



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

# **ANHANG A 2: WÄRMEBRÜCKENKATALOG**

## **ARBEITSPAKET 5: INNENDÄMMSYSTEME**

Ergebnisse: 25.01.2013

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	3
2	Wärmebrücken.....	3
2.1	Berechnung des Wärmeschutzes von Wärmebrücken.....	3
2.2	Randbedingungen der Berechnung .....	4
2.2.1	Wärmeleitfähigkeit der Materialien .....	4
2.2.2	Modellgrenzen .....	5
2.2.3	Temperaturrandbedingungen .....	5
2.2.4	Zusätzlicher Wärmeverlust von Wärmebrücken .....	7
2.2.5	Wärmebrücken mit mehr als zwei Temperaturrandbedingungen .....	8
2.2.6	Inhomogene Wärmebrücken .....	10
2.2.7	Berechnung des $\Psi$ -Wertes Bauteilanschluss der Fenster .....	10
2.2.8	Wärmeübergangswiderstände .....	12
2.3	Anforderungen an $\Psi$ -Werte .....	13
2.4	Mindestwärmeschutz einer Wärmebrücke .....	14
2.4.1	Fensteranschlussdetails .....	14
2.4.2	Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Wärmebrücken .....	20
3	Anordnung der Wärmedämmung der Fassade.....	21
3.1	Varianten für die Innenwärmedämmung .....	21
3.2	Varianten für die Aussenwärmedämmung .....	24
4	Detaillkatalog .....	26
4.1	Übersicht .....	26
4.2	Gliederung .....	28
4.3	Anwendungsbeispiel .....	30
4.4	Details.....	34
2.1	Geschossdecke.....	34
2.3	Innenwand an Aussenwand .....	42
3.2	Traufe .....	54
3.4	Sockel.....	56
3.6	Aussenwand-Ecke .....	58
5.1	Fensterleibung.....	64
5.2	Fensterbrüstung .....	69
5.3	Fenstersturz .....	74
5	Literaturverzeichnis .....	79

# 1 EINLEITUNG

In diesem Wärmebrückenkatalog wird der Wärmeschutz linienförmiger Wärmebrücken berechnet, die an Kanten von Bauteilen auftreten. Dabei werden vor allem Wärmebrücken betrachtet, die in historischen Gebäuden im Bestand und nach einer Sanierung auftreten.

Als historische Gebäude werden in diesem Bauteilkatalog Gebäude aus der Zeit von 1850 bis 1920 bezeichnet.

Bei der Sanierung der Fassaden der Gebäude dieser Bauepoche treten durch Verbesserung des Wärmeschutzes der Aussenwände bzw. der historischen Fenster spezielle Wärmebrücken an den Bauteilanschlüssen am Sturz, am Fensterbrett und an den Leibungen auf.

Bei der Planung des Wärmeschutzes dieser Details müssen die speziellen Randbedingungen der Bestandskonstruktionen berücksichtigt werden. Dies sind zum Einen die wärmeschutztechnischen Eigenschaften der historischen Baumaterialien und zum Anderen die Detailausbildungen der Bestandskonstruktionen.

Die typischen wärmetechnischen Eigenschaften der Wandkonstruktionen, z.B. die Wärmeleitfähigkeit historischer Mauerziegel, und typische Fassadendetails wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „SuRHIB (Sustainable Renovation of Historical Buildings)“ des CCEM (Competence Center Energy and Mobility) in Bestandsaufnahmen erarbeitet [1].

## 2 WÄRMEBRÜCKEN

Eine Wärmebrücke stellt einen thermischen Schwachpunkt der wärmeübertragenden Hülle eines Gebäudes dar. Durch die Wärmebrücke kommt es zu einem erhöhten Wärmestrom, was einen erhöhten Wärmeverlust und verringerte raumseitige Oberflächentemperaturen zur Folge hat.

Bezüglich des Wärmeschutzes einer Wärmebrücke müssen daher zwei Aspekte beurteilt werden:

- der Mindestwärmeschutz, mit dem ausreichend hohe raumseitige Oberflächentemperaturen und damit die Tauwasserfreiheit im Wärmebrückenbereich sichergestellt werden
- und der zusätzliche Wärmeverlust über die Wärmebrücke, der bei der Berechnung des Energieverbrauchs des Gebäudes berücksichtigt werden muss.

### 2.1 Berechnung des Wärmeschutzes von Wärmebrücken

Die Beurteilung des Wärmeschutzes der Wärmebrücken erfolgt nach den Vorgaben der SIA 180, Ziffer 4.2.2 [3]. Danach sind Wärmebrückenberechnungen nach EN ISO 10211 [6] durchzuführen, in der die Randbedingungen für die Berechnungen definiert werden. Zur Berechnung der Wärmebrücken verwenden wir die aktuelle Ausgabe der EN ISO 10211 aus dem Jahr 2007 [6]. Bei den Wärmebrücken dieses Bauteilkatalogs handelt es sich um linienförmige Wärmebrücken, die an den Fügstellen zweier oder mehrerer Bauteile auftreten. Wiederholt vorkommende Wärmebrücken, wie z. B. Sparren, Lattung, Befestigungen, werden bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils laut SIA 380/1 [8] mit dem Näherungsverfahren für zusammengesetzte Bauteile gemäss EN ISO 6946 [7] berücksichtigt.

Punktförmige Wärmebrücken und dreidimensionale Wärmebrücken werden in diesem Bauteilkatalog nicht betrachtet.

## 2.2 Randbedingungen der Berechnung

### 2.2.1 Wärmeleitfähigkeit der Materialien

Für die Materialien werden die Wärmeleitfähigkeiten nach Tabelle 1 verwendet. In dieser Tabelle ist auch die jeweilige Quelle für den verwendeten Zahlenwert angegeben.

*Tabelle 1: Verwendete Materialien zur Berechnung der Wärmebrücken mit Angabe der Wärmeleitfähigkeit und Quelle der Daten*

Baustoff	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/m·K]	Quelle
Kalkzementputz	0.800	Materialdatenbank der Simulationssoftware WUFI® des Fraunhofer IBP, Holzkirchen, Deutschland
Kalkputz	0.700	Materialdatenbank der Simulationssoftware WUFI® des Fraunhofer IBP, Holzkirchen, Deutschland
Aussenputz	0.870	SIA Excel-Baustoffdatenbank, Stand 10.11.2011
Vollziegelmauerwerk	1.000	Materialdatenbank der Simulationssoftware WUFI® des Fraunhofer IBP, Holzkirchen, Deutschland
Holz (Nutzholz 500 kg/m <sup>3</sup> )	0.130	SN EN 12524 [4]
Schlacke/ Hüttenbims	0.490	[10]
Granit	2.8	SN EN 12524 [4]
Kalksandstein	1.4	SN EN 12524 [4]
Gipsfaserplatte	0.320	Fermacell Gipsfaserplatte (Ausbauplatte) [9]
Gussasphalt	0.70	SN EN 12524 [4]
Luftschicht	nach EN ISO 6946, je nach Dicke und Richtung des Wärmestroms	
Dämmung_045	0.045	SIA Merkblatt 2001, Ausgabe 2005, Mittelwert Holzfaserplatte Pavatex zwischen 0.042-0.047 W/(mK)
Dämmung_038	0.038	SIA Excel-Baustoffdatenbank, Stand 10.11.2011 (Isofloc L Zellulose)
Dämmung_032	0.032	SIA Excel-Baustoffdatenbank, Stand 10.11.2011 (Isover PB M 032)
Dämmung_035	0.035	Mineralfaser Flumroc-Dämmplatte COMPACT [11]
Trittschalldämmung	0.040	-

### 2.2.2 Modellgrenzen

Die Modellgrenzen der Wärmebrückenberechnung werden durch die Lage der Schnittebenen festgelegt. Diese Schnittebenen müssen in einem Mindestabstand,  $d_{\min}$  vom zentralen Element der Wärmebrücke angeordnet werden. Dieser Mindestabstand beträgt mindestens 1 m oder mindestens die dreifache Bauteildicke des jeweils angrenzenden flächigen Bauteils. Die folgende Abbildung zeigt eine Kopie von Bild 7 aus EN ISO 10211 [6], in dem die Lage der Schnittebenen illustriert wird.

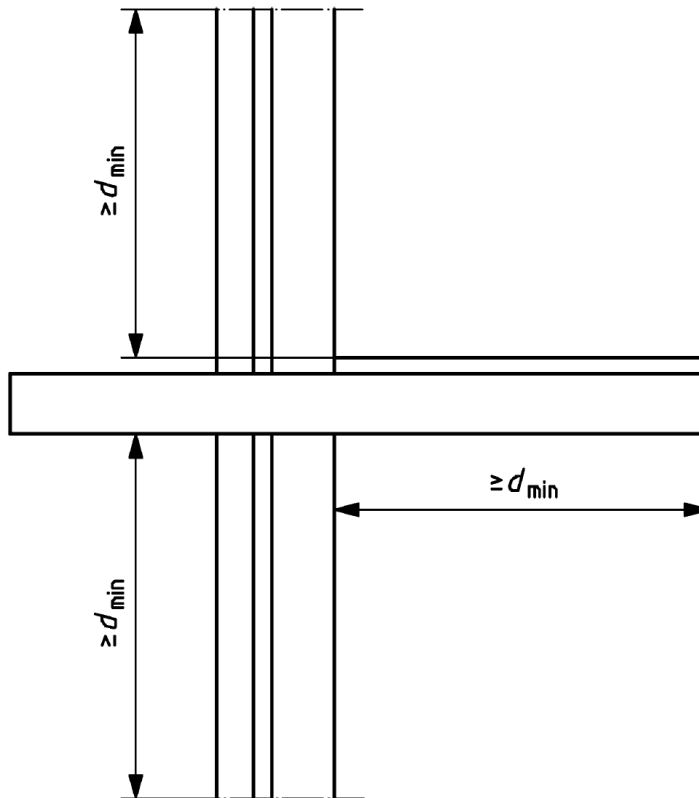


Abbildung 1: Lage der Schnittebenen des Wärmebrückenmodells nach EN ISO 10211 [6]

Zusätzliche Bedingungen für die Mindestabstände der Schnittebenen von Wärmebrücken mit angrenzenden, erdberührten Bauteilen werden in Tabelle 1, EN ISO 10211 [6] festgelegt.

Dabei ist zu beachten, dass die Mindestabstände für die Berechnung des zusätzlichen Wärmeverlustes, des  $\Psi$ -Werts und für die Berechnung des Mindestwärmeschutzes, des  $f_{\text{RSi}}$ -Wertes teilweise unterschiedlich sind.

### 2.2.3 Temperaturrandbedingungen

Der spezifische Wärmeverlust einer Wärmebrücke, einschliesslich des Wärmeverlustes der angrenzenden flächigen Bauteile wird als thermischer Leitwert bezeichnet. Der thermische Leitwert  $L_{2D}$  wird nach Abschnitt 10 der EN ISO 10211 [6] berechnet. Dabei wird nach der Anzahl der Temperaturrandbedingungen unterschieden. Grenzt die Wärmebrücke nur an die Raum- und an die Aussenluft, so spricht man von einer Wärmebrückenberechnung mit zwei Temperatur-Randbedingungen. Grenzt die Wärmebrücke dagegen zusätzlich an einen unbeheizten Nebenraum, so spricht man von einer Wärmebrückenberechnung mit drei Temperaturrandbedingungen. Die Ermittlung mit zwei Temperatur-

Randbedingungen ist in Abschnitt 10.1 der EN ISO 10211 [6] erläutert. Abschnitt 10.2 der EN ISO 10211 [6] beschreibt die Wärmebrückenberechnung mit mehr als 2 Temperatur-Randbedingungen.

Für die Wärmebrückenberechnung werden folgende Temperaturrandbedingungen verwandt:

- Innenlufttemperatur: 20 °C (Standardnutzung nach SIA 380/1, Ziffer 3.5.1.2 [8])
- Aussenlufttemperatur: - 10 °C

Grenzt die Wärmebrücke an einen unbeheizten Raum an, so muss die Lufttemperatur im unbeheizten Raum zunächst mit Hilfe des Temperaturreduktionsfaktor,  $b$  berechnet werden.

Der Temperaturreduktionsfaktor  $b$  berechnet sich aus dem spezifischen Wärmeverlust der Bauteile zwischen dem unbeheizten Raum und der Außenluft,  $H_{ue}$  und dem spezifischen Wärmeverlust der Bauteile zwischen dem beheizten Raum und dem unbeheizten Raum,  $H_{iu}$  nach folgender Formel:

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

$H_{ue}$ ...spez. Wärmetransferkoeffizient in W/K vom unbeheizten Raum nach aussen

$H_{iu}$ ... spez. Wärmetransferkoeffizient in W/K zwischen beheiztem und unbeheiztem Raum

Nach der Bestimmung des Temperaturreduktionsfaktors  $b$  kann die Temperatur im unbeheizten Nebenraum  $\Theta_u$  durch Umstellen folgender Formel berechnet werden:

$$b = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e}$$

$\theta_i$ ...Raumlufthtemperatur

$\theta_u$ ...Lufttemperatur im unbeheizten Raum

$\theta_e$ ...Aussenlufttemperatur

Darüber hinaus gibt die SIA 380/1 [8] für einen vereinfachten Nachweis Rechenwerte für den Reduktionsfaktor  $b$  an. Damit kann die Lufttemperatur im unbeheizten Raum ebenfalls berechnet werden. In Tabelle 2 sind die Reduktionsfaktoren  $b$  für Wärmeverluste über unbeheizte Räume und die damit berechneten Temperaturen der unbeheizten Räume bei einer Innenlufttemperatur von 20 °C und einer Aussenlufttemperatur von -10 °C nach SIA 380/1 [8] angegeben.

*Tabelle 2: Vereinfachte Reduktionsfaktoren  $b$  nach SIA 380/1 [8] für Wärmeverluste über unbeheizte Räume und daraus abgeleitete Lufttemperaturen des unbeheizten Raums in °C bei 20 °C Innenlufttemperatur und -10 °C Aussenlufttemperatur*

Unbeheizter Raum	$b_{uR}, b_{uW}, b_{uF}$	Temperatur unbeheizter Raum $\theta_u$ in °C
Estrichraum, Schrägdach ungedämmt	0.9	-7.0
Estrichraum, Schrägdach gedämmt: $U < 0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.7	-1.0
Kellerraum ganz im Erdreich	0.7	-1.0
Kellerraum teilweise oder ganz über dem Erdreich	0.8	-4.0
angebauter Raum	0.8	-4.0
Glasvorbau	0.9	-7.0

Der Keller und das Dachgeschoss werden als unbeheizter Raum angenommen (mit Lufttemperaturen laut Tabelle 2). Alle Wärmebrücken, die an diese unbeheizten Räume grenzen, weisen damit drei Temperaturrandbedingungen auf, nämlich

- Innen:  $\Theta_i = 20^\circ \text{ C}$
- Keller:  $\Theta_u = -4^\circ \text{ C}$  bzw. Dachgeschoss  $\Theta_u = -7^\circ \text{ C}$
- Aussen  $\Theta_e = -10^\circ \text{ C}$

#### 2.2.4 Zusätzlicher Wärmeverlust von Wärmebrücken

Der Wärmeschutz eines flächigen Bauteils wird durch den Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils, den sogenannten U-Wert quantifiziert. Dieser Wärmedurchgangskoeffizient beschreibt den spezifischen Wärmeverlust, also den Wärmeverlust pro  $1 \text{ m}^2$  und pro  $1 \text{ K}$  Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft- und der Aussenlufttemperatur des Bauteils.

