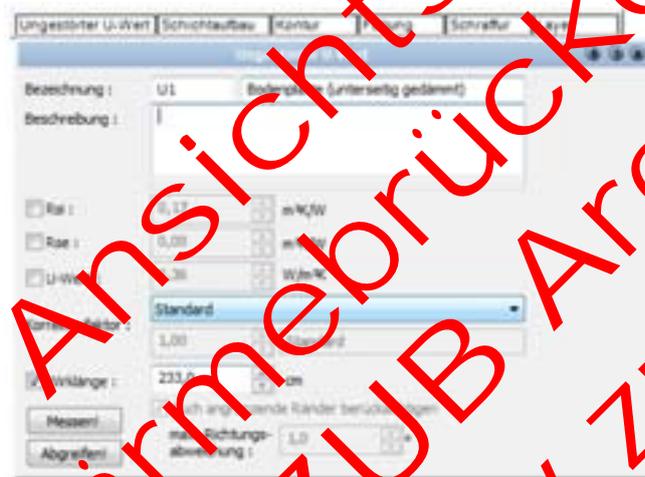


Bild 28 – Ermittlung des U-Wertes und Eingabe der Wirklänge sowie des F_x -Werts

4.3 Wärmeübergangswiderstände nach DIN 4108, Bbl.2

Für die Berechnung des Wärmestromes (psi-Wert) sind die Wärmeübergangswiderstände entsprechend der Randbedingungen der DIN 4108, Bbl. 2 anzusetzen.

Tabelle 5 – Wärmeübergangswiderstände für Wärmestromberechnung (psi-Wert) nach DIN 4108, Bbl.2

Wärmeübergangswiderstände	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]
Außenwand ¹	0,13	0,04
Bodenplatte auf Erdreich	0,17	0
Wand zum Erdreich	0,13	0 (0,04) ²
Kellerdecke zu unbeheiztem Keller	0,17	0,17
Kellerdecke zu beheiztem Keller	0,13	0,13
Tür/Fenster	0,13	0,04
oberste Geschossdecke (Dachraum beheizt)	0,13	0,13
Oberste Geschossdecke (Dachraum unbeheizt)	0,10	0,10
Dach (als Systemgrenze)	0,10	0,10

¹ Für Trennwand zwischen beheizten Räumen gilt auf beiden Seiten R_{si} = 0,13

² bei Erdreichanschüttung > 1000 mm sonst 0,04

4.4 Die Wirklänge – kurz und bündig

Die Wirklänge (oder auch relevante Länge) ist das anzusetzende Längenmaß des ungestörten Regelbauteils. Dieses Längenmaß wird von den Systemgrenzen des Bilanzierungsverfahrens bestimmt.

Im Rahmen von EnEV-Nachweisen sind die Außenmaße anzusetzen. Die EnEV 2009 regelt, dass die "wärmeübertragende Umfassungsfläche A eines Wohngebäudes [...] nach DIN EN ISO 13789:1999-10, Anhang B, Fall "Außenabmessung", zu ermitteln [...] ist. Die Wirklängen korrespondieren daher mit den Systemgrenzen der wärmeübertragenden Hüllfläche nach EnEV.

Diese Bezugsmaße finden sich auch in der DIN V 18599-100¹⁸:

Vertikales Bezugsmaß:

- Obere Gebäudeabschluss: Außenmaß bis zu Oberkante der obersten wärmetechnisch wirksamen Schicht (Bild 30)
- alle anderen Geschossebenen (einschließlich des unteren Gebäudeabschlusses!): Oberkante des Rohfußbodens bzw. der Rohdecke bis Oberkante Rohdecke (Bild 29)

Horizontales Bezugsmaß:

- von der Außenkante des Gebäudes bis zur gegenüberliegenden Außenkante des Gebäudes (Außenmaßbezug)
 - WDVS inklusive Putz (Bild 29)
 - bei Kerndämmung inklusive Fingerspalt und Vermauerschale (Bild 30)
 - bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden und Verkleidungen bis zur Hinterlüftungsebene in der Fassade

Ansichtsexemplar
Wärmebrücken-Training
mit ZUB Argos Pro 2012
www.zub-kassel.de

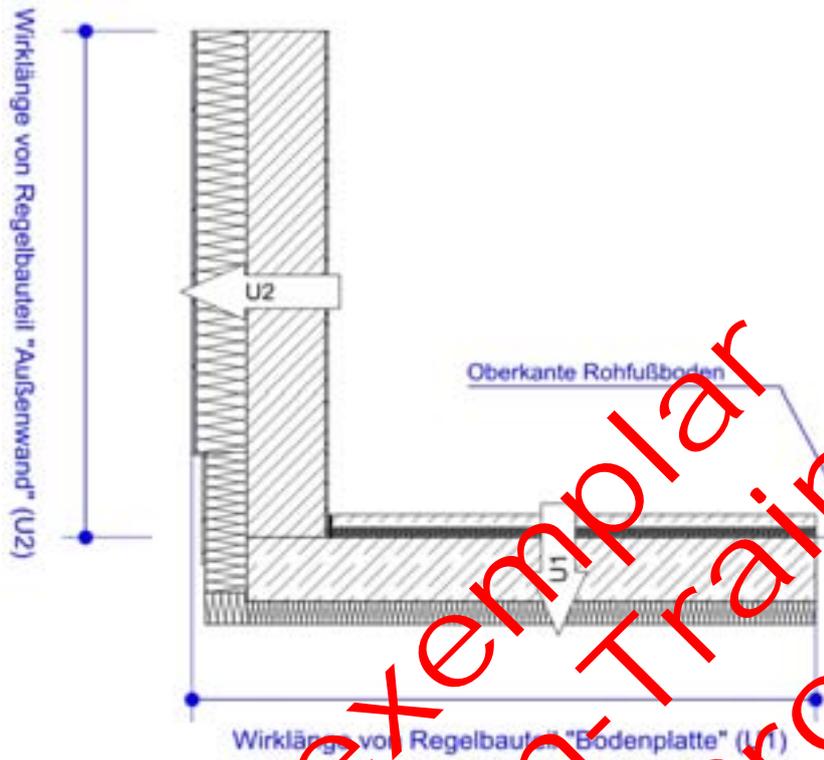


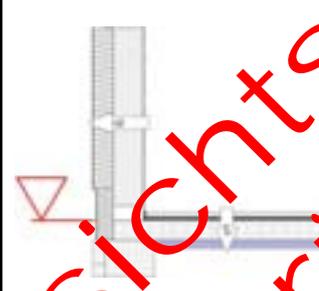
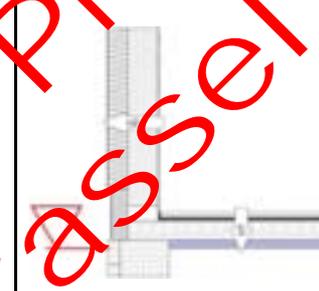
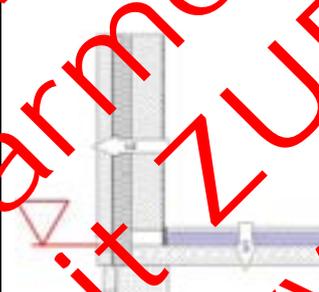
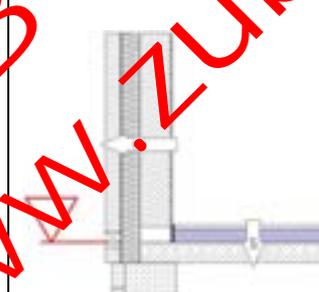
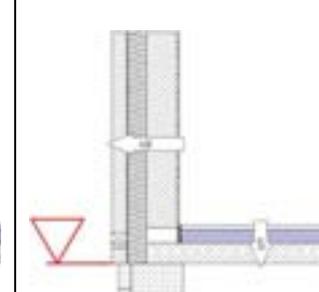
Bild 29 – Wirklängen im Detail „Bodenplatte auf Erdreich – wulstgedämmtes Mauerwerk“ nach DIN 4108 Bbl.2 (Bild15)



Bild 30 – Wirklänge im Detail „Oberste Geschosdecke – kerngedämmtes Mauerwerk“ nach DIN 4108, Bbl.2 (Bild 80)

Exkurs: Das vertikale Bezugsmaß des unteren Gebäudeabschluss ist nicht für alle Berechnungsverfahren identisch. So wird nach 4108-6 (im Allgemeinen, jedoch ohne normativen Verweis) die horizontale Systemgrenze bis zur Außenkante der Wärmedämmung gemessen. Bei Berechnungen nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) wird üblicherweise die Stockwerkshöhe bis zur Unterkante der Betondecke gemessen.

Abbildung 2 - Unterschiedliche Systemsgrenzen und deren Effekte auf den psi-Wert am Beispiel eines Bodenplattenanschlusses

	DIN V 18599-100	DIN V 4108-6	PHPP
Bodenplatte mit Dämmung unten	$L^{2D} = 1,039196 \text{ W/mK}$ $\Psi = 0,270 \text{ W/mK}$ 	$L^{2D} = 1,039196 \text{ W/mK}$ $\Psi = 0,219 \text{ W/mK}$ 	$L^{2D} = 1,039196 \text{ W/mK}$ $\Psi = 0,219 \text{ W/mK}$ 
Bodenplatte mit Dämmung oben	$L^{2D} = 0,911668 \text{ W/mK}$ $\Psi = 0,100 \text{ W/mK}$ 	$L^{2D} = 0,911668 \text{ W/mK}$ $\Psi = 0,100 \text{ W/mK}$ 	$L^{2D} = 0,911668 \text{ W/mK}$ $\Psi = 0,060 \text{ W/mK}$ 

Aus der gleichen Modellgeometrie und Randbedingungen ergeben sich je nach Systemgrenzen der Bilanzierungsverfahren unterschiedliche psi-Werte.