Der zusätzliche Wärmeverlust einer linienförmigen Wärmebrücke wird durch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten, den sogenannten  $\Psi$ -Wert, charakterisiert. Dieser längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient beschreibt ebenfalls einen spezifischen Wärmeverlust, also den Wärmeverlust pro  $1 \text{ K}$  Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft- und Aussenlufttemperatur der Wärmebrücke, aber pro  $1 \text{ m}$  Abwicklungslänge der Wärmebrücke.

Der  $\Psi$ -Wert einer linienförmigen Wärmebrücke wird nach den Vorgaben und den Randbedingungen der Richtlinie EN ISO 10211 [6] berechnet.

Dabei wird zunächst mit einem numerischen Wärmebrückenprogramm der gesamte Wärmeverlust der zweidimensionalen Wärmebrücke, einschliesslich des Wärmeverlustes der angrenzenden Bauteile rechnerisch bestimmt. Dieser gesamte Wärmeverlust wird als zweidimensionaler Leitwert der Wärmebrücke  $L_{2D}$  bezeichnet.

Die Berechnung des zweidimensionalen Leitwerts erfolgt mit der Software „Flixo Professional Version 6“ (Infomind GmbH, Zürich).

Um den zusätzlichen Wärmeverlust der Wärmebrücke zu berechnen, wird vom zweidimensionalen Leitwert der Wärmeverluste über die angrenzenden flächigen Bauteile abgezogen. Der spezifische Wärmeverlust eines flächigen Bauteils  $H$  ist durch das Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils  $U$  und seiner Länge  $l$  senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke gegeben:

$$H = U \cdot l$$

Die Länge der Bauteile und die Abwicklungslänge der Wärmebrücken werden mit Aussenabmessungen des Gebäudes berechnet. Längen- und punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten sind nach SIA 380/1 [8], Ziffer 2.2.3.2 mit Aussenmassen zu bestimmen.

Der längenbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizient,  $\Psi$ -Wert wird bei zwei angrenzenden Bauteilen nach EN ISO 10211 [6] Gleichung (13) bestimmt:

$$\Psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2$$

Dabei ist

- $L_{2D}$  der berechnete thermische Leitwert der Wärmebrücke
- $U_{1,2}$  die Wärmedurchgangskoeffizienten der beiden angrenzenden, flächigen Bauteile
- $l_{1,2}$  die Längen, senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke der beiden angrenzenden Bauteile

### 2.2.5 Wärmebrücken mit mehr als zwei Temperaturreandbedingungen

Bei Wärmebrücken, welche nicht nur an die Innenluft und an die Aussenluft grenzen, sonder auch an eine unbeheizten Raum angrenzen, erfordern eine besondere Berechnung des  $\Psi$ -Wertes. In diesem Fall müssen zwei Leitwerte bestimmt werden: der Leitwert für den Wärmestrom zwischen innen und aussen und der Leitwert für den Wärmestrom zwischen innen und dem unbeheizten Raum.

Für diese Ermittlung werden insgesamt drei Wärmebrückenberechnungen mit verschiedenen Temperaturrandbedingungen durchgeführt, mit denen die Eigen-Leitwerte für jeweils zwei Temperaturrandbedingungen bestimmt werden:

- Für den Eigen-Leitwert  $\lambda_{2D,1}$  wird die Lufttemperatur im Nebenraum gleich der Innenlufttemperatur gesetzt:  $\Theta_u = \Theta_i$
- Für den Eigen-Leitwert  $\lambda_{2D,2}$  wird die Lufttemperatur im Nebenraum gleich der Aussenlufttemperatur gesetzt:  $\Theta_u = \Theta_e$
- Für den Eigen-Leitwert  $\lambda_{2D,3}$  wird die Aussenlufttemperatur gleich der Innenlufttemperatur gesetzt:  $\Theta_e = \Theta_i$

Die Randbedingungen werden am Beispiel einer Wärmebrücke an der Einbindung einer Kellerdecke in die Aussenwand in Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

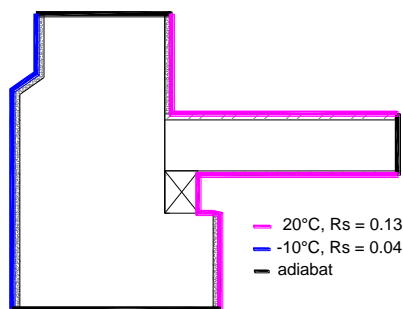


Abbildung 2: Randbedingungen zur Berechnung des Leitwerts  $L_{2D,1}$  für das Detail Einbindung der Kellerdecke an den Wandsockel (Raumlufthtemperatur innen und Lufttemperatur im Keller = 20 °C, Lufttemperatur aussen = -10 °C)

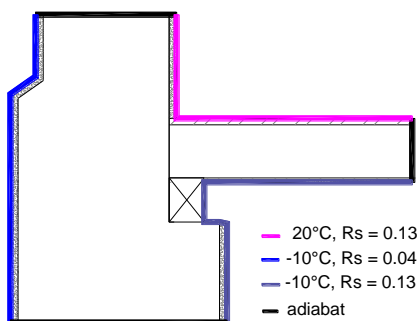


Abbildung 3: Randbedingungen zur Berechnung des Leitwerts  $L_{2D,2}$  für das Detail Einbindung der Kellerdecke an den Wandssockel (Raumlufttemperatur innen = 20 °C, Lufttemperatur aussen und Lufttemperatur im Keller = -10 °C)



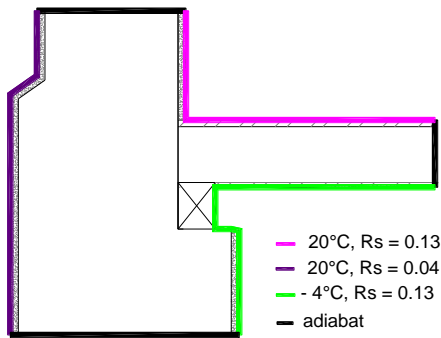


Abbildung 4: Randbedingungen zur Berechnung des Leitwerts  $L_{2D,2}$  für das Detail Einbindung der Kellerdecke an den Wandsockel (Lufttemperatur aussen und Raumlufttemperatur innen = 20 °C, Lufttemperatur im Keller = -4 °C)

Aus diesen drei Eigen-Leitwerten berechnet sich dann der Leitwert zwischen innen und Aussen,  $L_{2D,ie}$  zu

$$L_{2D,ie} = 0.5 \cdot (L_{2D,1} + L_{2D,2} - L_{2D,3})$$

Aus diesen drei Eigen-Leitwerten berechnet sich dann der Leitwert zwischen innen und dem unbeheizten Raum,  $L_{2D,iu}$  zu

$$L_{2D,iu} = 0.5 \cdot (-L_{2D,1} + L_{2D,2} + L_{2D,3})$$

Der Leitwert der gesamten Wärmebrücke,  $L_{2D}$  berechnet sich dann aus den beiden Leitwerten  $L_{2D,ie}$  und  $L_{2D,iu}$  zu

$$L_{2D} = \frac{L_{2D,ie} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + L_{2D,iu} \cdot (\Theta_i - \Theta_u)}{\Theta_i - \Theta_e}$$

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der gesamten Wärmebrücke,  $\Psi$  berechnet sich dann wie folgt

$$\Psi = L_{2D} - l_1 \cdot U_1 - b \cdot l_2 \cdot U_2$$

Dabei bezeichnet

- $l_1$  die Länge des Bauteils an Aussenluft senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_1$  den Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils an Aussenluft
- $l_2$  die Länge des Bauteils zum unbeheizten Nebenraum senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_2$  den Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils zum unbeheizten Nebenraum
- $b$  der Temperaturreduktionsfaktor des Bauteils zum unbeheizten Nebenraum

## 2.2.6 Inhomogene Wärmebrücken

Bei der Wärmebrücke am Geschossdeckenanschluss an die Aussenwand handelt es sich um eine inhomogene Wärmebrücke, da sich der Geschossdeckenanschluss zwischen Gefach und Holzbalken unterscheidet. Diese Wärmebrücke wird am genauesten mit einer dreidimensionalen Wärmebrückenberechnung berechnet.

Näherungsweise kann die Wärmebrücke auch durch zwei zweidimensionale Wärmebrückenberechnungen, eine für den Holzbalken und eine für das Gefach berechnet werden.

Aus diesen beiden Werten wird dann der längenbezogene Wärmedurchgangswiderstand des inhomogenen Geschossdeckenanschlusses als längengewichteter mittlerer  $\Psi$ -Wert mit folgender Formel bestimmt:

$$\Psi_{\text{Gesamt}} = \frac{l_{\text{Gefach}}}{l_{\text{Gesamt}}} * \Psi_{\text{Gefach}} + \frac{l_{\text{Balken}}}{l_{\text{Gesamt}}} * \Psi_{\text{Balken}}$$

- $l_{\text{Gefach}}$  die Länge des Gefachs senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $\Psi_{\text{Gefach}}$  den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Wärmebrückenberechnung für das Gefach
- $l_{\text{Balken}}$  die Länge des Balkens senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $\Psi_{\text{Balken}}$  den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Wärmebrückenberechnung für den Balken

Für den  $f_{\text{Rsi}}$ -Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen.

## 2.2.7 Berechnung des $\Psi$ -Wertes Bauteilanschluss der Fenster

Für die Berechnung des  $\Psi$ -Wertes des Bauteilanschlusses der Fenster wird als Bezugspunkt das lichte Mass der Wandfläche herangezogen. Abbildung 5 erläutert für zwei unterschiedliche Einbausituationen die Lage des Bezugspunkts, auf den sich die Längen der Bauteile beziehen.

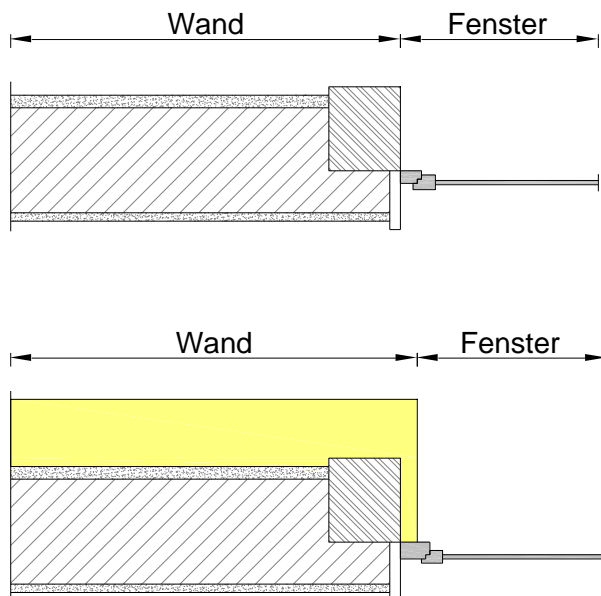


Abbildung 5: Bezugspunkt zur Berechnung des  $\Psi$ -Wertes (oben: Bestand, unten: mit Aussendämmung)

Die Berechnung erfolgt mit den Vorgaben der Norm EN ISO 10077 [5]. Zur Berechnung des  $\Psi$ -Wertes wird anstelle des Glases eine Dämmplatte (Maske) mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.035 \text{ W/(mK)}$  eingesetzt, wie für die Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmen nach EN ISO 10077-2 [5].

### 2.2.7.1 Einfachfenster

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteilanschlusses,  $\Psi$  wird bei Einfachfenstern nach folgender Formel berechnet:

$$\Psi = \frac{\Phi}{\Delta\Theta} - U_{\text{Wand}} \cdot l_{\text{Wand}} - U_{\text{Rahmen}} \cdot l_{\text{Rahmen}} - U_{\text{Maske}} \cdot l_{\text{Maske}}$$

Dabei bezeichnet

- $l_{\text{Wand}}$  die Länge der Wand senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_{\text{Wand}}$  den Wärmedurchgangskoeffizienten der Wand
- $l_{\text{Rahmen}}$  die Länge des Rahmens senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_{\text{Rahmen}}$  den Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens
- $l_{\text{Maske}}$  die Länge der Maske senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_{\text{Maske}}$  den Wärmedurchgangskoeffizienten der Maske
- $\Delta\Theta$  die Differenz zwischen Aussenluft- und Innenlufttemperatur

In Abbildung 6 sind die verschiedenen Längen der Bauteile in einer Prinzipskizze dargestellt.

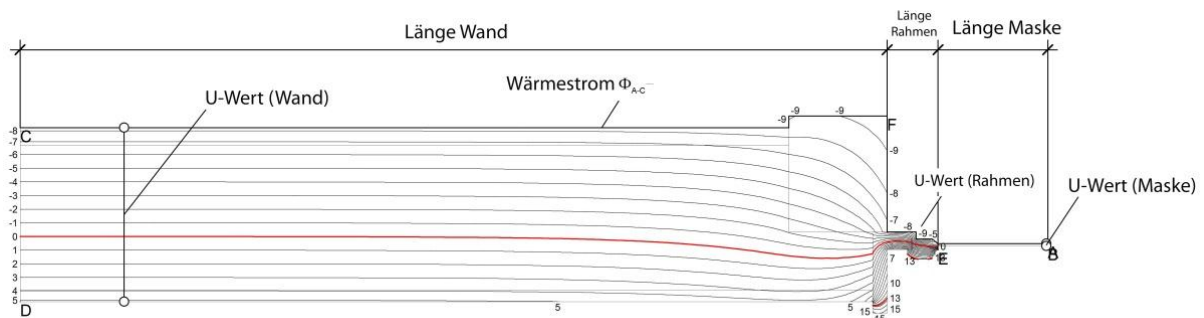


Abbildung 6: Bauteillängen zur Berechnung des  $\Psi$ -Wertes der Wärmebrücken der Bauteilanschlüsse von Einfachfenstern

Bei der Berechnung des  $\Psi$ -Wertes der Fensterbrüstung muss auch der Geschossdeckenanschluss in der Wärmebrückenberechnung berücksichtigt werden, da sich die Geschossdecke innerhalb der Schnittebenen der Wärmebrücke der Fensterbrüstung befindet.

Der zusätzliche Wärmeverlust über den Geschossdeckenanschluss wird durch den  $\Psi$ -Wert der Geschossdecke erfasst und vom zweidimensionalen Leitwert der Wärmebrücke der Fensterbrüstung abgezogen.

Für die Wärmebrücke der Fensterbrüstung muss noch der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke,  $\Psi_{\text{Geschossdecke}}$  abgezogen werden.

### 2.2.7.2 Kastenfenster

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient,  $\Psi$ -Wert der Wärmebrücken an den Bauteilanschlüssen von Kastenfenstern wird nach folgender Formel berechnet:

$$\Psi = \frac{\Phi}{\Delta\Theta} - U_{Wand} \cdot l_{Wand} - U_{Fenster} \cdot l_{Fenster}$$

Dabei bezeichnet

- $l_{Wand}$  die Länge der Wand senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_{Wand}$  den Wärmedurchgangskoeffizienten der Wand
- $l_{Fenster}$  die Länge des Fensters senkrecht zur Abwicklungslänge der Wärmebrücke
- $U_{Fenster}$  den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters
- $\Delta\Theta$  die Differenz zwischen Aussenluft- und Innenlufttemperatur

Die Längen der Bauteile werden in Abbildung 7 erläutert.