Aus der Modellierung der horizontalen Systemgrenzen nach EnEV (= DIN V 18599-100) ergeben sich hier die höchsten psi-Werte.

Der Wärmestrom aus der numerischen Wärmebrückenberechnung L^{2D} ist in allen drei Fällen identisch. Die unterschiedlichen Wirklängen führen jedoch zu unterschiedlichen Beiträgen aus der Berechnung des ungestörten Regelbauteils L^0 und damit zu unterschiedlichen ψ -Werten.

V. Wärmestromberechnung nach DIN 10211 (ψ Wert Berechnung)

Für den allgemeinen Fall (außerhalb des Gleichwertigkeitsnachweises oder explizite Bezugnahme auf die Randbedingungen der DIN V 4108 Bbl.2) ist die DIN EN ISO 10211 für Wärmestromberechnungen maßgeblich.

Von diesen Vorgaben darf zur Berücksichtigung von örtlichen Verhältnissen oder besonderen Materialeigenschaften abgewichen werden¹⁹.

Die modellhafte Abbildung der Konstruktionen erfolgt nach Abschnitt 3.

5.1 Wärmeübergangswiderstände

Für die Berechnung des Wärmestromes (ψ -Wert) sind die Wärmeübergangswiderstände entsprechend der DIN EN 6946 anzusetzen.

Tabelle 6 – Wärmeübergangswiderstände nach DIN EN ISO 6946

Wärmeübergangswiderstände	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]
bei aufwärts gerichteten Wärmestrom	0,10	
bei horizontal gerichteten Wärmestrom	0,13	0,04
bei abwärts gerichteten Wärmestrom	0,17	

5.2 Temperaturrandbedingungen

Die anzusetzenden Temperaturen im Modell werden in der DIN EN ISO 10211 allgemein gehalten. Auf die Innen- und Außenoberflächen sind entsprechend der tatsächlichen Verhältnisse die zutreffenden Lufttemperaturen anzusetzen²⁰. An den

Rändern des Erdreichsmodells unter Bodenniveau sind bei erdberührten Bauteilen adiabate Randbedingungen aufzubringen.

Die Temperaturen in unbeheizten Räumen sind nach DIN EN ISO 13789 zu ermitteln.

Exkurs: Nach DIN EN ISO 13788 muss die Innentemperatur aus einer energetischen Bilanzierung abgeleitet werden und im Bestand messtechnisch ermittelt werden. Im Monatsbilanzverfahren der FRIEV ist daher für jeden Monat mit der entsprechenden Bilanz Innentemperatur ein psi-Wert zu ermitteln. Das Vorgehen zur Ableitung eines Jahreswert aus den monatlichen psi-Werten ist nicht beschrieben.

In der Praxis ist die Annahme einer mittleren Temperatur von 10°C entsprechend der Annahmen der DIN 4108 Bbl. 2 eine vertretbare Vereinfachung. Die DIN EN ISO 10211 ist diesem Punkt weniger pragmatisch: „Ist die Temperatur in einem benachbarten, unbeheizten Raum nicht bekannt und kann sie nicht nach ISO 13789 berechnet werden, weil die notwendigen Angaben nicht zur Verfügung stehen, so können die Wärmeströme und Innenoberflächentemperaturen nicht berechnet werden.“

5.3 Erdberührten Bauteilen nach DIN 13370

In der modellhaften Darstellung von Konstruktionen ist bei erdreichberührten Bauteilen das Erdreich zu modellieren. An den Rändern der Schnittebene des Erdreichs unter Bodenniveau adiabate Randbedingungen aufzubringen.

Das Maß b bezieht sich auf die Leckenbreite. Bei nicht rechteckigen Gebäuden ist ersatzweise das charakteristische Bodenplattenmaß B' anzusetzen.

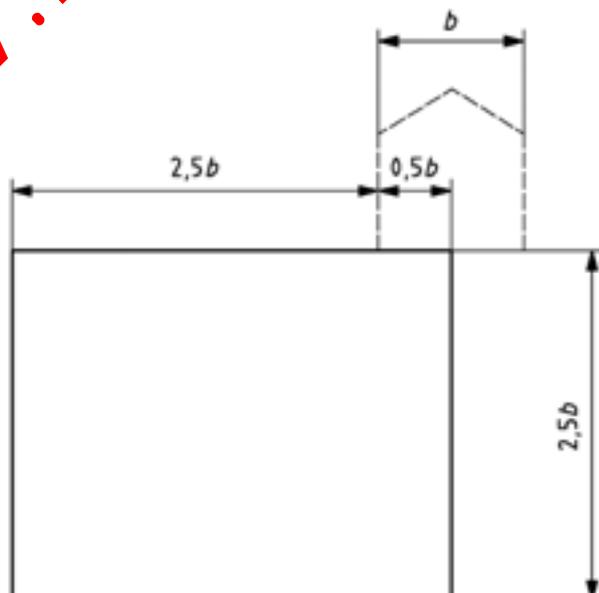


Bild 31 Abmessungen des zu berücksichtigenden Erdreichs zur Wärmestromberechnung nach DIN EN ISO 10211

Der U-Wert ist als effektiver Wärmedurchgangskoeffizient U_0 nach DIN EN ISO 13370 zu ermitteln. Dieser U-Wert berücksichtigt die Pufferwirkung des Erdreichs direkt im U-Wert. (Die Verwendung von F_x -Werten ist daher nicht zulässig!)

Der Wärmestrom ergibt sich als Produkt aus der Fläche des wärmeabführenden Bauteils und des entsprechenden effektiven Wärmedurchgangskoeffizient U_0 . Sie finden diesen Wärmestrom als stationären thermischen Leitwert L_S z.B. als Ergebnis ihrer Bilanzierung nach DIN V 18599 (für Wohn- oder Nichtwohngebäude) in ZUB Helena 2012. Darüber hinaus können Sie diesen Wert auch über kostenlose Excel-Tools ermitteln²¹.

Exkurs: Der stationäre thermische Leitwert L_S bezieht sich auf feste, d.h. stationäre Klimarandbedingungen ab

Aus dem stationären Leitwert L_S kann der effektive Wärmedurchgangskoeffizient U_0 aus der Fläche der erberührten Bauteile errechnet werden: $L_S = U_0 \times A_{\text{Boden}}$

$$U_{13370} = L_S / A_{\text{Boden}} = 19,43 \text{ [W/K]} / 125,28 \text{ [m}^2\text{]} = 0,154 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Zum Vergleich der U-Wert nach DIN EN 6946:

$$U_{6946} = (R_{si} + R + R_{se})^{-1} = (0,17 + 4,73 + 0,06) \text{ [m}^2\text{K/W]}^{-1} = 0,204 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

U-Wert [W/m²K] 0,204		R_T-Wert [m²K/W] 4,904	
Schichtauswahl			
Innen (F _{si} = 0,17 m²K/W)			
Position	Profil	Dicke [mm]	Lambda [W/mK] ad [m]
1	DIN EN 4108 1.4.2 Anhydrit-Estrich	50	1,2 0,75
2	Siroopor Trittschalldämmplatte 040	2	0,04 0,04
3	DIN EN 12548 Bitumen-Membran/Bahn	4	0,23 200
4	DIN EN 12524 Extrud. Rohdichte 200	180	1,65 12,6
5	EN V 4108 1.3 Extrudierter Polystyrolschäum NW 0,025 Kategorie I	140	0,031 35
gesamt		376	
Außen (F _{se} = 0,06 m²K/W)			

Bild 32 - Schichtenaufbau einer Bodenplatte mit Perimeterdämmung

Der effektive U-Wert nach DIN EN ISO 13370 liegt ca. 25 % unter dem Wert nach DIN EN 6946.

Der harmonischen thermischen Leitwert L_{pe} hingegen berücksichtigt die monatlichen Außentemperaturen und damit verbunden die

Wärmespeicherfähigkeit und die Phasenverschiebung bei der Wärmeübertragung über das Erdreich.