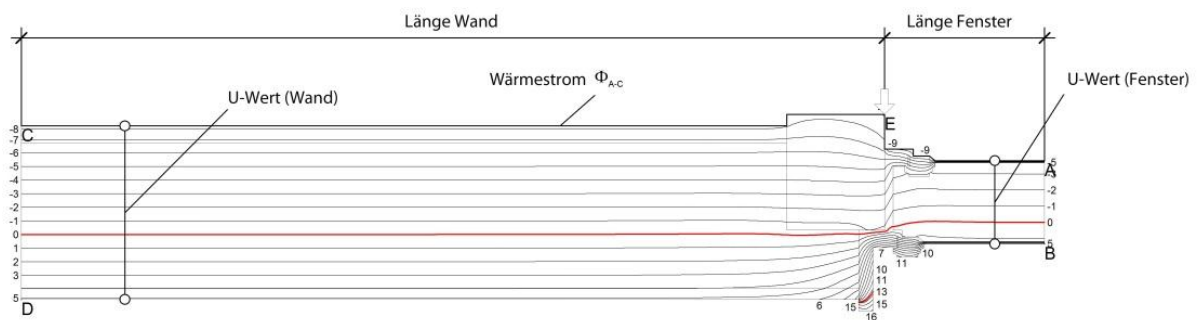


Abbildung 7: Bauteillängen zur Berechnung des  $\Psi$ -Wertes der Bauteilanschlüsse bei Kastenfenstern

### 2.2.8 Wärmeübergangswiderstände

Die Richtlinie EN ISO 10211 [6] verweist bezüglich der Werte der Wärmeübergangswiderstände zur Berechnung des zusätzlichen Wärmeverlustes von Wärmebrücken auf die Norm EN ISO 6946 [7]. Für ebene Oberflächen, die an Luft grenzen und für verschiedene Richtungen des Wärmestroms durch das Bauteil (der Wärmestrom wird bis zu 30° Neigung zur horizontalen Ebene als horizontal bezeichnet) gelten die Werte aus Tabelle 3 der EN ISO 6946 [7], welche in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Tabelle 3: Innere und äussere Wärmeübergangswiderstände  $R_{si}$  bzw.  $R_{se}$  in  $m^2 K/W$  zur Berechnung des zusätzlichen Wärmeverlustes von Wärmebrücken (nach EN ISO 6946, Ziffer 5.2 [7])

	Richtung Wärmestrom		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
$R_{si}$ in $m^2 K/W$	0.10	0.13	0.17
$R_{se}$ in $m^2 K/W$	0.04	0.04	0.04

Zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Psi$ -Wert) werden die Wärmeübergangswiderstände laut EN ISO 6946 [7] verwendet (siehe Tabelle 3). Allerdings werden für den inneren Wärmeübergangswiderstand nur die Werte für den horizontalen Wärmestrom verwendet, in Anlehnung an Anmerkung 1 zur Tabelle 1 in der EN ISO 6946 [7]:

*„Für die Angabe des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilkomponenten und in anderen Fällen, in denen von der Richtung des Wärmestromes unabhängige Werte gefordert werden oder die Richtung des Wärmestroms variieren kann, wird empfohlen, die Werte für den horizontalen Wärmestrom zu verwenden.“*

Diese Werte werden auch in der Publikation des Bundesamtes für Energie „U-Wert-Berechnung und Bauteilekatalog“ bei der Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten angesetzt.

Zur Berechnung der Wärmebrücken der Bauteilanschlüsse der Fenster wird zusätzlich nach EN ISO 10077-2 [5] in den Ecken am Fensterrahmen wegen verringerter Strahlung bzw. Konvektion ein erhöhter  $R_{si}$  –Wert von  $0.20 \text{ m}^2\text{K/W}$  angesetzt.

### 2.3 Anforderungen an $\Psi$ -Werte

In der Schweiz gelten Anforderungen an die maximal zulässigen Werte der  $\Psi$ -Werte einer Wärmebrücke. Neben den Anforderungen für Neubauten werden auch Anforderungen für Wärmebrücken sanierter Altbauten definiert. Beim Wärmebrückennachweis müssen die Grenzwerte laut Tabelle 4 der SIA 380/1 [8] eingehalten werden, die auch für erneuerte oder sanierte Bauteile bei Umbauten gelten.

*Tabelle 4: Zulässige Grenz- und Zielwerte des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Psi$  – Wert) und des punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\chi$ -Wert) linearer und punktförmiger Wärmebrücken (nach SIA 380/1, Ziffer 2.2.3.9 [8])*

längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\psi$		Grenzwert $\psi_{li}$ W/(m·K)	Zielwert $\psi_{ta}$ W/(m·K)
Typ 1	Auskragungen in Form von Platten oder Riegeln (z.B. Balkone, Vordächer, vertikale Riegel)	0,30	0,15
Typ 2	Unterbrechung der Wärmedämmschicht durch Wände oder Decken (z.B. Kellerdeckendämmung durch Kellerwände oder Innendämmung durch Innenwände oder Geschossdecken)	0,20	0,10
Typ 3	Unterbrechung der Wärmedämmschicht an horizontalen oder vertikalen Gebäudekanten	0,20	0,10
Typ 5	Fensteranschlag (Leibung, Fensterbank, Fenstersturz)	0,10	0,05

punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\chi$		Grenzwert $\chi_{li}$ W/K	Zielwert $\chi_{ta}$ W/K
Typ 6	punktuellen Durchdringungen der Wärmedämmung (Stützen, Träger, Konsolen; Befestigungen von Ladenkloben und -rückhaltern, Sonnenstoren, Aussenlampen, Spalieren usw.)	0,30	0,15

## 2.4 Mindestwärmeschutz einer Wärmebrücke

Im Winter kommt es durch die geringen Aussenlufttemperaturen zu einem Absinken der raumseitigen Oberflächentemperaturen der Aussenbauteile. Der erhöhte Wärmeabfluss im Wärmebrückenbereich führt zu besonders niedrigen raumseitigen Oberflächentemperaturen im Einflussbereich der Wärmebrücke. Daher sind Wärmebrücken die kritischsten Bereiche für den Mindestwärmeschutz.

Der Mindestwärmeschutz einer Wärmebrücke wird durch die minimale, raumseitige Oberflächentemperatur der Wärmebrücke definiert: je niedriger diese raumseitige Oberflächentemperatur ist, desto geringer ist ihr Wärmeschutz.

Fällt die raumseitige Oberflächentemperatur unter die Taupunkttemperatur der Raumluft, so fällt Tauwasser auf der raumseitigen Oberfläche der Wärmebrücke aus. Bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C und einer relativen Raumluftfeuchte von 50 % r. F setzt diese Tauwasserbildung bei 9.3 °C ein.

Bei diesen Raumluftbedingungen ist allerdings bereits bei einer länger andauernden Unterschreitung einer Oberflächentemperatur von 12.5 °C Schimmelbefall möglich.

Diese minimale raumseitige Oberflächentemperatur der Wärmebrücke kann auch durch den sogenannten  $f_{Rsi}$ -Wert ausgedrückt werden. Dieser ist durch

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{Oi} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

gegeben. Damit ist der  $f_{Rsi}$ -Wert ein Mass für den Mindestwärmeschutz einer Wärmebrücke, welches unabhängig von den Lufttemperaturrandbedingungen ist.

### 2.4.1 Fensteranschlussdetails

Um eine Oberflächentemperatur von  $\geq 12.5^\circ \text{C}$  am Fensteranschluss zu gewährleisten, müssen einige zusätzliche Wärmeschutzmassnahmen, z. B. durch die Anordnung von zusätzlichen Wärmebrückendämmungen, getroffen werden. Folgend werden diese Massnahmen aufgeführt, die bei den Wärmebrückenberechnungen angesetzt werden.

#### 2.4.1.1 Aussenwärmedämmung mit Leibungsdämmung

Wenn eine Aussenwärmedämmung eingesetzt wird, muss auch der Rahmen mit einer 20 mm dicken Leibungswärmedämmung aussenseitig überdämmt werden, um eine ausreichend hohe raumseitige Oberflächentemperatur sicherzustellen. Abbildung 8 bis Abbildung 11 zeigen die Lage dieser Leibungsdämmung am Sturz, an der Brüstung und an der Leibung. Dies gilt sowohl für die Einfachfenster als auch für die Kastenfenster. An der Brüstung beim Einfachfenster wird zusätzlich eine Fensterbank aus Granit angesetzt, wie in Abbildung 9 dargestellt.

Beim Anschlussdetail am Sturz nehmen die Varianten Einfachfenster und Einfachfenster mit einer Aufdoppelung innen eine Sonderstellung ein. Hier ist auch eine Rahmenaufdoppelung notwendig, wie in Abbildung 10 abgebildet, um eine hohe raumseitige Oberflächentemperatur zu erzielen.

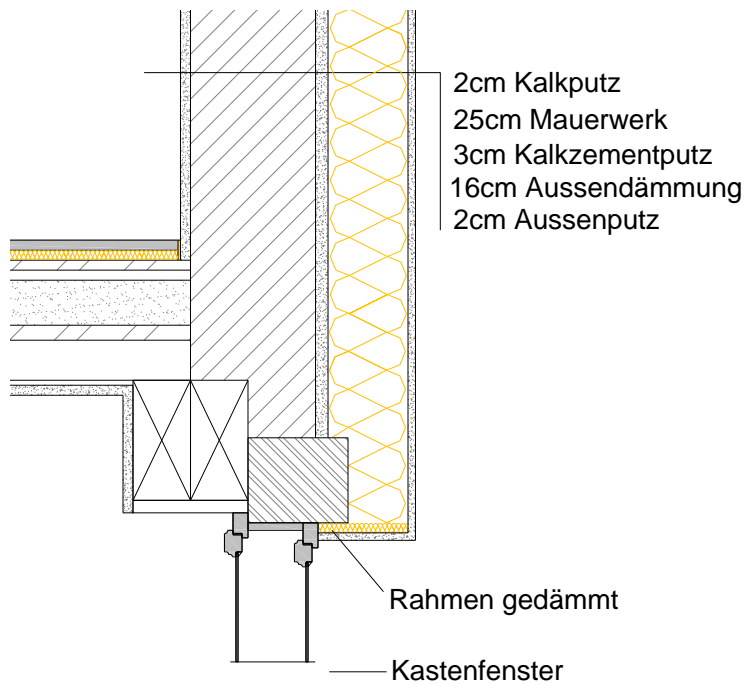


Abbildung 8: Fensteranschlussdetail Sturz bei Kastenfenster mit Aussenwärmedämmung und Leibungsdämmung

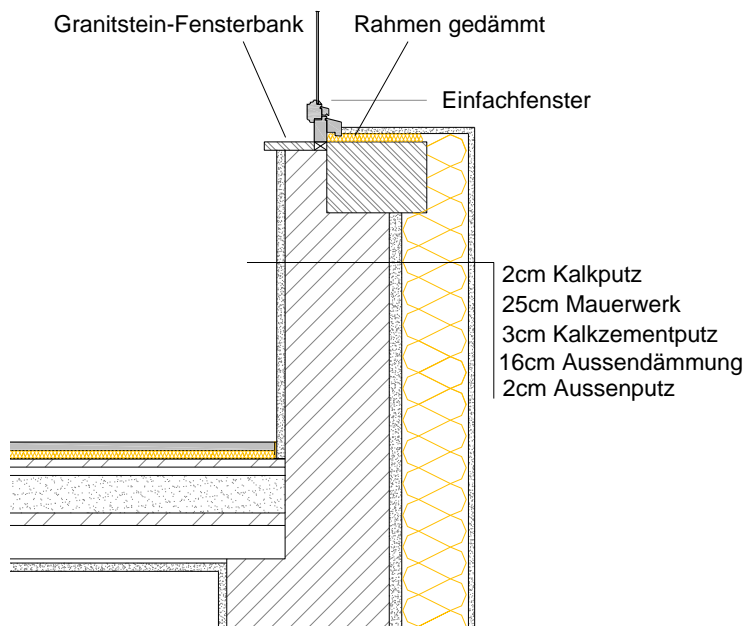


Abbildung 9: Fensteranschlussdetail Brüstung bei Einfachfenster mit Aussenwärmedämmung und Leibungsdämmung

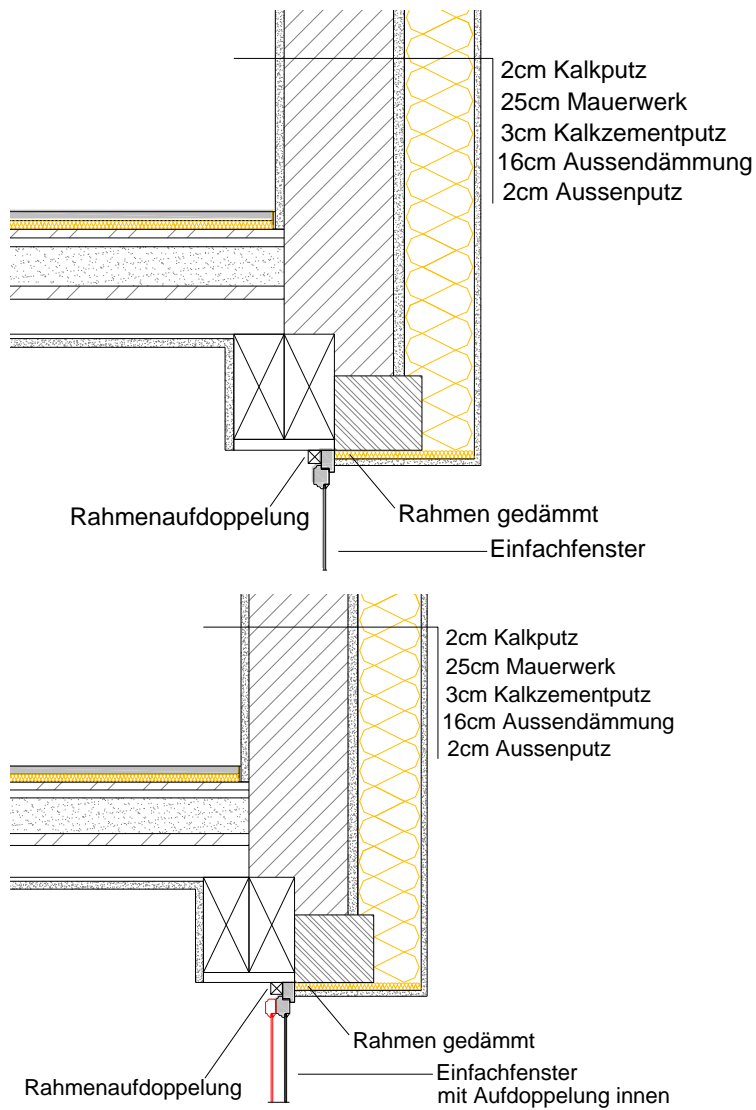


Abbildung 10: Fensteranschlussdetail Sturz bei Einfachfenster (oben) und Einfachfenster mit Aufdoppelung innen (unten) mit Aussenwärmedämmung, Leibungsdämmung und Rahmenaufdoppelung