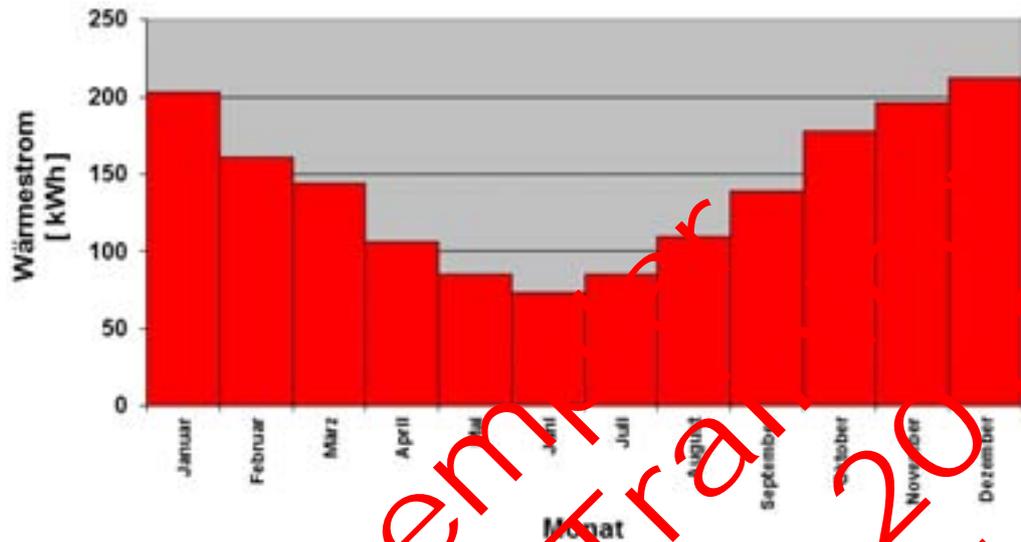
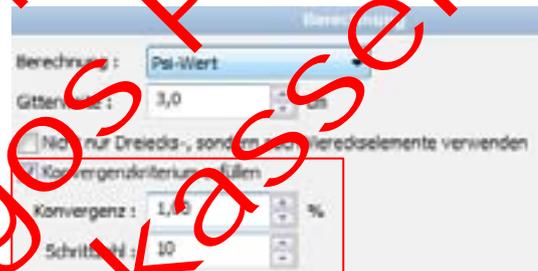


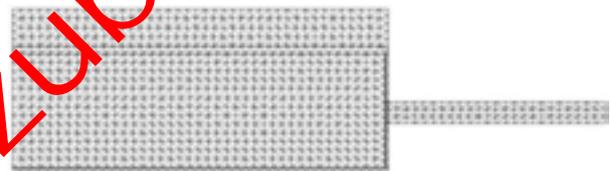
Bild 33 – Wärmeübertrag (L_{pe}) über das Erdreich mit Innentemperatur von 19°C nach EnE

5.4 Das Konvergenzkriterium

Das numerische Berechnungsverfahren unterteilt das Modell in Dreiecks- und Viereckszellen mit einer beliebigen Gitterweite („Grad der Aufteilung“). Die Berechnung erfolgt immer in den Knotenpunkten und kann für beliebige Punkte durch Interpolation abgeleitet werden.



Die „Genauigkeit“ der Berechnung wird bestimmt durch das Konvergenzkriterium.



Die Konvergenz gibt die „Ungenauigkeit“ des Ergebnisses an im Verhältnis zu einer Berechnung mit doppelter Anzahl von Gitterelementen. Das FEM-Netz (Gitterelemente) wird verdichtet bis zum Einhalten des Konvergenzkriteriums oder bis zur maximalen Anzahl von Verdichtungsschritten.

Ergebnisse				
Psi-Wert				
Te:	19,0			
Ti:	20,0			
$\Delta T = T_i - T_e$:	20,0 - 19,0 = 1,0			
Q:	101,996332			
$L_{2d} = Q/\Delta T$:	4,055853 = 101,996332/25,0			
$\Psi = L_{2d}$:	-0,323881 = 4,055853 - (4,02882*0,6*1,7+0,271154*1,0*1,0)			
EntfV:				
Konvergenz:	0,5062			

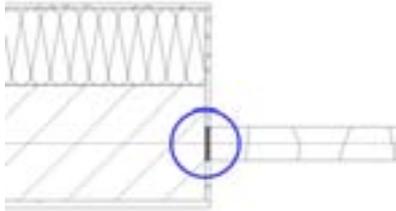
Schritt	rel. Gitterweite [%]	Elemente	Wärmestrom [kJ/h]	Konvergenz [%]
1	100,0	138	102,183174	
2	66,5	288	101,665886	0,5062

Das Konvergenzkriterium liegt normativ bei < 1 %²² oder bei 10 Schritten. Bei der Ermittlung des psi-Werts wird das Gitter automatisch bis zum Konvergenzkriterium verdichtet.

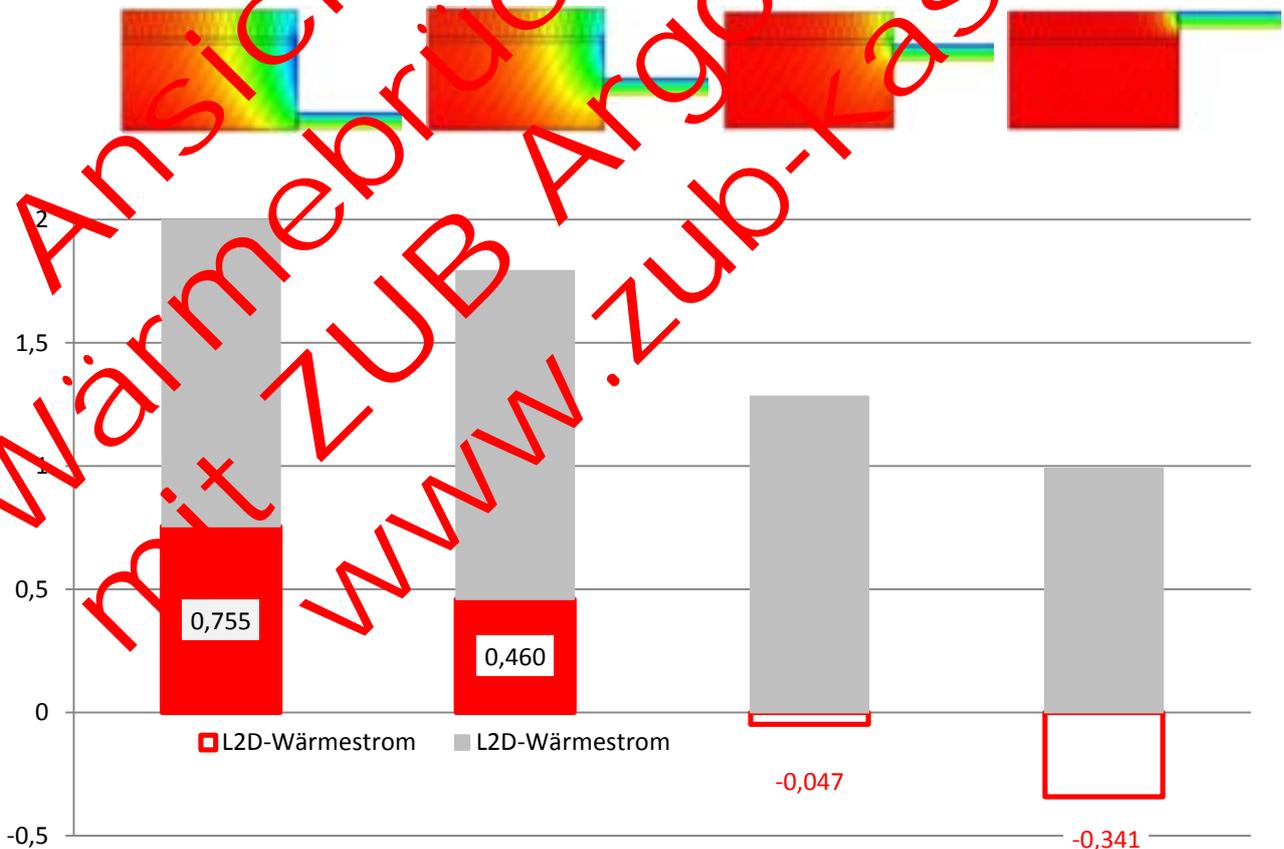
VI. Wärmestromberechnung – Diskussion, Sonderfälle und Definitionslücken

Fenster weisen sehr komplexe Geometrie auf, deren Nachbildung im Rahmen von baupraktischen Wärmebrückennachweisen in keinem Verhältnis zum Nutzen stehen. Die pragmatische Lösung ist die Abbildung von Fenstern als Materialblock mit einer Dicke von 70 mm und der Wärmeleitfähigkeit λ von 0,13 W/mK.

Die gedämmte Anschlussfuge zum Baukörper wird in diesem vereinfachten Modell übernommen. Trotz dieser Vereinfachungen sind Schichten mit hoher Wärmeleitfähigkeit (z.B. Stahlbleche) abzubilden, die Teile der Konstruktion durchdringen.



Die wärmebrückentechnisch ideale Einbausituation für Fenster liegt innerhalb der Dämmebene. Die Anordnung innerhalb der Mauerwerksleibung erzeugt einen starken Anstieg der Wärmeverluste.



Neben der Abbildung von Fenstern als Materialblock ($d=70\text{ mm}$ und $\lambda=0,13\text{ W/mK}$ $\Rightarrow U_W = 1,41\text{ W/m}^2\text{K}$) kann auch die Rahmendicke und der tatsächliche U-Wert des Fensters angesetzt werden. **Es darf jedoch nicht der U-Wert überschrieben werden, sondern es wird die Wärmeleitfähigkeit λ des Materialblocks (=Fenster) angepasst!**

Der U_W -Wert des Fensters als System aus Rahmen, Glas und Verbund ist eine größenabhängige Kennzahl. Die Berechnung erfolgt nach DIN 1077-1. Die Angabe der energetischen Qualität von Fenster beruht in Projekten i.d.R. auf dem Normfenster²³ (1,23 m x 1,48 m) und darf im EnEV-Nachweis für alle baugleichen Fenster beliebiger Größe angesetzt werden.

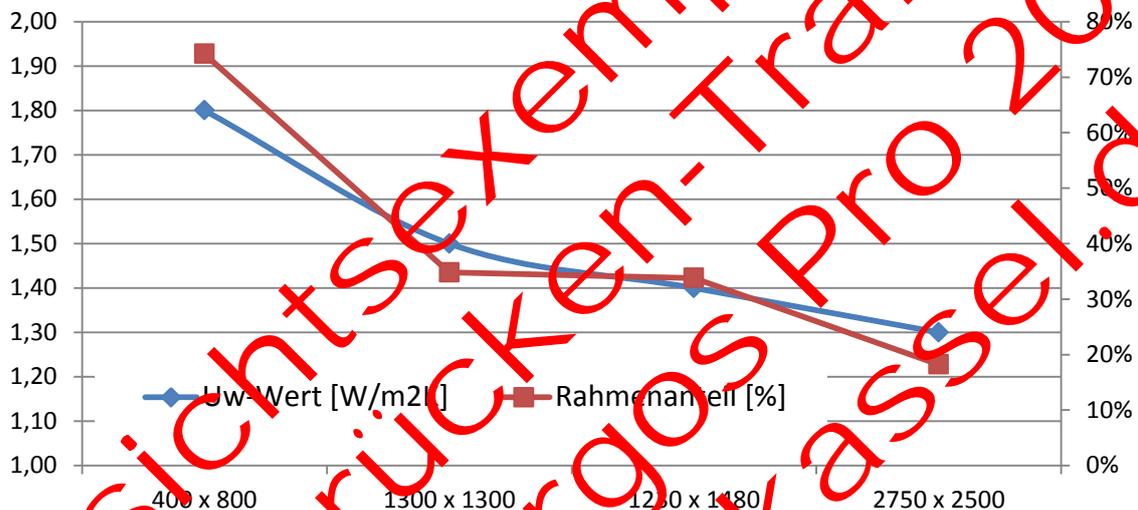
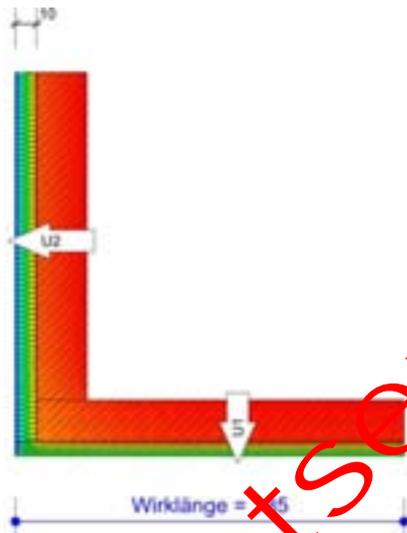


Abbildung 3 – U_W -Wert als größenabhängige Kennzahl. U_W -Wert bei unterschiedlichen Fenstergrößen bei gleicher Bauart

Es können sich auch **negative psi-Werte** ergeben. Dieser Effekt trifft auf, wenn bei der außenmaßbezogenen Wärmebrückenberechnung der Wärmeverlust beim ungestoßten Regelbauteil „überschätzt“ wird; $L^0 > L^{2D}$ = negativer ψ -Wert

Dieser Effekt zeigt sich vor allen an Eck-Konstruktionen. Mit steigender Außenwanddämmstärke nimmt die (außenmaßbezogene) Wirklänge des Regelbauteils „Bodenplatte“ zu und verschiebt den psi-Wert in den negativen Bereich.

Außenwanddämmung $d = 10 \text{ cm}$
 $\Psi = 0,025 \text{ W/mK}$



Außenwanddämmung $d = 15 \text{ cm}$
 $\Psi = -0,005 \text{ W/mK}$



Außenwanddämmung $d = 20 \text{ cm}$
 $\Psi = -0,027 \text{ W/mK}$



Außenwanddämmung $d = 25 \text{ cm}$
 $\Psi = -0,046 \text{ W/mK}$

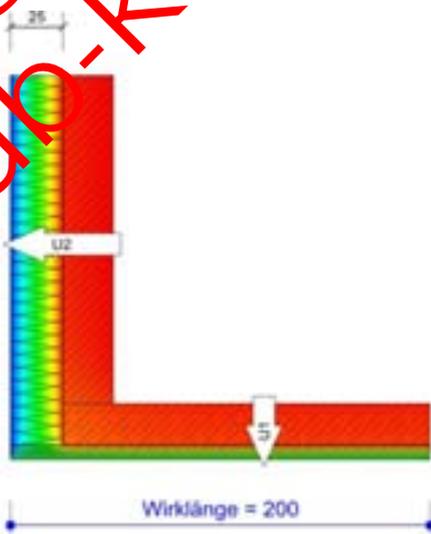


Bild 34 - Entwicklung des psi-Werts bei steigender Dämmstärke der Außenwand

Der psi-Wert ist **kein Qualitätsmerkmal eines Bauteils!** Der psi-Wert beschreibt lediglich die Differenz zwischen dem Wärmeverlust der Wärmebrücke und dem ungestörten Regelbauteil. Je kleiner der psi-Wert, desto geringer der Wärmebrückeneffekt und damit der zusätzlich Verlust. Ein geringer psi-Wert sagt daher lediglich aus, ob der Wärmeverluste im Anschlussdetail kleiner (oder größer) ist als im Regelquerschnitt mit gleicher Länge. Die energetische Qualität der Gebäudehülle und der Ausführungsdetails spiegelt sich daher im psi-Wert nicht wieder.

Beispiele zur Verdeutlichung:

- a.) Bei gut gedämmten Regelquerschnitten und „schlechtem“ Anschlussdetails ergibt sich ein hoher psi-Wert, aber ein niedriger Wärmeverlust.

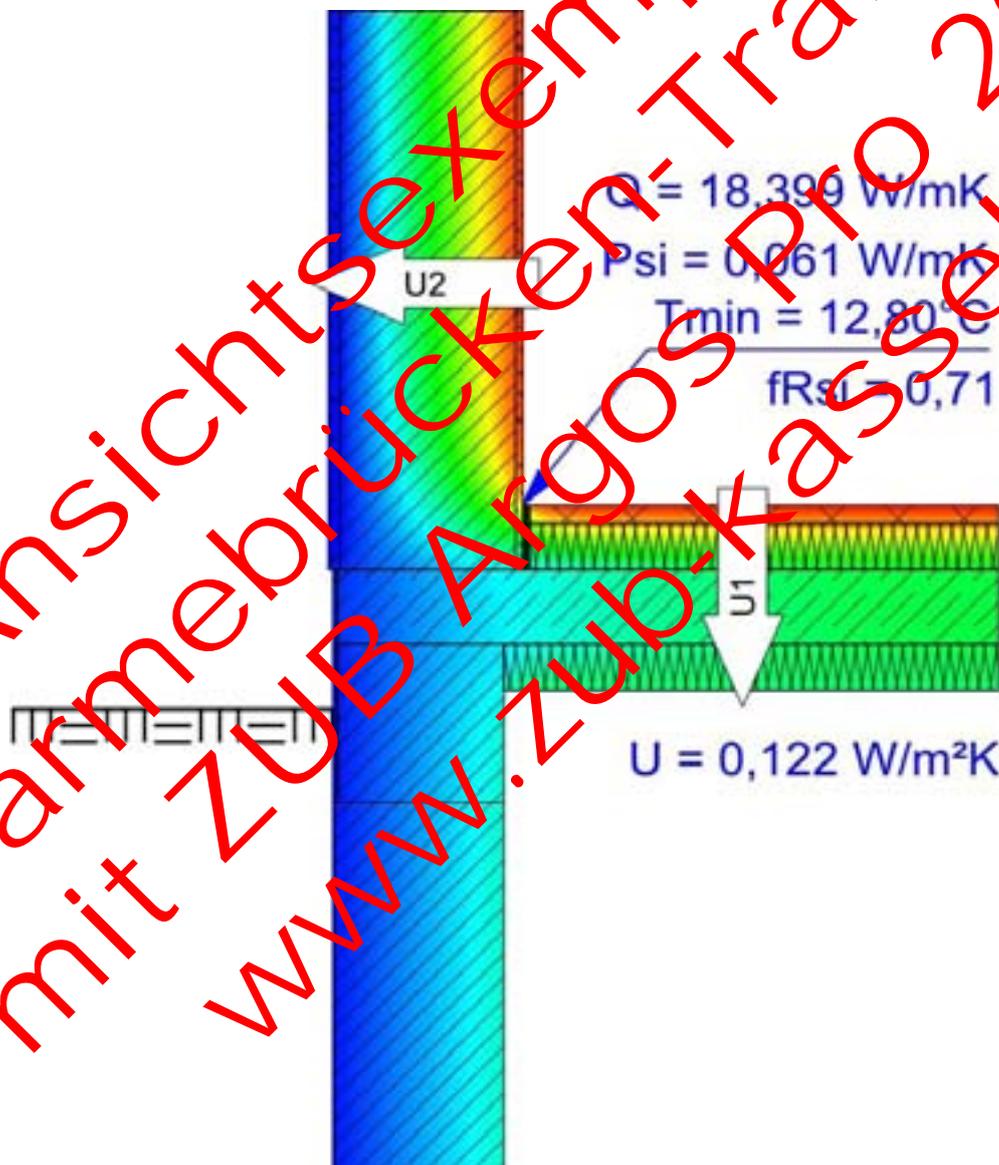


Bild 35 - Sockelbereich bei unbeheiztem Keller: gedämmtes Regelbauteil "Kellerdecke" mit "schlechtem" Anschlussdetail führt zu deutlichen zusätzlichen Wärmeverlusten an der Wärmebrücke (hoher psi-Wert)

- b.) Der psi-Wert ist bei einem „schlecht“ gedämmten Regelquerschnitt in Kombination mit „schlechtem“ Anschlussdetail rechnerisch niedrig. Der maßgebliche Wärmeverlust wird über das ungestörte Regelbauteil abgeführt. Der Wärmeverlust über die Wärmebrücke ist in diesem Fall von untergeordneter Bedeutung.