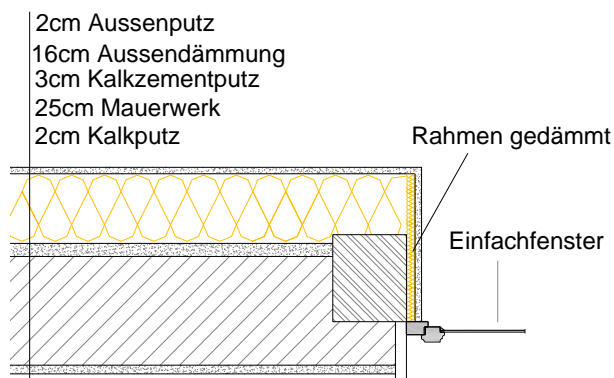
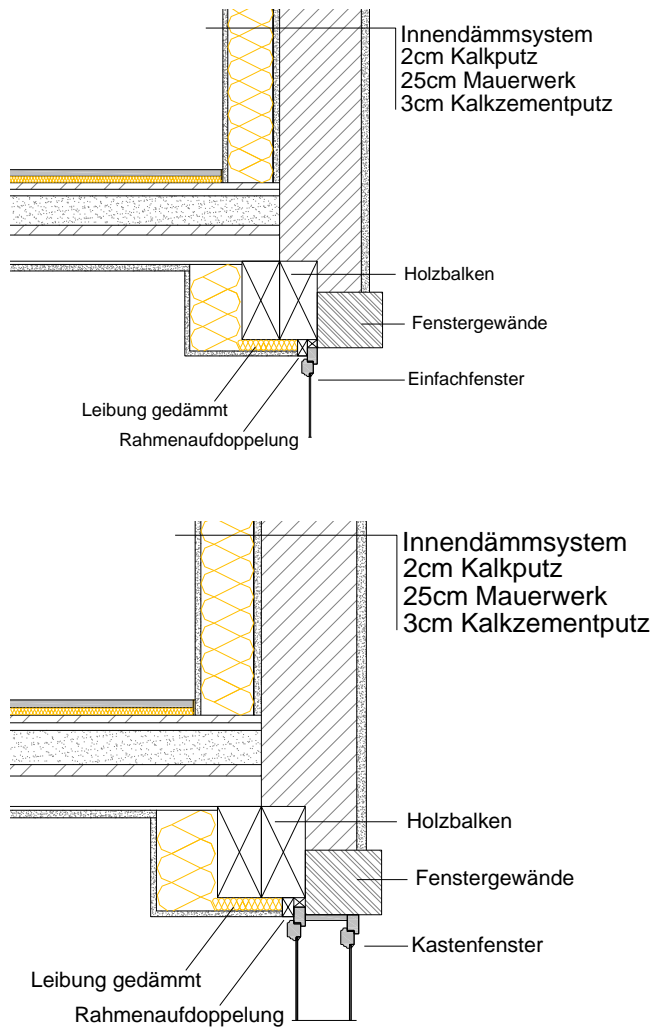


Abbildung 11: Fensteranschlussdetail Leibung bei Einfachfenster mit Aussenwärmedämmung und Leibungsdämmung



#### 2.4.1.2 Innenwärmedämmung mit Rahmenaufdoppelung und Leibungswärmedämmung

Beim Sturz muss bei einer Innenwärmedämmung der Wärmeschutz des Fensterrahmens durch eine 30 mm dicke Rahmenaufdoppelung verbessert und zusätzlich die raumseitige Leibung mit einer 25 mm dicken Wärmedämmung gedämmt werden, um ausreichend hohe raumseitige Oberflächentemperaturen zu erzielen. Dies ist in Abbildung 12 dargestellt und gilt für Einfachfenster und für Kastenfenster.



*Abbildung 12: Fensteranschlussdetail Sturz bei Einfachfenster (oben) und Kastenfenster (unten) bei Innenwärmedämmung*

Eine Sonderstellung nimmt die Variante Kastenfenster mit neuem Isolierglasfenster ein (siehe Abbildung 13). Hier ist eine Leibungswärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.032 \text{ W/(mK)}$  notwendig.

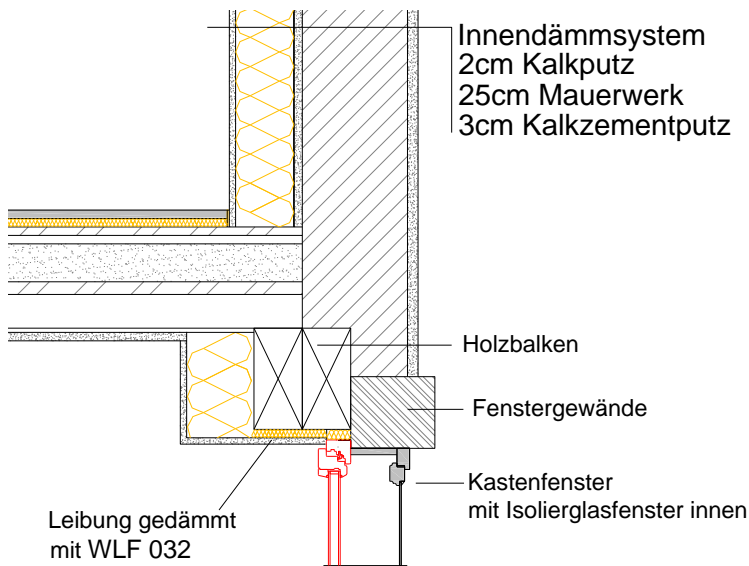


Abbildung 13: Fensterdetailanschluss Sturz bei Kastenfenster mit Isolierglasfenster innen bei Innenwärmedämmung

An der Brüstung muss bei Einfachfenster und Kastenfenster auch eine Rahmenaufdoppelung, eine Leibungsdämmung und eine Fensterbank aus Granit verwendet werden, wie in Abbildung 14 dargestellt.

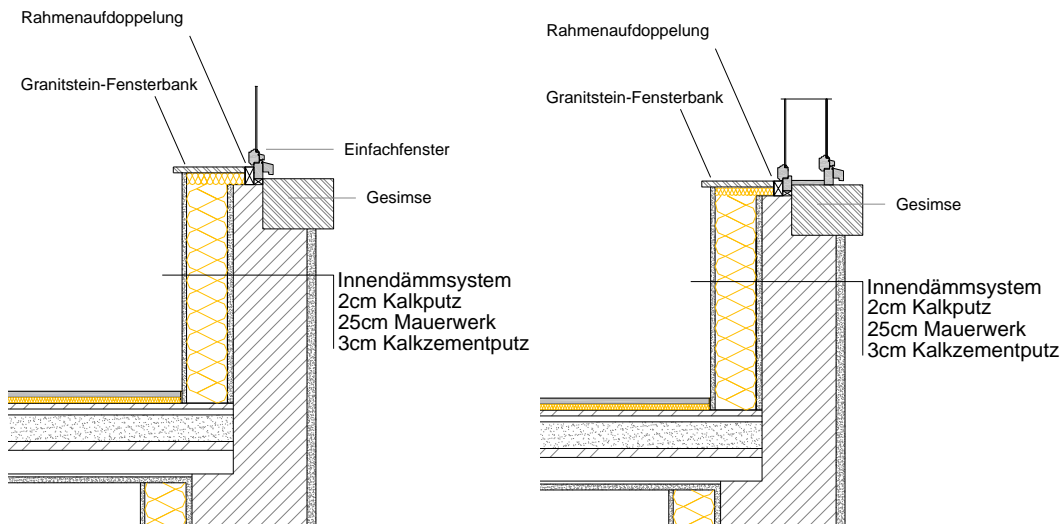
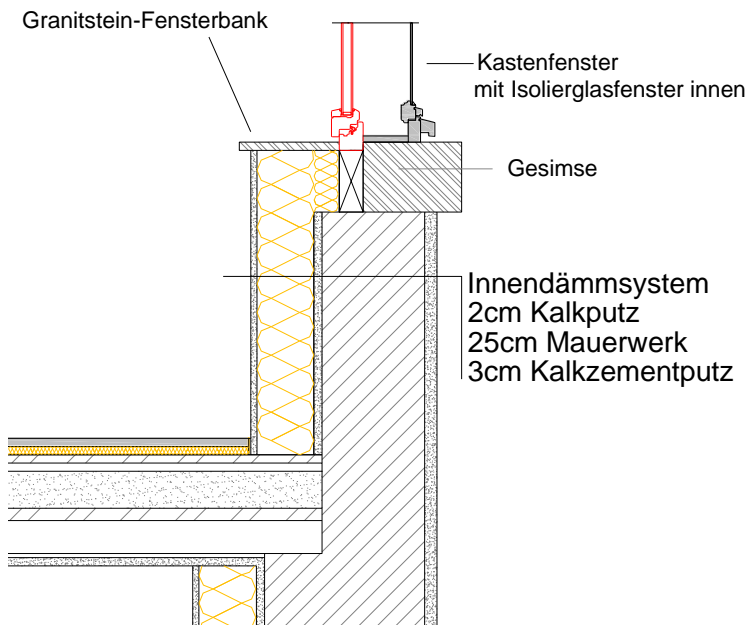


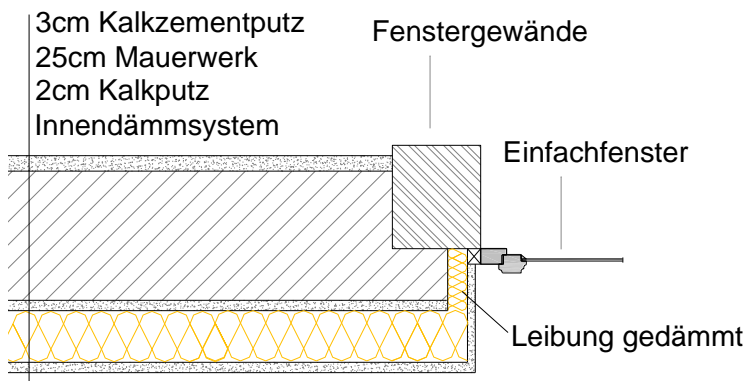
Abbildung 14: Fensterdetailanschluss Brüstung bei Einfachfenster (links) und Kastenfenster (rechts) bei Innenwärmedämmung

Bei der Variante Kastenfenster mit neuem Isolierglasfenster muss zusätzlich ein Teil des Mauerwerks hinter dem Fenstergewände entfernt und wärmegeklämmt werden, wie in Abbildung 15 dargestellt.



*Abbildung 15: Fensterdetailanschluss Brüstung Kastenfenster mit neuem Isolierglasfenster innen bei Innenwärmedämmung*

Im Bereich der Leibung muss gedämmt werden, wie in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt. Die Dicke der Wärmedämmung unter der Leibungsverkleidung variiert. Bei der Variante Einfachfenster mit aufgedoppelten Fenster und allen Kastenfenstern (siehe Abbildung 17) muss ein Teil des Mauerwerks hinter dem Fenstergewände entfernt und wärmegeklämmt werden.



*Abbildung 16: Fensterdetailanschluss Leibung bei Einfachfenster mit Innenwärmedämmung*

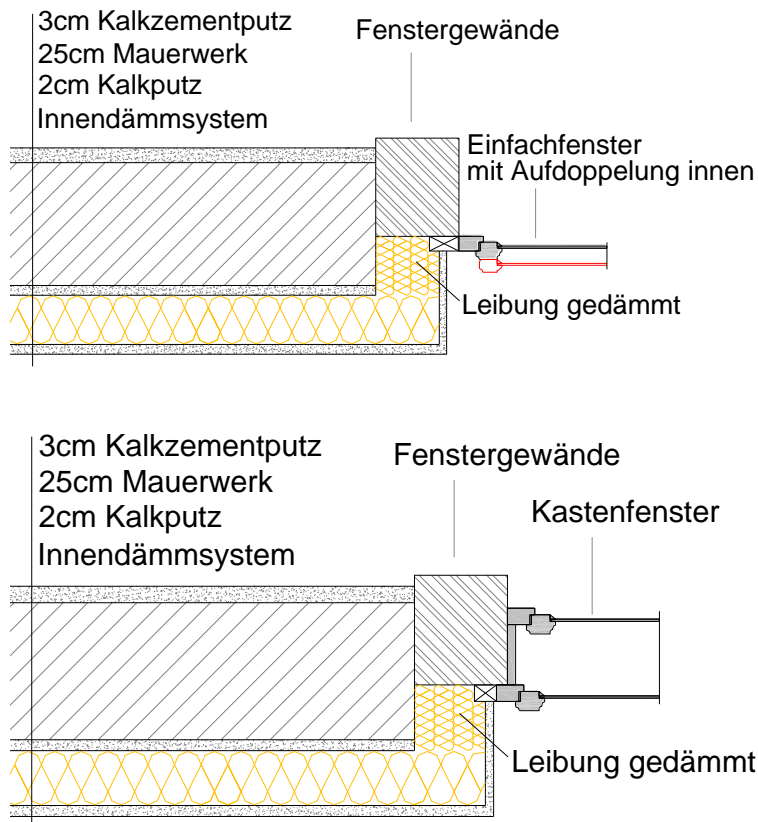


Abbildung 17: Fensterdetailanschluss Leibung bei Einfachfenster mit Aufdoppelung innen (rechts) und Kastenfenster (links) bei Innenwärmedämmung

#### 2.4.2 Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Wärmebrücken

Laut SIA 180 [3] darf an geometrischen und konstruktiven Wärmebrücken (ausser an Fenstern) der Oberflächentemperaturfaktor  $f_{Rsi}$  konstruktiver Wärmebrücken den Wert von  $f_{Rsi} \geq 0.75$  nicht unterschreiten.

Zur Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperaturen einer Wärmebrücke und damit des  $f_{Rsi}$ -Werts sind die Wärmeübergangswiderstände laut Tabelle 5 zu verwenden.

Tabelle 5: Wärmeübergangswiderstände  $R_{si}$  bzw.  $R_{se}$  zur Berechnung der Oberflächentemperaturen (nach SIA 180, Ziffer 6.2.3.2 [3])

Äussere Oberfläche:	
Aussenklima	$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$
im Erdreich	$R_{se} = 0.0 \text{ m}^2\text{K/W}$
Innere Oberfläche:	
Obere Raumhälfte	$R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Unteren Raumhälfte	$R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$
an Fenstern und Türen	$R_{si} = 0.15 \text{ m}^2\text{K/W}$

### 3 ANORDNUNG DER WÄRMEDÄMMUNG DER FASSADE

Bei der Sanierung von Fassaden muss für jedes historische Gebäude, welches zur Sanierung ansteht, zunächst die Frage geklärt werden, ob die Wärmedämmung auf die Aussenseite oder auf der Innenseite der Fassade angebracht werden kann. Diese grundsätzliche Entscheidung wirkt sich auf die erforderliche Konstruktion der Wärmebrücken und damit der anordnung von Wärmebrückendämmungen, aus. Dies gilt insbesondere für die Bauteilanschlüsse von Fenstern.

Bei historischen Gebäude aus der betrachteten Zeitepoche ist es aufgrund der grossen Fassadenkomplexität meist nicht möglich, die Wärmedämmung auf der Aussenseite der Wand aufzubringen.

#### 3.1 Varianten für die Innenwärmedämmung

Für den Wärmebrückenkatalog werden folgende Varianten berechnet:

- Dicke Innenwärmedämmung: 40 mm, 80 mm, 120 mm und 140 mm
- Wärmeleitfähigkeiten der Wärmedämmungen: 0.032 W/(mK), 0.038 W/(mK) und 0.045 W/(mK)
- Als Unterkonstruktion der inneren Wandverkleidung wird bei allen Varianten eine Holzlattung mit einem Abstand von  $e = 620$  mm angenommen.
- Als innere Bekleidung wird bei allen Varianten eine Gipsfaserplatte angenommen.
- Die Fensteranschlüsse werden nur für eine 140 mm und 80 mm dicke Innenwärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0.032 W/(mK) und 0.045 W/(mK) berechnet

In Tabelle 6 sind Skizzen dieser Varianten abgebildet. Für die Varianten mit einer zweischichtigen Innenwärmedämmung (120 und 140 mm Dicke) wird eine Lattung mit Konterlattung als Unterkonstruktion angenommen. Für die Schicht der Konterlattung mit Wärmedämmung wird mit dem Verfahren der zusammengesetzten Bauteile nach EN ISO 6946 [7] zunächst ein mittlerer Wärmedurchlasswiderstand der zusammengesetzten Schicht berechnet. Aus diesem wird mit der Schichtdicke eine mittlere Wärmeleitfähigkeit der zusammengesetzten Schicht berechnet, mit der dann die Wärmebrückenberechnung durchgeführt wird.

Tabelle 6: Prinzipskizzen der Varianten der Innenwärmedämmung mit Angaben zum Aufbau

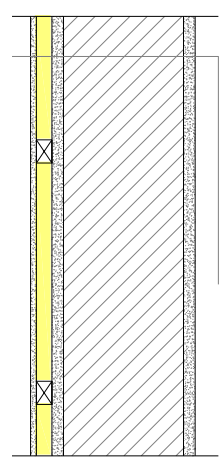
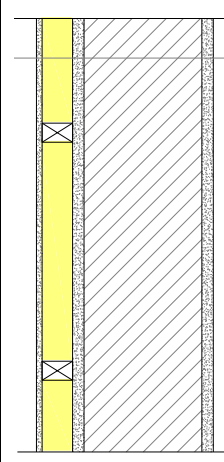
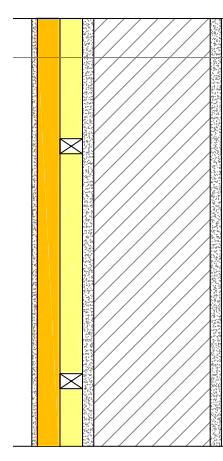
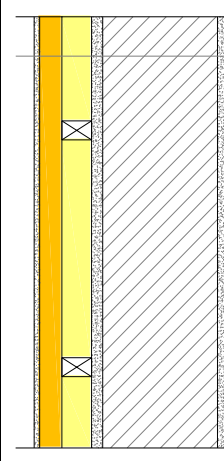
40 mm Innenwärmedämmung	80 mm Innenwärmedämmung
 <p>15 mm Gipsfaserplatte 40 mm Innendämmung Lattung 40x60mm e=620mm</p> <p>Bestand: 20 mm Kalkputz 250 mm Backsteinmauerwerk 30 mm Kalkzementputz</p>	 <p>15 mm Gipsfaserplatte 80 mm Innendämmung Lattung 80x50mm e=620mm</p> <p>Bestand: 20 mm Kalkputz 250 mm Backsteinmauerwerk 30 mm Kalkzementputz</p>
120 mm Innenwärmedämmung	140 mm Innenwärmedämmung
 <p>15 mm Gipsfaserplatte 60 mm Innendämmung Konterlattung 60x40mm e=620mm</p> <p>60 mm Innendämmung Lattung 60x40mm e=620mm</p> <p>Bestand: 20 mm Kalkputz 250 mm Backsteinmauerwerk 30 mm Kalkzementputz</p>	 <p>15 mm Gipsfaserplatte 60 mm Innendämmung Konterlattung 60x40mm e=620mm</p> <p>80 mm Innendämmung Lattung 80x50mm e=620mm</p> <p>Bestand: 20 mm Kalkputz 250 mm Backsteinmauerwerk 30 mm Kalkzementputz</p>

Abbildung 18 zeigt die berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten für eine Aussenwand mit 510 mm Backsteinmauerwerk und verschiedenen dicken Innenwärmedämmungen mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten von 0.32 W/(mK) bis 0.45 W/(mK). Zusätzlich sind die Grenzwerte der SIA 380/1 [8], SIA 180 [3] und dem Gebäudeprogramm [12] dargestellt. Der Mindestwärmeschutz nach SIA 180 [3] kann bei den gewählten Randbedingungen mit einer ca. 70 mm dicken Innenwärmedämmung erreicht werden. Die Anforderungen aus dem Gebäudeprogramm [12] (Wärmedurchgangskoeffizient  $U \leq 0.20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) werden mit den gewählten Konstruktionen nicht erreicht.

Abbildung 19 zeigt die berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten für eine Aussenwand mit 380 mm dickem Backsteinmauerwerk und verschiedenen dicken Innenwärmedämmung mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten von 0.32 W/(mK) bis 0.45 W/(mK). Zusätzlich sind die Grenzwerte laut den Anforderungen der SIA 380/1 [8], SIA 180 [3] und dem Gebäudeprogramm [12] dargestellt. Der Mindestwärmeschutz nach SIA 180 [3] kann bei den gewählten Randbedingungen mit einer ca. 75 mm dicken Innenwärmedämmung erreicht werden. Die Anforderungen aus dem Gebäudeprogramm [12] ( $U \leq 0.20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) werden mit den gewählten Konstruktionen nicht erreicht.

Abbildung 20 zeigt die berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten für eine Aussenwand mit 250 mm Backsteinmauerwerk und verschiedenen dicken Innenwärmedämmung mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten. Zusätzlich sind die Grenzwerte laut den Anforderungen der SIA 380/1 [8], SIA 180 [3] und dem Gebäudeprogramm [12] aufgezeigt. Der Mindestwärmeschutz nach SIA 180 [3] kann bei den

gewählten Randbedingungen mit einer ca. 80 mm dicken Innenwärmedämmung erreicht werden. Die Anforderungen aus dem Gebäudeprogramm [12] (Wärmedurchgangskoeffizient  $U \leq 0.20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) werden mit den gewählten Konstruktionen nicht erreicht.

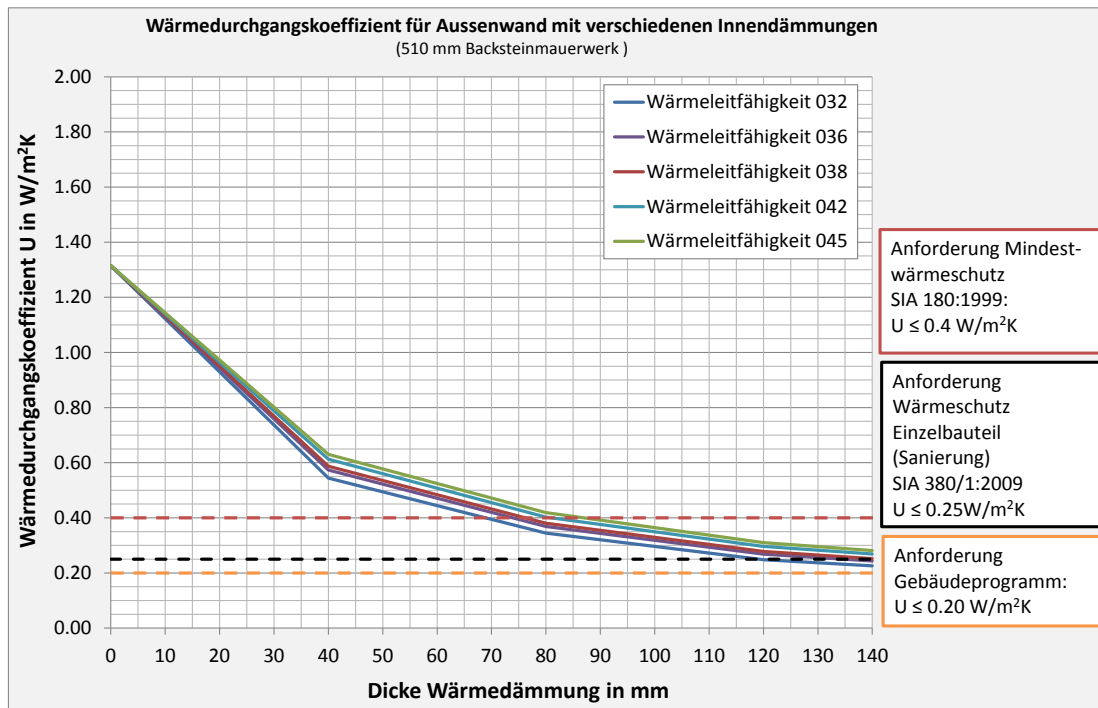


Abbildung 18: Wärmedurchgangskoeffizient für die Aussenwand mit verschiedenen Dicken der Innenwärmedämmung resp. Wärmeleitfähigkeiten (Randbedingung: Backsteinmauerwerk 510 mm dick) und verschiedene Grenzwerte der SIA und des Gebäudeprogramms [12]

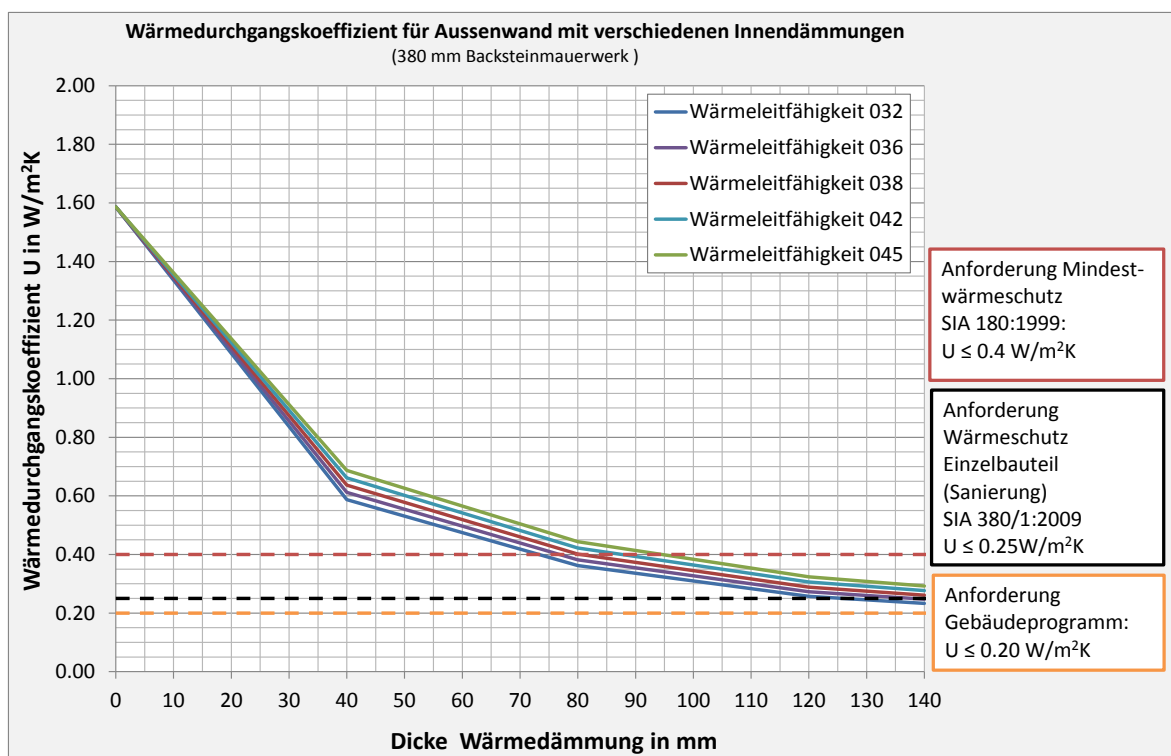


Abbildung 19: Wärmedurchgangskoeffizient für die Aussenwand mit verschiedenen Dicken der Innenwärmedämmung resp. Wärmeleitfähigkeiten (Randbedingung: Backsteinmauerwerk 380 mm dick) und verschiedene Grenzwerte laut Anforderungen der SIA und des Gebäudeprogramms [12]

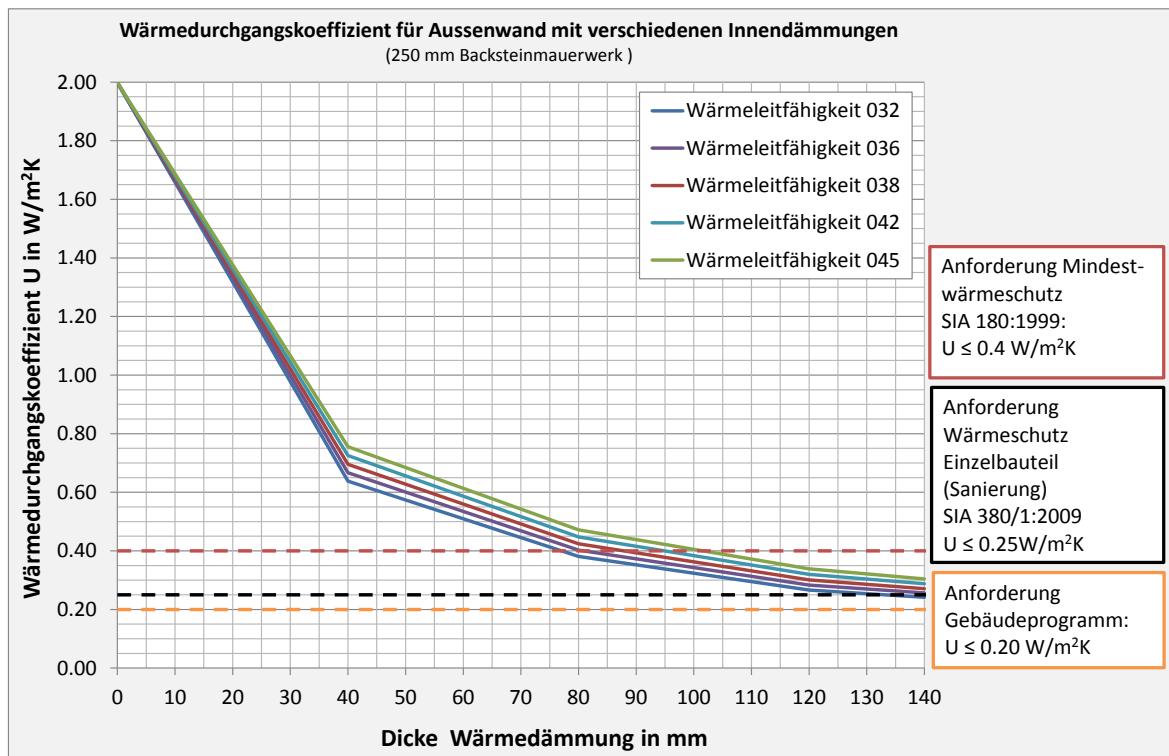


Abbildung 20: Wärmedurchgangskoeffizient für die Aussenwand mit verschiedenen Dicken der Innenwärmedämmung resp. Wärmeleitfähigkeiten (Randbedingung: Backsteinmauerwerk 250 mm dick) und verschiedene Grenzwerte laut Anforderungen der SIA und des Gebäudeprogramms [12]

### 3.2 Varianten für die Aussenwärmedämmung

Für die Wärmebrückenberechnung der Fensteranschlüsse wird eine Sanierungsvariante der Wand mit einer 160 mm dicken äusseren Wärmedämmung als Kompaktfassade (Mineralfaserdämmplatte mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$ ) gerechnet. Abbildung 21 enthält eine Prinzipskizze dieses Aufbaus.