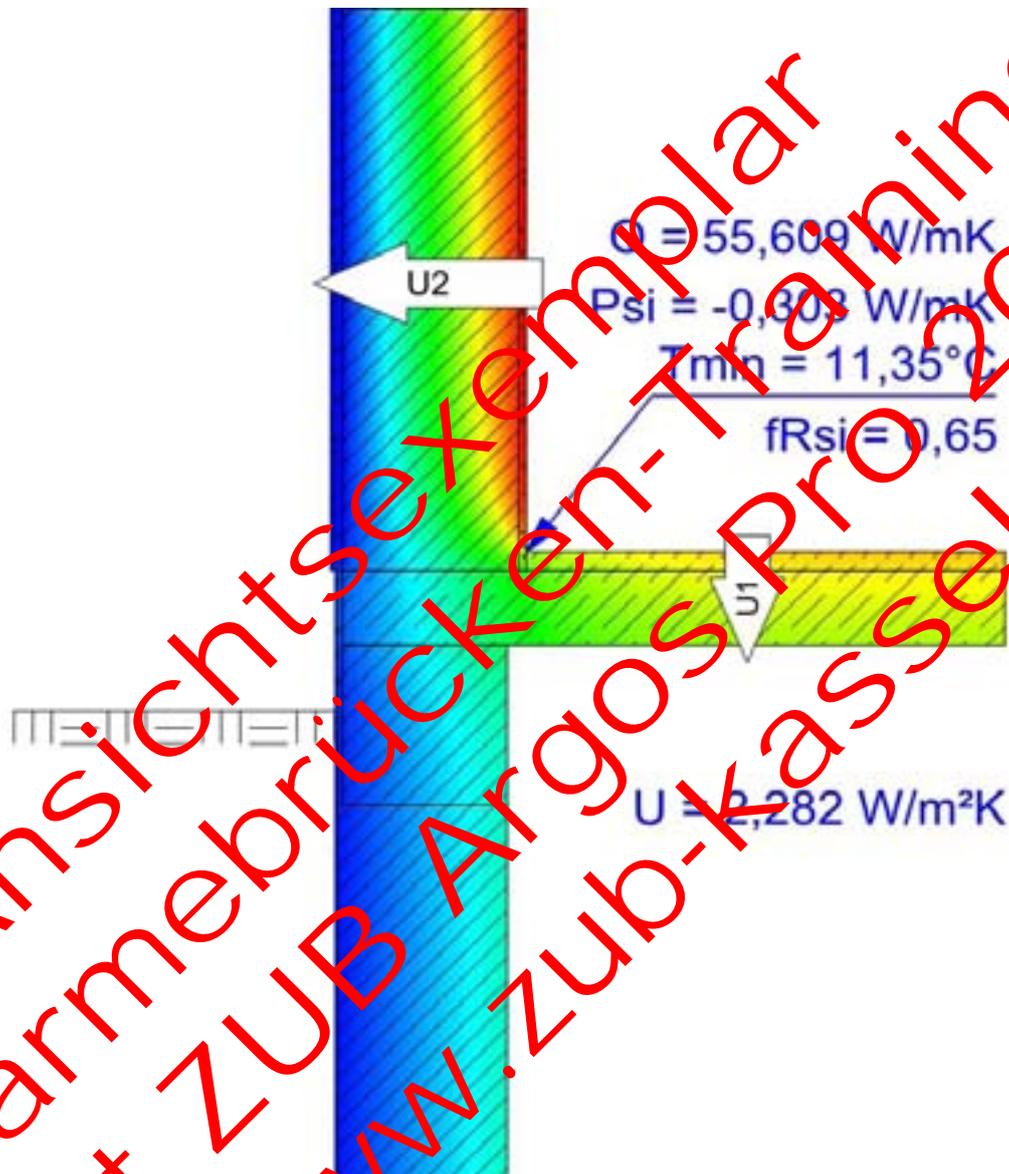


Bild 36 - Sockelbereich bei unbeheiztem Keller: bei ungedämmten Regelbauteil "Kellerdecke" ist der zusätzlichen Wärmeverlust an der Wärmebrücke im Vergleich zum Verlust über das Regelbauteil von untergeordnet Bedeutung (niedriger psi-Wert)

Exkurs: Eine Anschlusskonstruktion mit geringen Wärmeverlusten muss zusätzlich auf Auswirkungen auf die raumseitige Oberflächentemperatur untersucht werden. Die Optimierung des lokalen Wärmeabflusses verändert Temperaturen auf der Bauteiloberfläche.

Am Anschlussdetail aus Bild 35 wurde ein Dämmkeil ($\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$) eingefügt. Die Anordnung auf der Unterseite entlang der Kelleraußenwand reduziert die raumseitige Oberflächentemperatur deutlich. Die raumseitige Anordnung an der Außenwand verringert den abfließenden Wärmestrom und der psi-Wert wechselt in den negativen Bereich. Die niedrigste raumseitige Oberflächentemperatur stellt sich nun am Übergang des Dämmkeils zur Außenwand ein und liegt deutlich über dem Ausgangsfall (Bild 35).

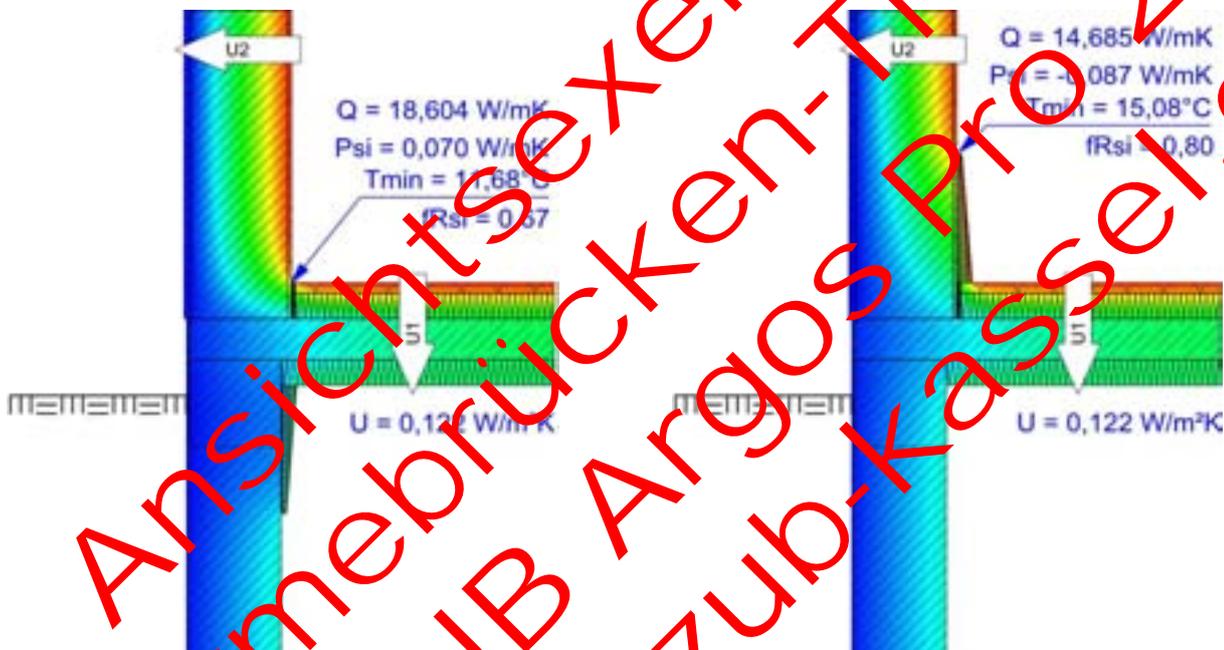


Bild 37 - Sockelbereich bei unbeheiztem Keller: zusätzlicher Dämmkeil auf Unterseite entlang der Kelleraußenwand

Bild 38 - Sockelbereich bei unbeheiztem Keller: zusätzlicher Dämmkeil entlang der Außenwand

VII. Ψ - und f-Wert Berechnung – der feine Unterschied

Sowohl bei der Wärmestromberechnung (ψ -Wert) als auch bei der Ermittlung des f-Wertes wird an der Bauteiloberfläche die Temperatur ermittelt. Die Randbedingungen der Berechnung sind jedoch für eine ψ -Wert Berechnung und der Ermittlung des f-Wertes unterschiedlich.

Das bedeutet für Sie in der Praxis: Sie müssen beiden Nachweisen (ψ - und f-Wert) die gleiche Aufmerksamkeit und Sorgfalt bei der Modellierung widmen. Ihr Berechnungssoftware ZUB Argos 2012 unterstützt Sie dabei. Die von Ihnen angesetzten Randbedingungen werden automatisch je nach Berechnungsziel an die normativen Vorgaben angepasst.

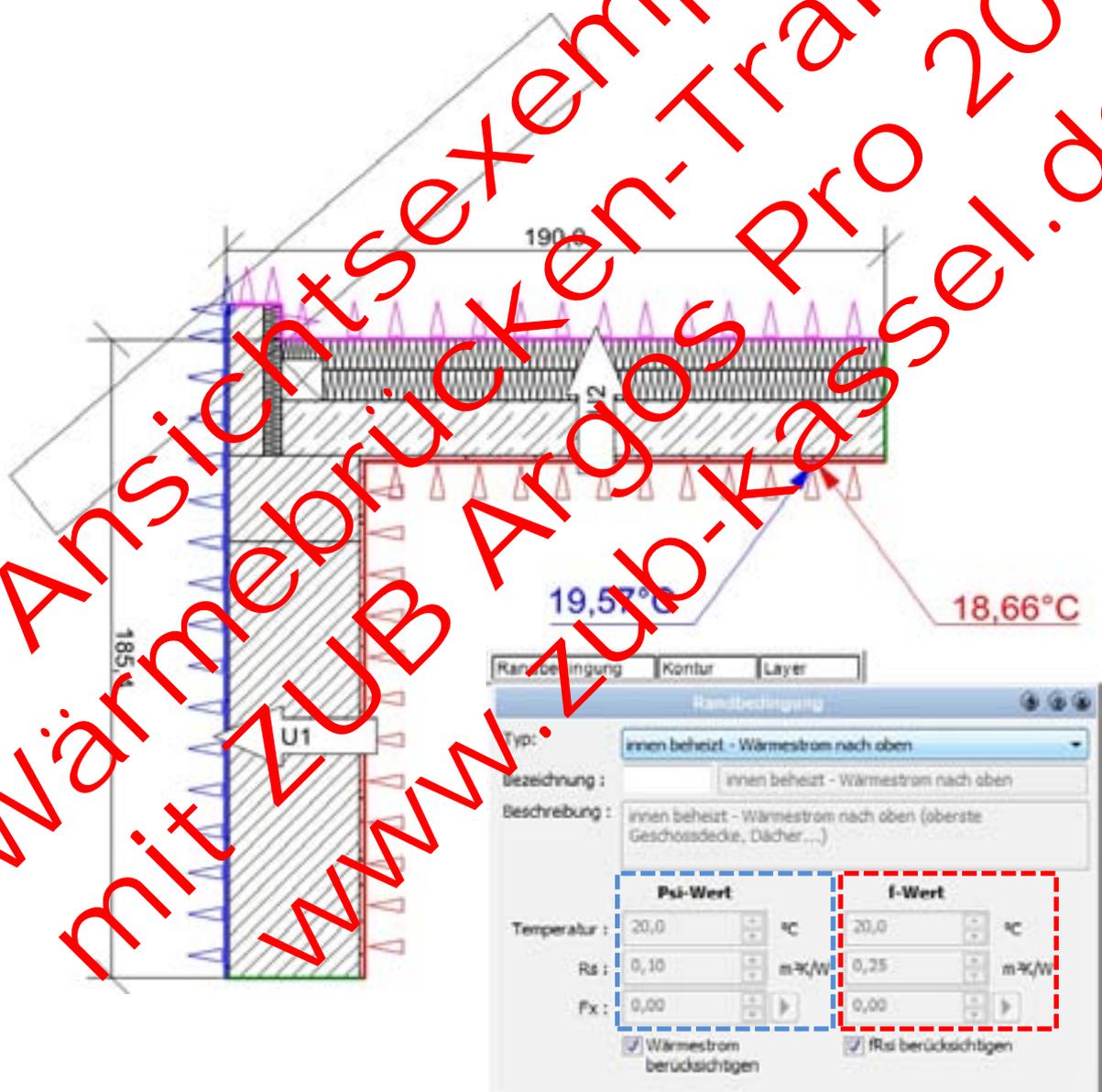


Bild 39 - Automatische Anpassung der Randbedingungen je nach Zielwert (ψ - oder f-Wert)

Bei erdberührten Bauteilen unterscheidet sich zusätzlich auch die Modellgeometrie bei der Ermittlung des f-Wertes im Vergleich zur Wärmestromberechnung. Bei der f-Wert Ermittlung ist auch nach DIN 4108 Bbl. 2 ein „kleines Erdreichmodell“ zu bilden. Die Abmessungen entsprechen den Vorgaben der DIN EN ISO 10211 bei ausschließlicher Berechnung der Oberflächentemperatur²⁴.

VIII. Berechnung der Oberflächentemperatur (f-Wert)

Der f_{Rsi} -Wert ist eine dimensionslose Kennzahl zur Abschätzung einer möglichen Gefahr durch Schimmelpilzbildung. Diese Kennzahl zur Gewährleistung des hygienisch erforderlichen Mindestwärmeschutzes erfolgt unter den Normrandbedingungen und Vorgaben der DIN 4108 Bbl. 2. Diese Normrandbedingungen beschreiben ein typisches Wohn- oder wohnähnliches Raumklima:

Raumtemperatur = 20°C, Außentemperatur = -5°C und 50% relative Luftfeuchte

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

mit: θ_{si} [°C] raumseitige Oberflächentemperatur
 θ_e [°C] Außenlufttemperatur
 θ_i [°C] Innentemperatur

Zur Vermeidung von Schimmelbildung ist gemäß 4108-2 die Bedingung $f_{Rsi} \geq 0,7$ an jedem Punkt auf der Innenseite einzuhalten. Schimmelpilzbildung ist nicht an Tauwasserausfall gebunden, sondern kann schon bei einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80% (ρ_{zh}/ρ)²⁵ in einem Zeitraum von 4-5 Tagen auftreten.

Das 80%-Kriterium gilt für die Beurteilung des Schimmelrisikos. Für andere Fragestellung gelten andere kritische Höchstwerte für die relative Luftfeuchte an der Oberfläche, z.B. ein Wert von 60% zur Vermeidung von Korrosion²⁶.

Beim Temperaturfaktor f_{Rsi} handelt es sich letztlich um einen Vergleich von Temperaturdifferenzen:

$$f_{Rsi} = \frac{\text{min. raumseitige Oberflächentemperatur} - \text{Außentemperatur}}{\text{Innentemperatur} - \text{Außentemperatur}} \geq 0,70$$

Ein f_{Rsi} -Wert von 0,7 entspricht bei Normbedingungen einer Temperatur von 12,5°C.

$$\theta_{si} = f \times (\theta_i - \theta_e) + \theta_e = 0,7 \times (20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) + (-5^\circ\text{C}) = 12,5^\circ\text{C} \quad [1]$$

mit: θ_{si} raumseitige Oberflächentemperatur
 θ_e Außenlufttemperatur
 θ_i Innentemperatur

Für abweichende Nutzungsrandbedingungen kann die kritische Oberflächentemperatur und damit der einzuhaltende f_{Rsi} berechnet werden.

So ergibt sich die kritische Oberflächentemperatur von 15,4°C bei einer (dauerhaften) Luftfeuchte von 60% und einem 80%-Kriterium zur Schimmelbildung.

$$\begin{aligned} \theta_{si} &= (1,25 \times \Phi / 100)^{0,1247} \times (109,8 + \theta_i) - 109,8 \\ &= (1,25 \times 60 / 100)^{0,1247} \times (109,8 + 20) - 109,8 = 15,4^\circ\text{C} \end{aligned}$$

mit: θ_{si} raumseitige Oberflächentemperatur
 Φ relative Luftfeuchte
 1,25 80%-Kriterium zur Schimmelpilzbildung (100%/80%)

Der kritische f_{Rsi} -Wert liegt bei dieser Luftfeuchte von 60% und einer Innenraumtemperatur von 20°C bei 0,78.

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) = (15,4^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) / (20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) = 0,78$$

mit: θ_{si} [°] raumseitige Oberflächentemperatur
 θ_e [°] Außenlufttemperatur
 θ_i [°] Innentemperatur

Bei bekannter Oberflächentemperatur (bzw. dem f-Wert nach [1]) kann die kritische Luftfeuchte ermittelt werden. Bei einer Oberflächentemperatur von 10°C bei Normrandbedingungen ist eine (dauerhafte) Luftfeuchte von 42% bereits kritisch.

$$\Phi = 80 \times ((109,8 + \theta_{si}) / (109,8 + \theta_e))^{8,02} = 80 \times ((109,8 + 10) / (109,8 + 20))^{8,02} = 42\%$$

mit: θ_{si} raumseitige Oberflächentemperatur
 θ_i Innentemperatur
 80 80%-Kriterium zur Schimmelpilzbildung

8.1 Erdberührte Bauteile

Für die Berechnung der Oberflächentemperatur ist bei erdberührten Bauteilen ein Erdreichkörper anzusetzen. Nach DIN 4108 Bbl. 2 ist dieser Erdreichkörper entsprechend der Angaben der bildlichen Darstellungen der Tabelle 7 zu modellieren. Es ist jedoch auch zulässig, die Festlegungen zur Anordnung der Schnittebenen im Untergrund nach DIN ISO 10211 zu verwenden.