Die Dicke der Aussenwärmedämmung wird dabei so gewählt, dass die Bauteilanforderung für die Fassade des Gebäudeprogramms [12] ( $U \leq 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) erfüllt werden kann. Abbildung 22 zeigt die Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten des Wandaufbaus von der Dicke der Wärmedämmung für drei verschiedene Mauerwerksdicken. Ab einer Dicke der Wärmedämmung von ca. 65 bis 75 mm kann der Mindestwärmeschutz nach SIA 180 [3] (Wärmedurchgangskoeffizient  $U \leq 0.40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) erreicht werden.

Um einen Wärmedurchgangskoeffizienten von  $U = 0.20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  zu erreichen, ist eine äussere Wärmedämmung mit einer Mindestdicke von 160 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.035 \text{ W/(mK)}$  erforderlich, für alle betrachteten Dicken des Backsteinmauerwerks (250 mm bis 380 mm).



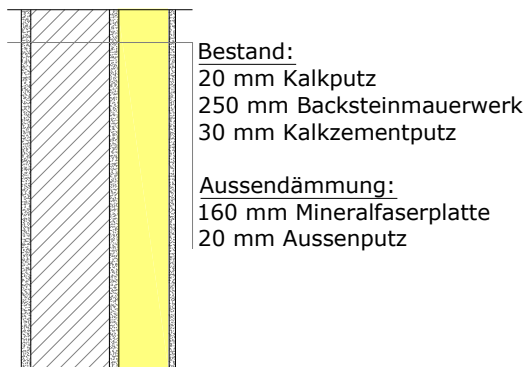


Abbildung 21: Skizze der Variante der Aussenwärmedämmung mit Angaben zum Wandaufbau

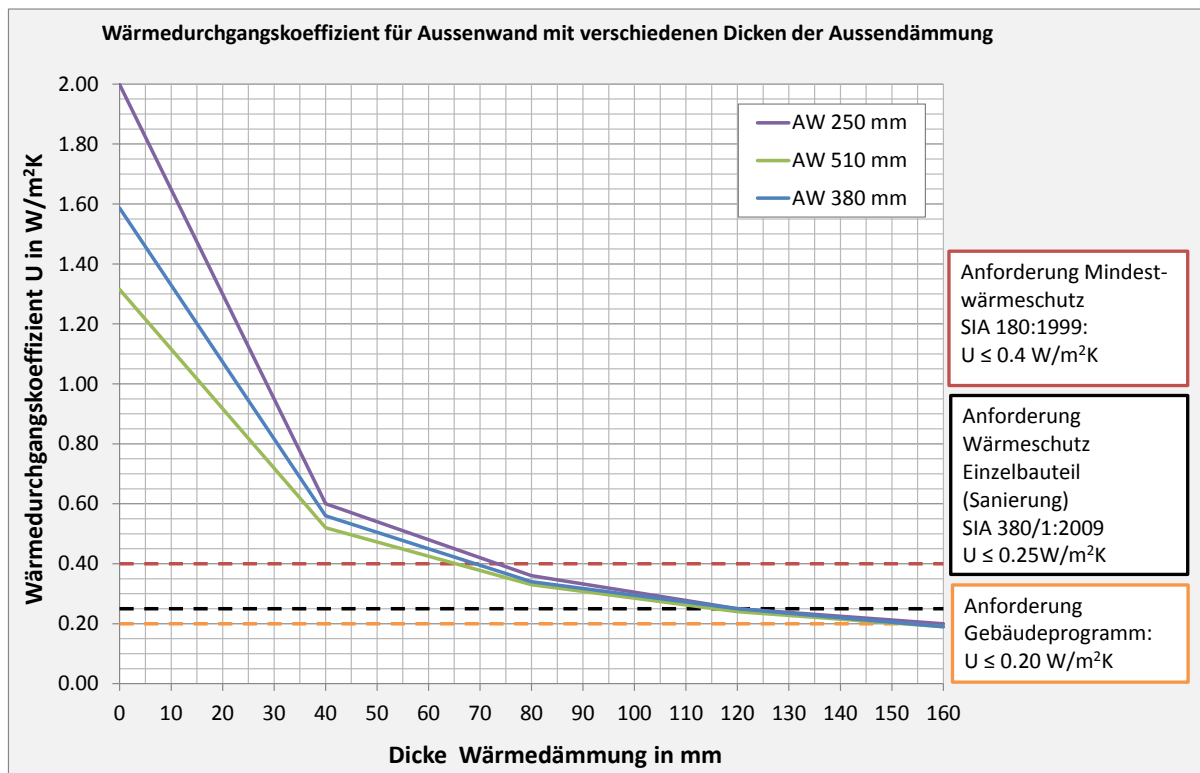


Abbildung 22: Wärmedurchgangskoeffizient der sanierten Wandkonstruktion für verschiedene Dicken der Aussenwärmedämmung und der Aussenwand (AW) mit den verschiedenen Grenzwerten der SIA 180 [3], der SIA 380/1 [8] und des Gebäudeprogramms [12]

## 4 DETAILKATALOG

### 4.1 Übersicht

Die folgende Abbildung zeigt die Lage der untersuchten Wärmebrücken im Gebäude in einem Vertikal- und einem Horizontalschnitt.

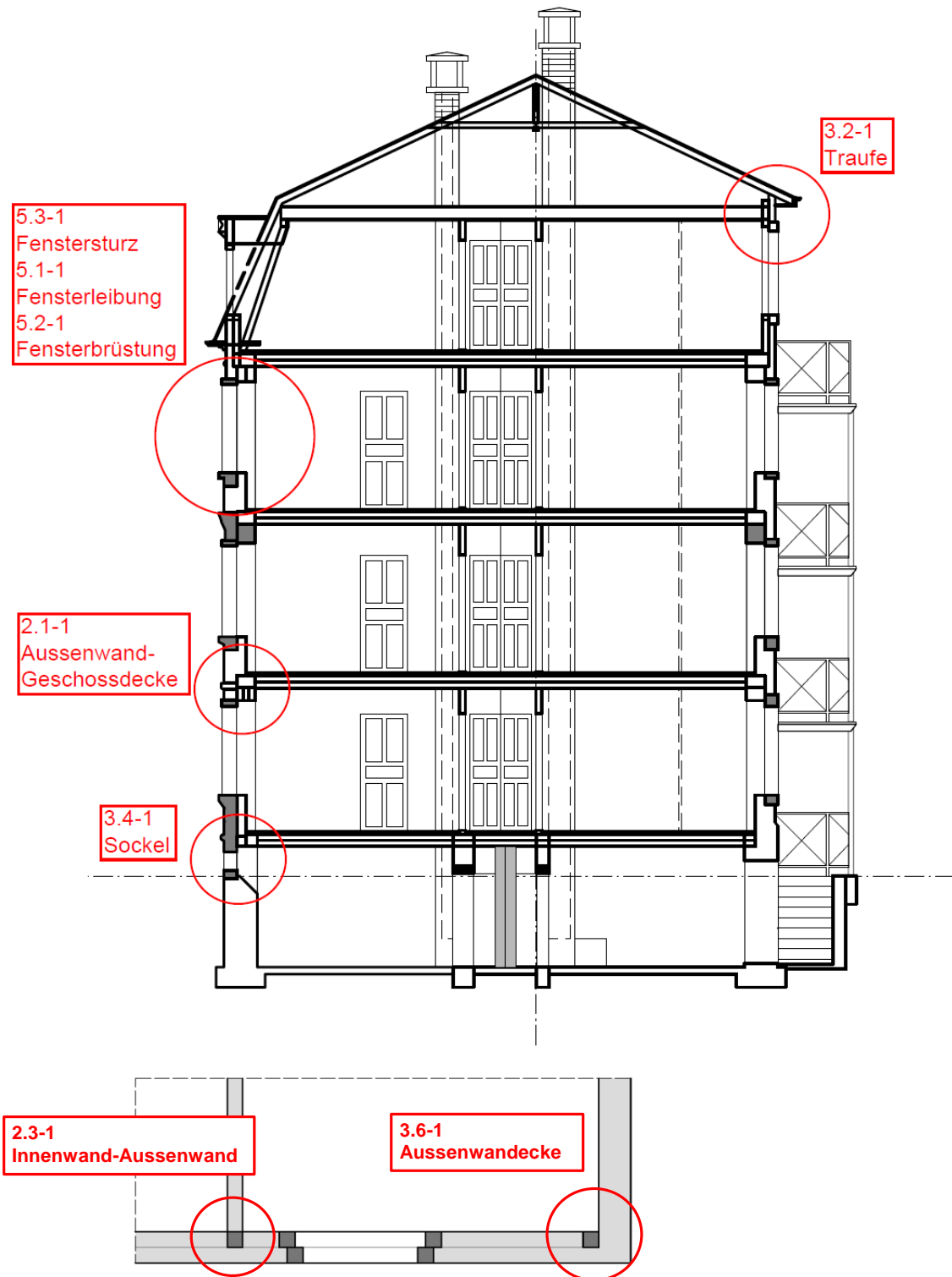
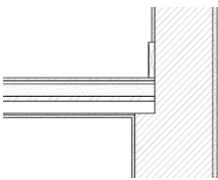
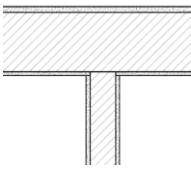
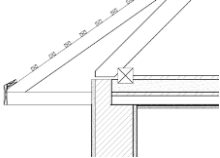
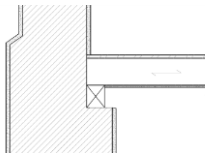
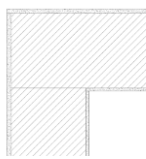

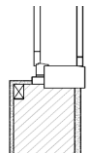
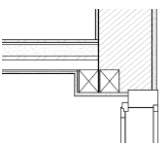


Abbildung 23: Vertikalschnitt mit Übersicht der Lage der berechneten Wärmebrücken (Reto Imesch, Ingenieurbüro Aegerter & Bossdardt, Basel)

In der folgenden Tabelle (Tabelle 7) werden die Konstruktionsskizzen und die Wärmebrückenbezeichnung für die untersuchten Wärmebrücken zusammengestellt.

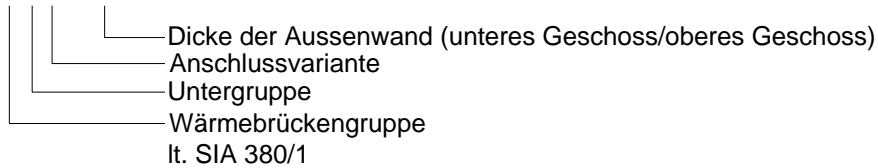
*Tabelle 7: Übersicht der Anschlussdetails im Wärmebrückenkatalog*

Konstruktion	Anschlussdetail	Wärmebrückengruppen-Bezeichnung	Seite
	Aussenwand-Geschossdecke	2.1	34
	Innenwand-Aussenwand	2.3	42
	Traufe	3.2	54
	Sockel	3.4	56
	Aussenwandendecke	3.6	58
	Fensterleibung	5.1	64
	Fensterbrüstung	5.2	69
	Fenstersturz	5.3	74

## 4.2 Gliederung

Die Gliederung des Wärmebrückenkatalogs orientiert sich an der Ordnung der Wärmebrückentypen der SIA 380:2009, Ziffer 2.2.3.9. Die Details werden wie folgt bezeichnet:

2.1-2-380/250



Jede Wärmebrücke wird auf einer Seite beschrieben. Dieses Merkblatt enthält pro Wärmebrückendetail eine Tabelle mit  $\Psi$ -Werten und  $f_{Rsi}$ -Werten für verschiedene Dämmvarianten. Zusätzlich ist in zwei Diagrammen der Verlauf der  $\Psi$ -Werte und  $f_{Rsi}$ -Werte zwischen den berechneten Stützwerten, als Funktion der Dicke der Wärmedämmung der Fassade (40 / 80 / 120 / 140 mm), dargestellt, wodurch Zwischenwerte graphisch abgelesen werden können. Die Werte gelten für die unter „Bemerkung“ aufgeführten Bedingungen. Die Wärmebrückendetails werden durch einzelne Prinzipskizzen dargestellt. Die Wärmedämmung ist gelb hervorgehoben.

Bei den Fensteranschlussdetails gibt es eine Prinzipskizze für die Varianten ohne Dämmung. Die Ergebnisse sind wie folgt gegliedert:

- 1. Spalte: Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) in  $W/(m^2K)$  der Aussenwand (250 mm Backsteinmauerwerk) für die verschiedenen Dämmvarianten (ohne Dämmung = Bestand, 160 mm dicke Aussenwärmedämmung, 140 mm bzw. 80 mm dicke Innenwärmedämmung mit Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0.032 W/(mK)$  bzw.  $\lambda = 0.045 W/(mK)$ )
- 2. Spalte:  $\Psi$ -Wert in  $W/mK$  der Wärmebrücke für die jeweilige Variante
- 3. Spalte:  $f_{Rsi}$ -Wert berechnet am Übergang Fenster zu Wand (siehe Abbildung 24)

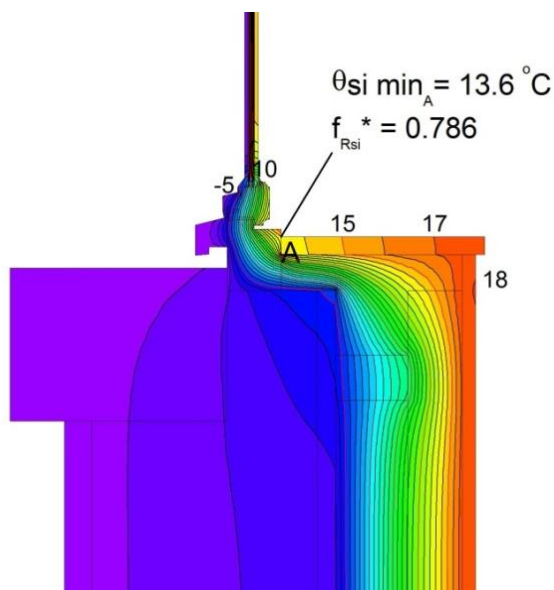


Abbildung 24: Bezugspunkt für die Berechnung des  $f_{Rsi}$ -Wertes aus der Wärmebrückenberechnung

Die wichtigsten Bedingungen für die Benutzung des Katalogs:

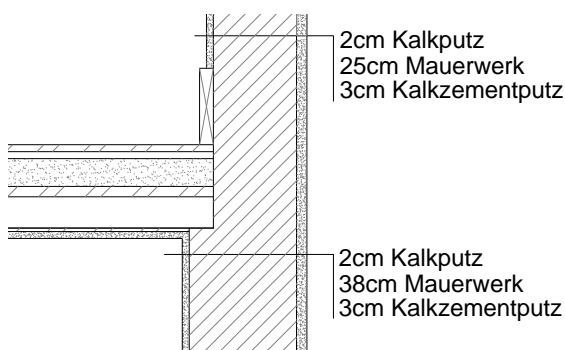
- Die  $\Psi$ -Werte gelten nur für eingezeichnete Lage des Bezugspunktes im Isothermenbild. Es werden immer Aussenabmessungen zur Berechnung verwendet.
- Die  $f_{\text{Rsi}}$ -Werte gelten nur für die eingezeichnete Lage des Bezugspunktes im Isothermenbild und werden mit  $-10^\circ\text{C}$  Aussenlufttemperatur und  $20^\circ\text{C}$  Innenlufttemperatur berechnet.
- Der Verlauf der Isothermen in den Details gilt für eine 80 mm dicke Innenwärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.038\text{ W/(mK)}$ , eine Raumlufthtemperatur von  $20^\circ\text{C}$  und einer Aussenlufttemperatur von  $-10^\circ\text{C}$ . Die  $0^\circ\text{C}$ -Isotherme und  $12.5^\circ\text{C}$ -Isotherme sind rot hervorgehoben.
- Der Feuchtehaushalt der Aussenwand mit innenliegender Wärmedämmung der Fassade und damit Ihre langzeitige Funktionsfähigkeit wurde nicht durch hygrothermische Berechnungen untersucht. Diese Untersuchung ist objektspezifisch für den verwendeten Wärmedämmstoff durchzuführen.
- Der Wärmebrückenkatalog stellt die berechneten  $\Psi$ -Werte und  $f_{\text{Rsi}}$ -Werte der untersuchten Wärmebrücken zusammen. Ob diese Werte für einen speziellen Standort ausreichend sind, muss für jedes Objekt vom Planer untersucht werden. Insbesondere die Wärmeschutzwerte für die unsanierten Wärmebrücken, aber auch für einige sanierte Wärmebrücken sind so gering, dass auch bei üblicher Nutzung ein erhöhtes Versagensrisiko besteht. Daher ist im Rahmen der Fachplanung eine objektspezifische Beurteilung der jeweiligen Wärmebrücke vorzunehmen. Die Autoren können für die Anwendung der Wärmebrücken an einem speziellen Objekt keine Haftung übernehmen.