Folgende Abmessungen sind für das zu modellierende Erdreich anzusetzen²⁾:

Horizontaler Abstand von der Wärmebrücke im/außerhalb des Gebäudes:

- mindestens das Dreifache der Bauteildicke oder
- 1 m Mindestabstand

Vertikaler Abstand zur horizontalen Ebene der Wärmebrücke

- mindestens 1 m unterhalb der horizontalen Ebene der Wärmebrücke und
- mindestens 3 m Abstand (von Oberkante bis Unterkante des Erdreichmodells)

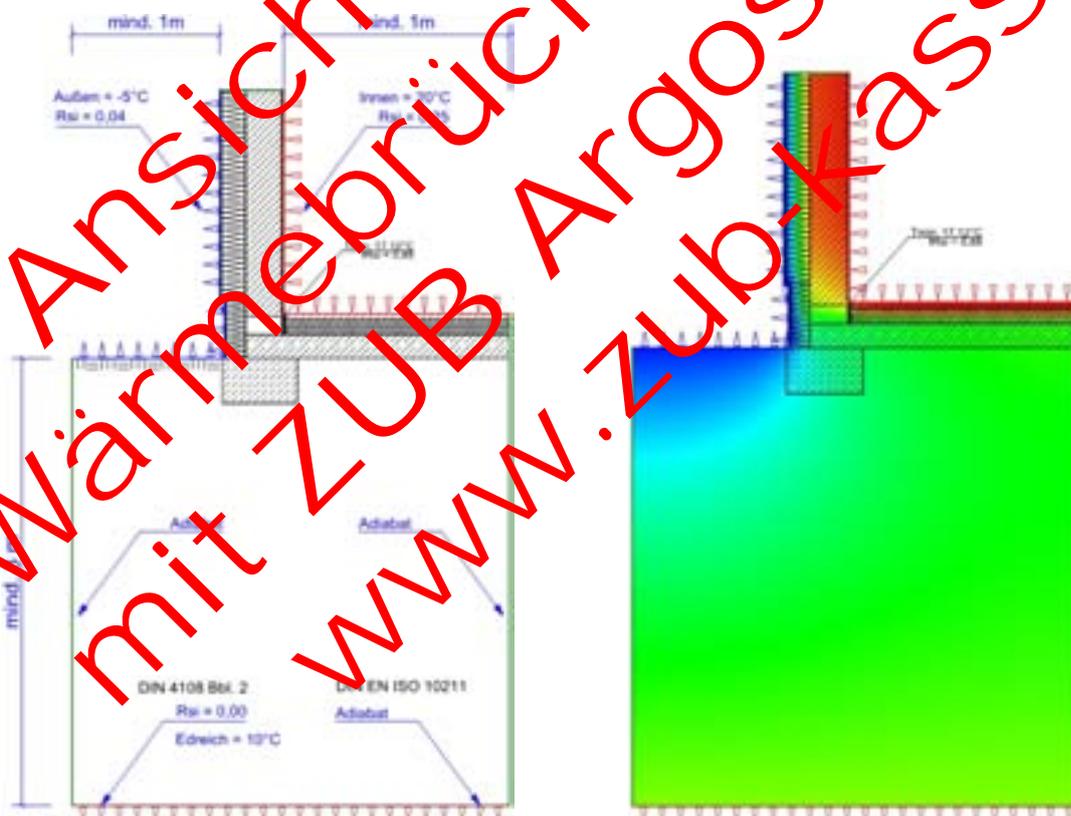


Bild 40 - Bodenplatte auf Erdreich: Berechnung der Oberflächentemperatur mit Erdreichmodell (Temperaturfeld mit Erdreichtemperatur von 10°C nach DIN 4108 Bbl. 2)

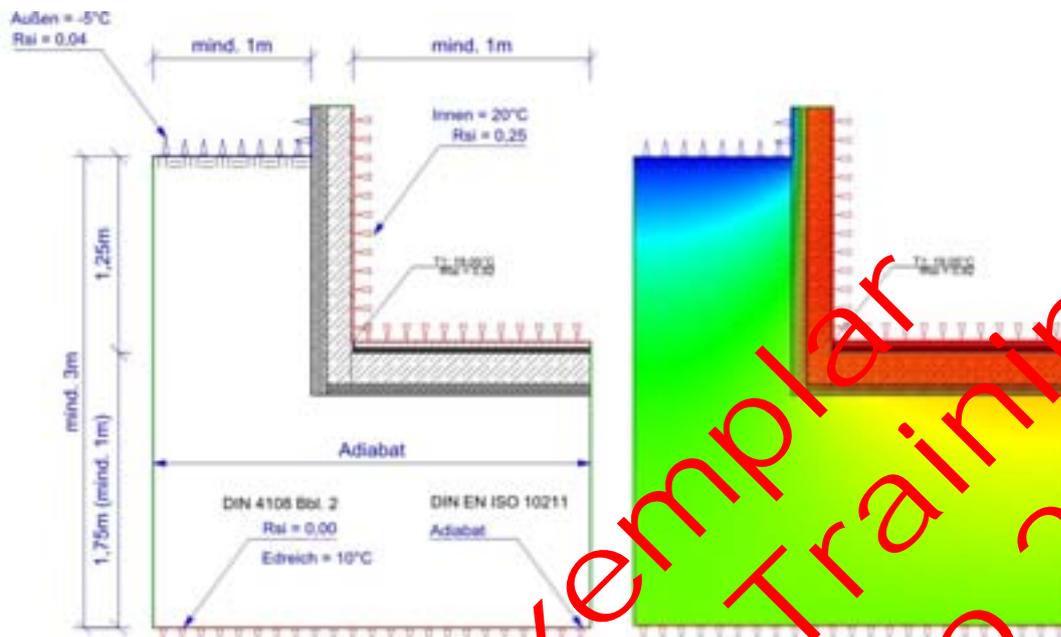


Bild 41 – Keller in Erdreich (>1m): Berechnung der Oberflächentemperatur mit Erdreichmodell (Temperaturfeld mit Erdreichtemperatur von 10°C nach DIN 4108 Bbl. 2)

8.2 Wärmeübergangswiderstände

Insbesondere bei schlecht wärmegeprägten Anschlussdetails wirkt sich der innere Wärmeübergangswiderstand erheblich auf das Ergebnis aus. In der DIN 4108-2 Bbl. 2 berücksichtigt der angesetzte R_{si} Wert von 0,25 m²K/W die Behinderung des Wärmeübergangs durch leichte Gardinen und Raumkanten.

Für die Bereiche hinter Einbauschränke und freistehende Schränke finden sich folgende Richtwert²⁸:

- $R_{si} = 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ für Bereiche hinter Einbauschränken
- $R_{si} = 0,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ für Bereiche hinter freistehenden Schränken

Insbesondere bei gutachterlicher Stellungnahmen und abweichenden Randbedingungen ist die eindeutige Angabe des angesetzten Wärmeübergangsfaktors R_{si} und der zugrundeliegende Norm angeraten.

Ergebnisse nach Bild 42

$f_{0,25} = 0,71$ (Randbedingungen und Modellbildung nach 4108 Bbl2 :2006-03)

bzw.

$f_{1,00} = 0,49$ (Randbedingungen und Modellbildung nach 4108 Bbl2 :2006-03)

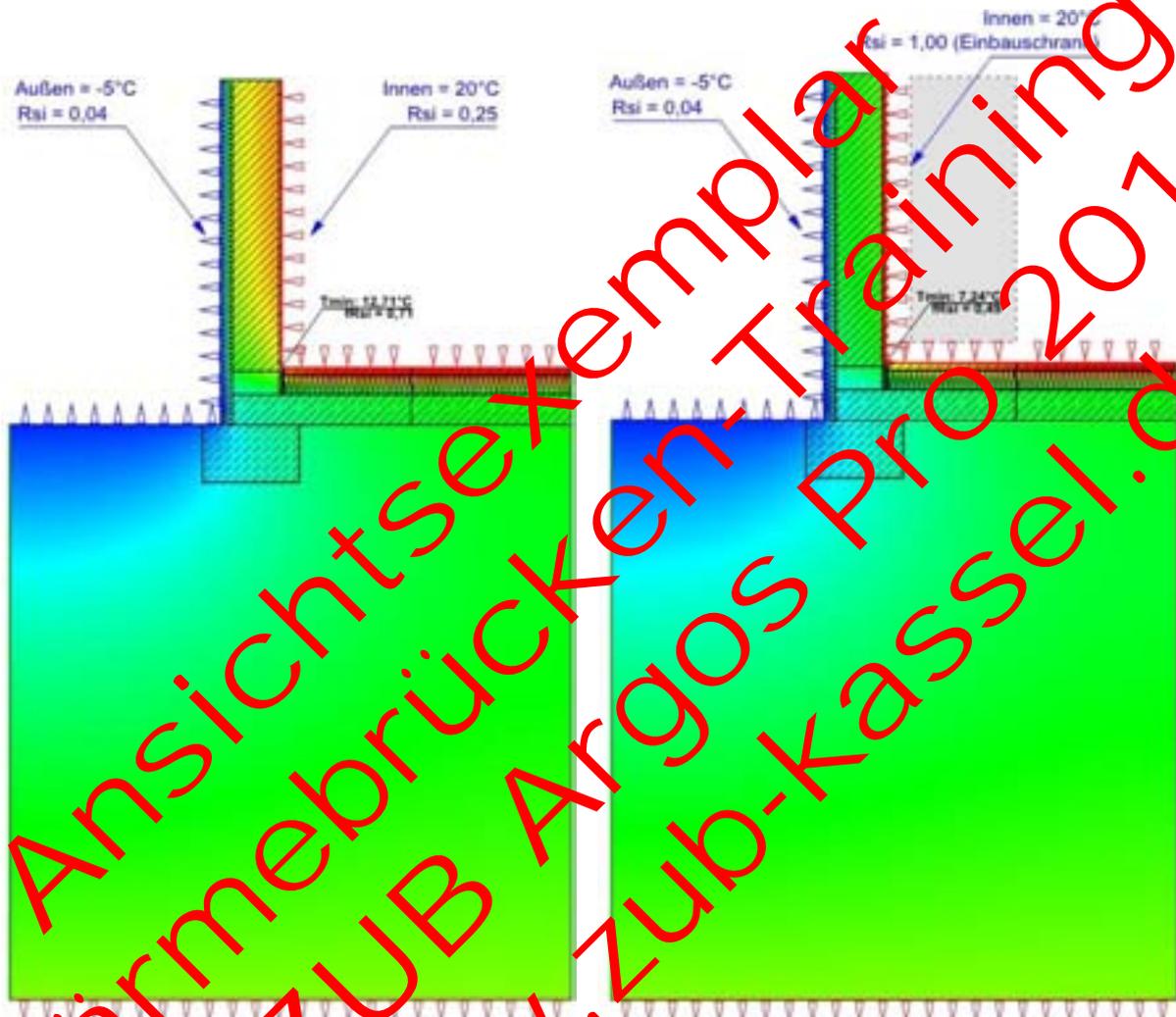


Bild 42 – Bei schlecht wärmedämmten Anschlussdetails wirkt sich eine Erhöhung des inneren Wärmeübergangswiderstands (z.B. durch einen Einbauschränk) wesentlich auf die Oberflächentemperaturen aus.

- DIN 4108-2 (für Berechnung der Oberflächentemperatur)

Tabelle 7 – Wärmeübergangswiderstände für Berechnung der Oberflächentemperatur (f-Wert) nach DIN 4108 Bbl.2

Wärmeübergangswiderstände	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]
beheizter Raum	0,25	
unbeheizter Raum	0,17	
Tür/Fenster (Verglasung)	0,13	
Oberste Geschosdecke (Dachraum unbeheizt)		0,10
Bauteile gegen Außenluft		0,04
Wand zum Erdreich (Erdanschüttung ≤1m) ¹		0,04
Vertikale Schnitteben des Erdreichmodells		adiabat
Horizontale obere Schnitteben des Erdreichmodells		0,04
Horizontale untere Schnitteben des Erdreichmodells		0,00

¹ Bereich der Anschüttung wie luftberührte Außenwand

- DIN EN ISO 10211 (für Berechnung der Oberflächentemperatur)

Für die Berechnung der Innenoberflächentemperaturen werden die Wärmeübergangswiderstände der DIN EN ISO 13788²⁹ angesetzt.

Tabelle 8 – Wärmeübergangswiderstände der DIN EN ISO 13788 für Berechnung der Oberflächentemperatur (f-Wert) nach DIN EN ISO 10211

Wärmeübergangswiderstände	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]
Verglasung und Rahmen	0,13	0,04
Alle anderen Oberflächen	0,25	

8.3 Temperaturrandbedingungen

Nach DIN EN ISO 10211 sind die Innen- und Außenlufttemperaturen entsprechend der tatsächlichen Verhältnisse anzusetzen³⁰. An den Rändern des Erdreichsmodells unter Bodenniveau sind bei erdberührten Bauteilen adiabate Randbedingungen aufzubringen.

Die Vorgabe eines „untemperierten“ adiabaten Erdreichs deckt sich nicht mit den tatsächlichen realen Verhältnissen. Im Erdreich herrscht unterhalb von 10 m eine über die Jahreszeiten konstante Temperatur, die der mittleren Jahres-Außentemperatur entspricht ($\approx 10^{\circ}\text{C}$). Die Ergebnisse sind daher auf der „sicheren Seite“.

Nach DIN 4108 Bbl. 2 wird eine Außentemperatur von -5°C und eine Innentemperatur von 20°C vorgegeben. Die untere Schnittebene des Erdreichs bei erdberührten Bauteilen wird mit 10°C modelliert.

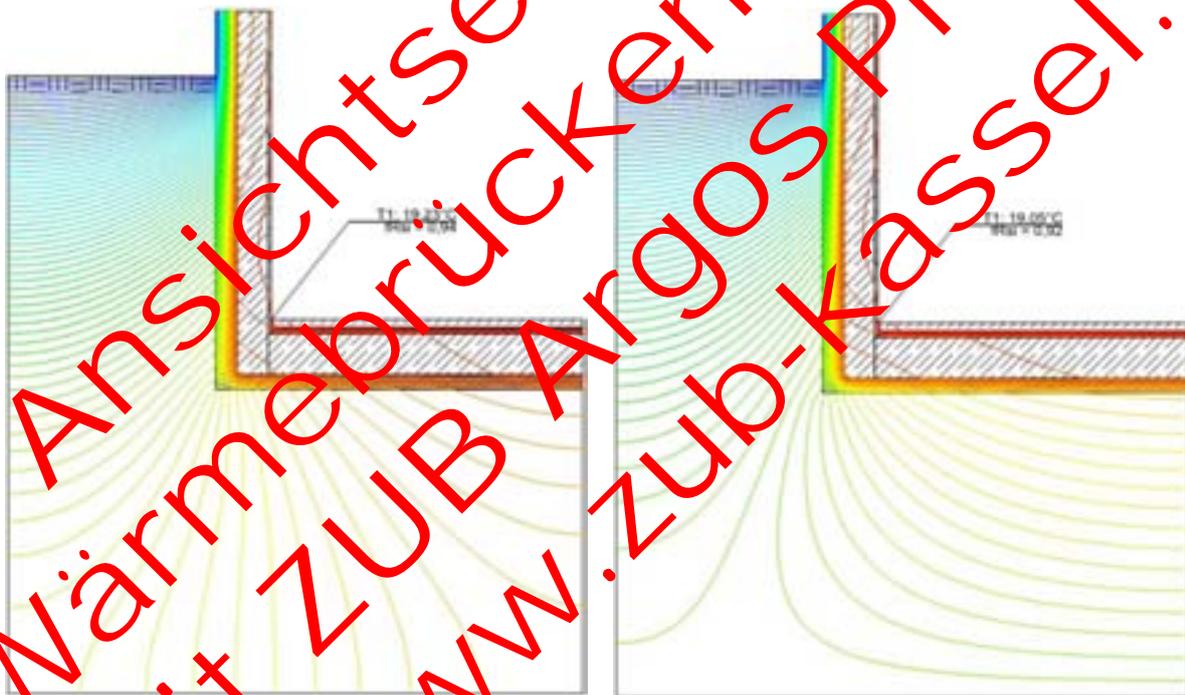


Bild 43 – An adiabaten Schnittkanten verlaufen die Isothermen senkrecht auf die Kante. Im linken Modell ist die untere Schnittebene adiat (nach DIN EN ISO 10211) während im rechten Modell (nach DIN 4108 Bbl. 2) eine Temperatur von 10°C angesetzt wurde. Das Ergebnis nach DIN EN ISO 10211 liegt auf der „sicheren Seite“.

¹ EN ISO 13788:2001, Abschnitt 5.3

² DIN V 18599:2007-02, Abschnitt 6.2.1.3

³ DIN 4108 Bbl. 2, Abschnitt 2

⁴ Liste der Technischen FAQ zu den wohnwirtschaftlichen Förderprogrammen, Zeile 4.05 (Stand: 02/2012)

⁵ DIN 4108 Bbl. 2, Abschnitt 4

⁶ Liste der Technischen FAQ zu den wohnwirtschaftlichen Förderprogrammen, Zeile 4.06 (Stand: 02/2012)

⁷ www.kalksandstein.de - Wärmeübertragung über das Erdreich nach DIN EN ISO 13370, Excel-Tool zum kostenlosen Download:
http://www.kalksandstein.de/downloadcenter.php?page_id=13069&filter=13263

⁸ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 6.1

⁹ In der DIN EN ISO 10211, Abschnitt 3.1.9 wird dieser Bereich als „zentrales Element“ bezeichnet.

¹⁰ In DIN 4108 Bbl. 2 wird in Abschnitt 7.1 auf die Verwendung der Schütteebenen im Untergrund nach DIN EN ISO 10211-1 alternative zu den Festlegungen des Abschnitts 7.3 verwiesen.

¹¹ DIN 4108 Bbl. 2, Tabelle 7 – Ausführungsart 2

¹² DIN 4108 Bbl. 2, Abschnitt 3.5

¹³ DIN EN 6046:2008-04, Abschnitt 1

¹⁴ DIN 4108-6, Anhang E.3

¹⁵ DIN EN ISO 13370

¹⁶ DIN EN ISO 13370

¹⁷ EnEV2009, Anlage 1, Abschnitt 1.3.1

¹⁸ DIN V 18599-100:2009-10, Abschnitt 8.1.2

¹⁹ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 6.1

²⁰ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 6.4, Tabelle 3

²¹ www.kalksandstein.de - Wärmeübertragung über das Erdreich nach DIN EN ISO 13370, Excel-Tool zum kostenlosen Download:
http://www.kalksandstein.de/downloadcenter.php?page_id=13069&filter=13263

²² DIN EN ISO 10211:2008-04, Anhang A.2

²³ Gemäß DIN V 4108-4 darf der vom Hersteller deklarierte Wärmedurchgangskoeffizient nach DIN EN 14351-1 für das Normfenster (1,23 m x 1,48 m) für bauartgleiche Fenster beliebiger Größe angesetzt werden. Für Sprossen sind Zuschläge gemäß EN 14351-1 hinzuzurechnen.

²⁴ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 5.2.4, Tabelle 1 – Spalte „Nur Oberflächentemperatur“

²⁵ EN ISO 13788:2001, Abschnitt 5.3

²⁶ EN ISO 13788:2001, Abschnitt 5.3 e)

²⁷ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 5.2.4, Tabelle 1 – Spalte „Nur Oberflächentemperatur“ bzw. DIN 4108 Bbl. 2, Abschnitt 7.3, Tabelle 7 in Spalte f-Wert Berechnung

²⁸ DIN-Fachbericht 4108-8

²⁹ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 6.3

³⁰ DIN EN ISO 10211:2008-04, Abschnitt 6.4, Tabelle 3

Ansichtsexemplar
mit ZUB Argos Pro 2012
www.zub-kassel.de