### 4.3 Anwendungsbeispiel

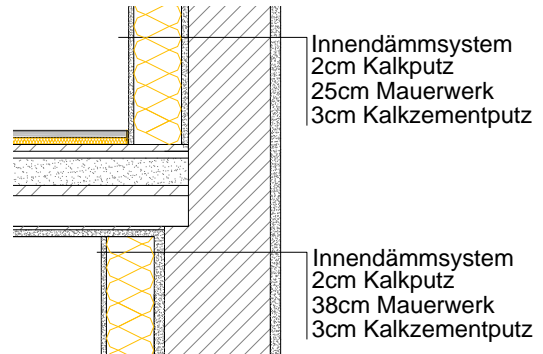
#### Bsp.: Anschluss Geschossdecke an Aussenwand

- Der Wärmedurchgangskoeffizient der Aussenwand im Bestand im oberen Geschoss beträgt  $U = 2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Der Wärmedurchgangskoeffizient der Aussenwand im Bestand im unteren Geschoss beträgt  $U = 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- An der Aussenwand soll eine Innenwärmedämmung mit 60 mm und einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.038 \text{ W}/(\text{mK})$  angebracht werden.

Bestand:



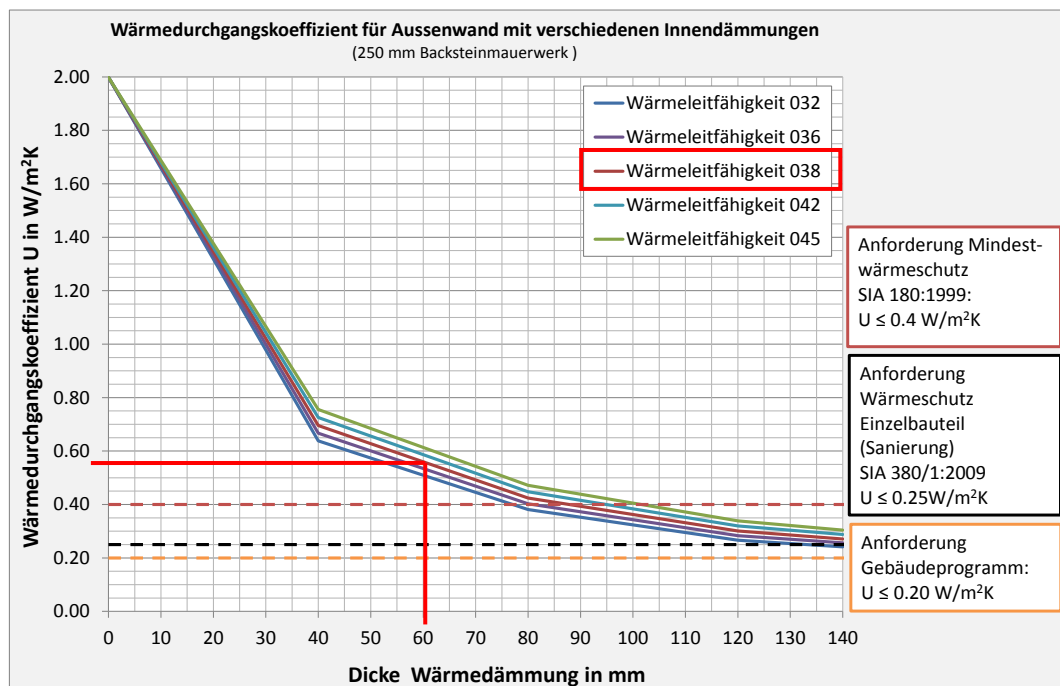
Saniert:



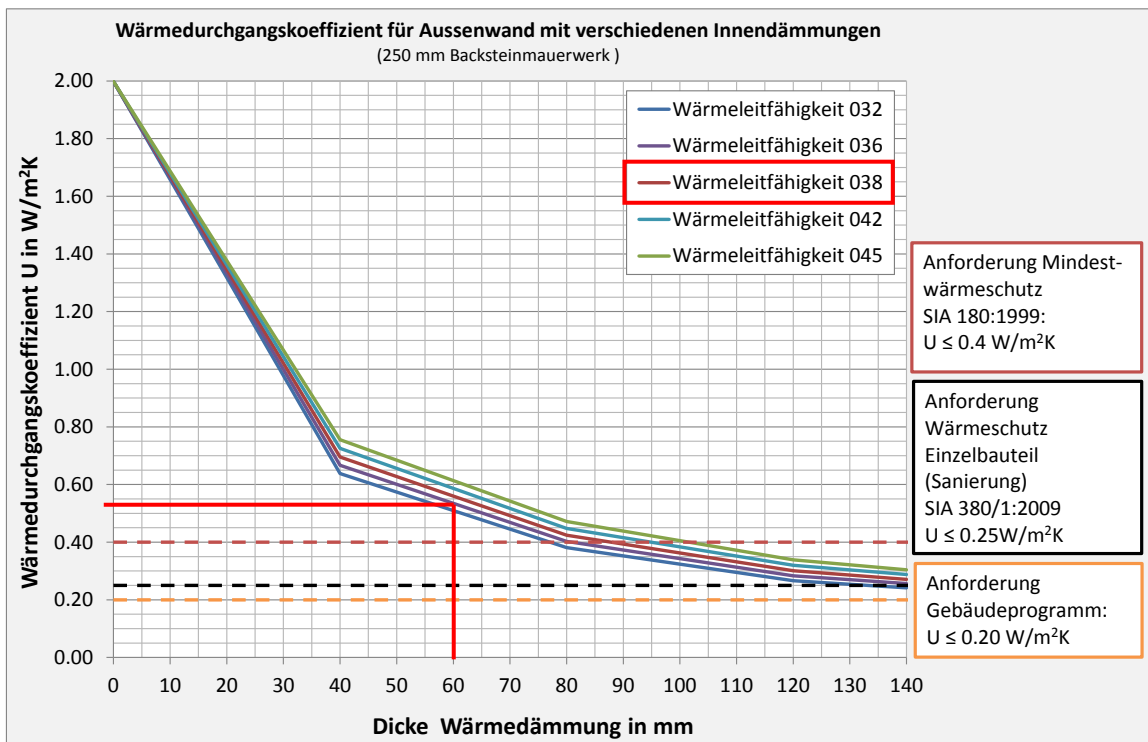
① Das Detail gehört der Wärmebrückengruppe Nr. 2 an und die Wärmebrücke ist unter der Bezeichnung 2.1-2-380/250 zu finden.

② Aus den Diagrammen im Wärmebrückenkatalog kann der erzielbare Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade abgelesen werden:

- Der Wärmedurchgangskoeffizient der 250 mm dicken Aussenwand mit 60 mm Wärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.038 \text{ W}/(\text{mK})$  beträgt  $U = 0.55 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ .

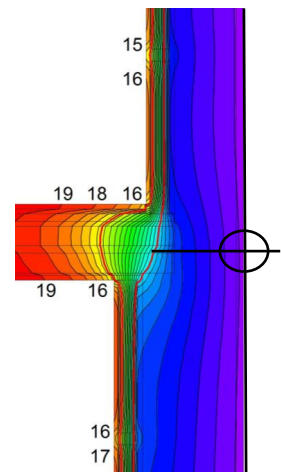
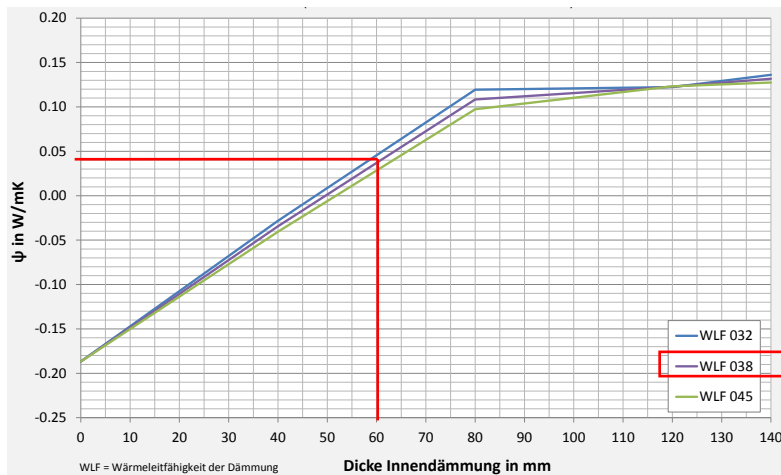


- Der Wärmedurchgangskoeffizient der 380 mm dicken Aussenwand mit 60 mm Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.038 \text{ W/mK}$  beträgt  $U = 0.53 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

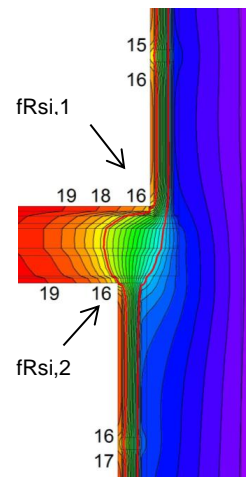
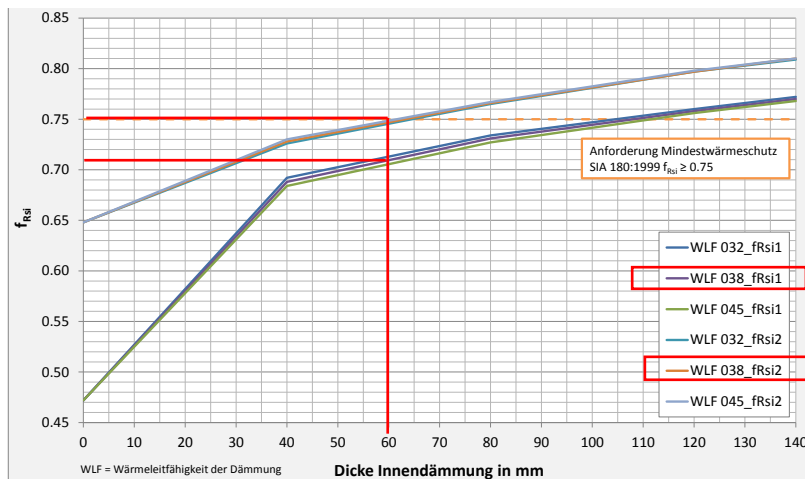


③ Aus den Diagrammen im Wärmebrückenkatalog kann der  $\Psi$ -Wert und  $f_{\text{Rsi}}$ -Wert abgelesen werden:

- Der  $\Psi$ -Wert beträgt  $0.04 \text{ W/mK}$



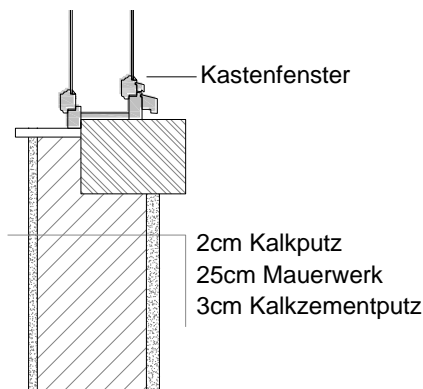
- Der  $f_{Rsi}$ -Wert an der Sockelleiste im oberen Geschoss beträgt 0.71, der  $f_{Rsi}$ -Wert an der oberen Raumecke im unteren Geschoss beträgt 0.75.



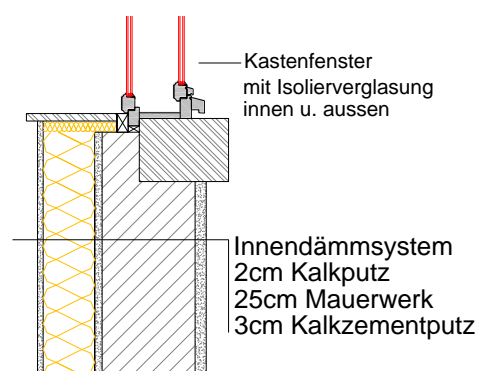
### Bsp.: Anschluss Fenster an der Brüstung

- Der Wärmedurchgangskoeffizient des Kastenfensters im Bestand beträgt  $U_w = 2.3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Der Wärmedurchgangskoeffizient der Aussenwand im Bestand beträgt  $U = 2.0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- An der Aussenwand soll eine Innenwärmedämmung mit 140 mm und einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.032 \text{ W/(mK)}$  angebracht werden. Zusätzlich soll die Einfachverglasung durch ein Isolierglas ersetzt werden.

Bestand:



Saniert:

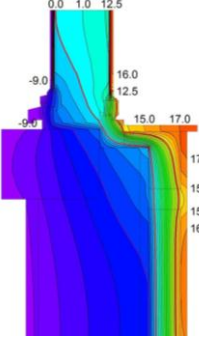
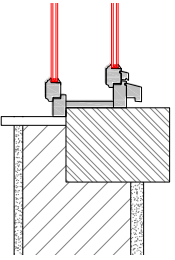
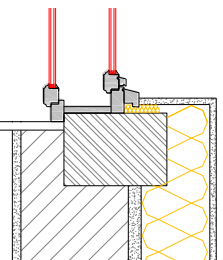
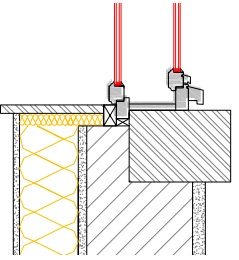


① Das Detail gehört der Wärmebrückengruppe Nr. 5 an und ist unter der Bezeichnung 5.2-7-250 zu finden.



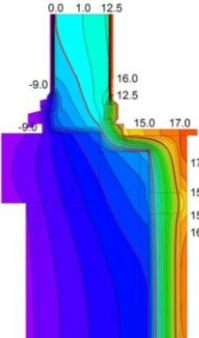
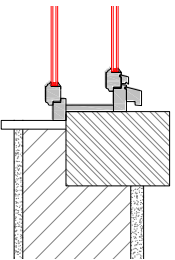
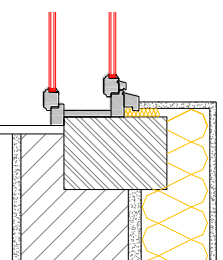
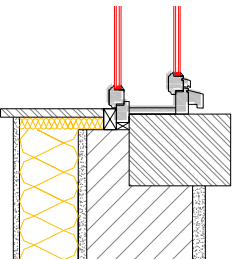
② Aus den Tabellen im Wärmbrückenkatalog kann der erzielbare Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade abgelesen werden:

- Der Wärmedurchgangskoeffizient der 250 mm dicken Aussenwand mit 140 mm Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.032 \text{ W/(mK)}$  beträgt  $U = 0.24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

	5.2-7-250 Brüstung (Kastenfenster Isolierverglasung innen aussen)			
	U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{\text{Rsi}}$ -Wert	Bemerkung
	in $\text{W/m}^2\text{K}$	in $\text{W/mK}$	[-]	
	2.00	-0.34	0.61	Bestand
	0.20	0.12	0.83	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.09	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.08	0.78	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
Bestand                      mit Aussendämmung                      mit Innendämmung				

③ Aus den Tabellen kann auch der  $\Psi$ -Wert und  $f_{\text{Rsi}}$ -Wert abgelesen werden:

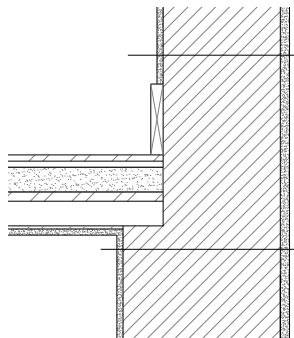
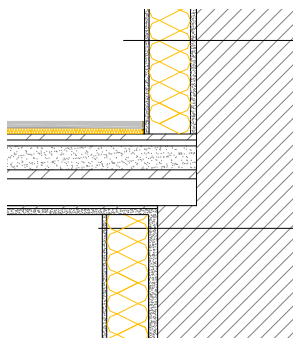
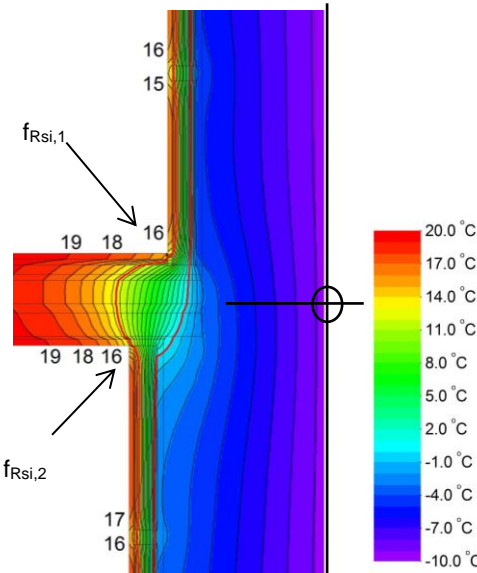
- Der  $\Psi$ -Wert der Einbausituation an der Brüstung beträgt  $0.09 \text{ W/mK}$
- Der  $f_{\text{Rsi}}$ -Wert am Übergang Fenster zu Wand beträgt  $0.80$ .

	5.2-7-250 Brüstung (Kastenfenster Isolierverglasung innen aussen)			
	U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{\text{Rsi}}$ -Wert	Bemerkung
	in $\text{W/m}^2\text{K}$	in $\text{W/mK}$	[-]	
	2.00	-0.34	0.61	Bestand
	0.20	0.12	0.83	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.09	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.08	0.78	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
Bestand                      mit Aussendämmung                      mit Innendämmung				

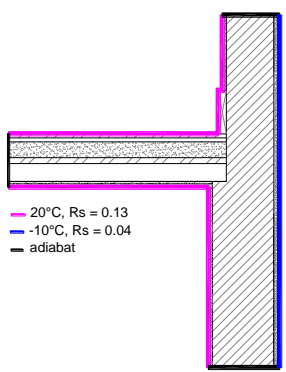
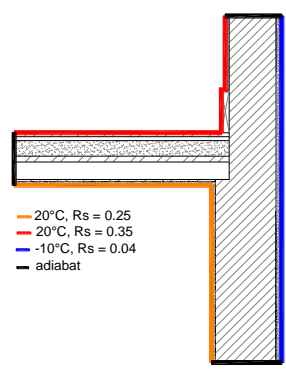
## 4.4 Details

### 2.1 Geschossdecke

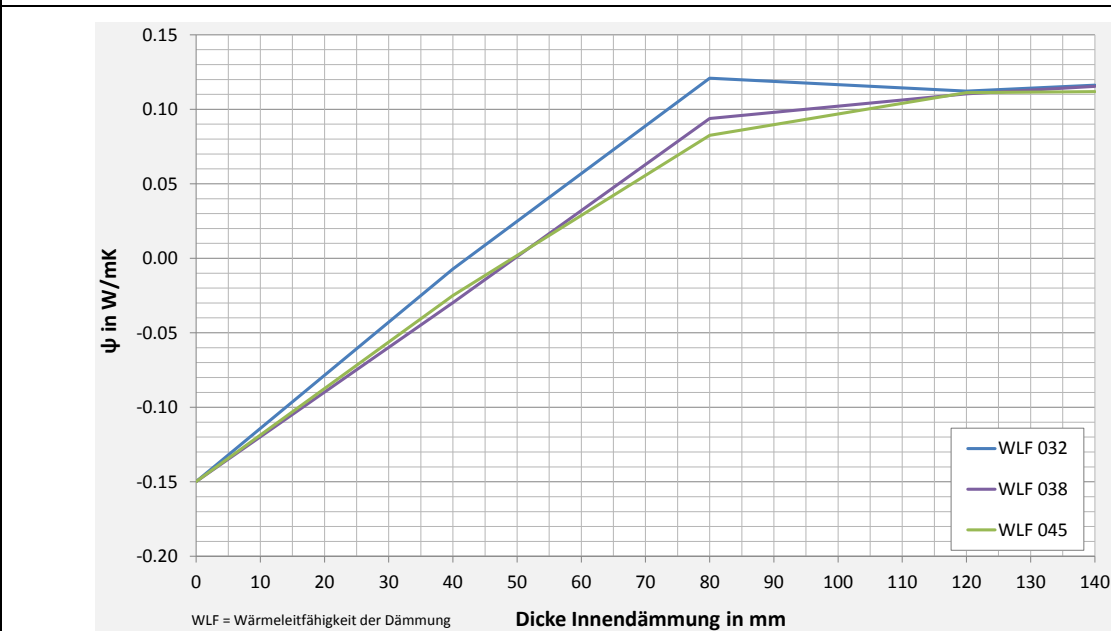
#### 2.1-1-510/380 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm bzw. 380 mm)

Bestehendes Bauteil					Saniertes Bauteil					
										
<b>Bemerkungen:</b> 1) Für das Detail Decke an Aussenwand wird ein mittlerer $\Psi$ -Wert aus zwei Berechnungen ermittelt (siehe Kap. 2.2.6). Für den $f_{Rsi}$ -Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen. 2) Gilt nur für nicht eingemauerte Holzbalkenköpfe 3) Decke: - Saniert: +2cm Gussasphalt und 2cm Trittschalldäm.										
<b>Aufbau von oben nach unten (Bestand):</b>										
3 cm	Holzboden									
21 cm	Holzbalken 15x21 cm, e = 53 cm									
2 cm	Luftraum									
8 cm	Schlacke									
3 cm	Schalung									
8 cm	Luftraum									
1 cm	Lattung									
2 cm	Kalkputz									
										
U-Werte Aussenwand 510 mm					U-Werte Aussenwand 380 mm					
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	
	032	038	045			032	038	045		
0	1.32			Bestand	0	1.59			Bestand	
40	0.54	0.59	0.63	40 mm ID	40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID	
80	0.34	0.38	0.42	80 mm ID	80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID	
120	0.25	0.28	0.31	120 mm ID	120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID	
140	0.23	0.25	0.28	140 mm ID	140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID	
Dicke	$\Psi$ -Werte in W/(m·K)			$f_{Rsi}$ -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	$\Psi_e$	$\Psi_e$	$\Psi_e$	032		038		045		
	032	038	045	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	
0	-0.15			0.55	0.70	0.55	0.70	0.55	0.70	Bestand
40	-0.15	-0.15	-0.15	0.71	0.75	0.71	0.75	0.71	0.75	40 mm ID
80	-0.01	-0.03	-0.02	0.75	0.78	0.75	0.78	0.74	0.78	80 mm ID
120	0.12	0.09	0.08	0.77	0.81	0.77	0.81	0.77	0.81	120 mm ID
140	0.11	0.11	0.11	0.78	0.82	0.78	0.82	0.78	0.82	140 mm ID

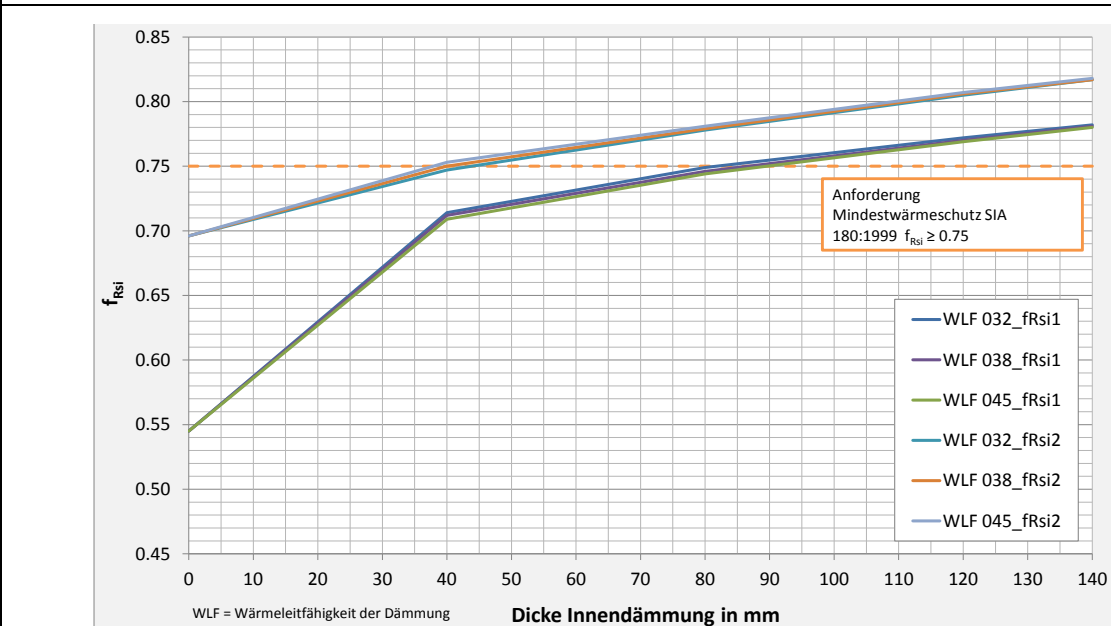
## 2.1-1-510/380 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm bzw. 380 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             20°C, <math>R_s = 0.13</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>	 <p>             20°C, <math>R_s = 0.25</math>              20°C, <math>R_s = 0.35</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>

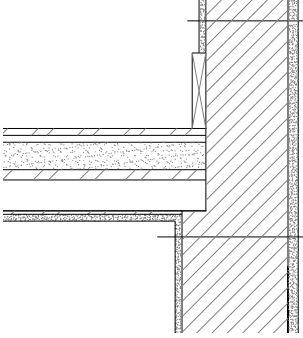
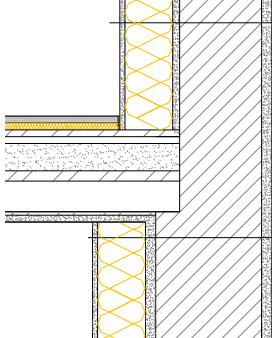
### $\Psi$ -Werte für Detail 2.1-1-510/380 Decke an Aussenwand



### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.1-1-510/380 Decke an Aussenwand



## 2.1-2-380/250 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm bzw. 250 mm)

Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>2cm Kalkputz 25cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p> <p>2cm Kalkputz 38cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p>	 <p>Innendämmsystem 2cm Kalkputz 25cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p> <p>Innendämmsystem 2cm Kalkputz 38cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p>

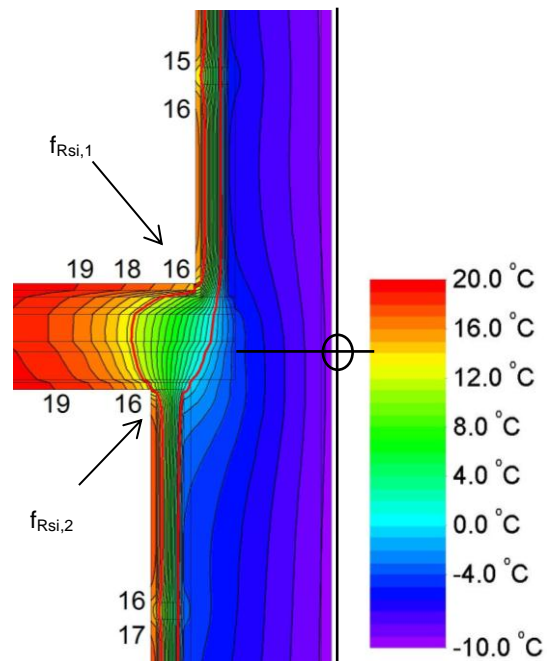
### Bemerkungen:

- 1) Für das Detail Decke an Aussenwand wird ein mittlerer  $\Psi$ -Wert aus zwei Berechnungen ermittelt (siehe Kap. 2.2.6). Für den  $f_{Rsi}$ -Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen.
- 2)  $\Psi$ -Werte mit Dämmung 038 sind Mittelwerte
- 3) Gilt nur für nicht eingemauerte Holzbalkenköpfe
- 4) Decke:

- Saniert: +2cm Gussasphalt und 2cm Trittschalldäm.

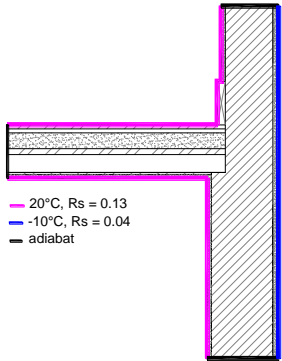
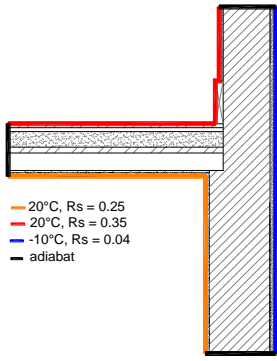
Aufbau von oben nach unten (Bestand):

3 cm	Holzboden
21 cm	Holzbalken 15x21 cm, e = 53 cm
dzw. 2 cm	Luftraum
8 cm	Schlacke
3 cm	Schalung
8 cm	Luftraum
1 cm	Lattung
2 cm	Kalkputz

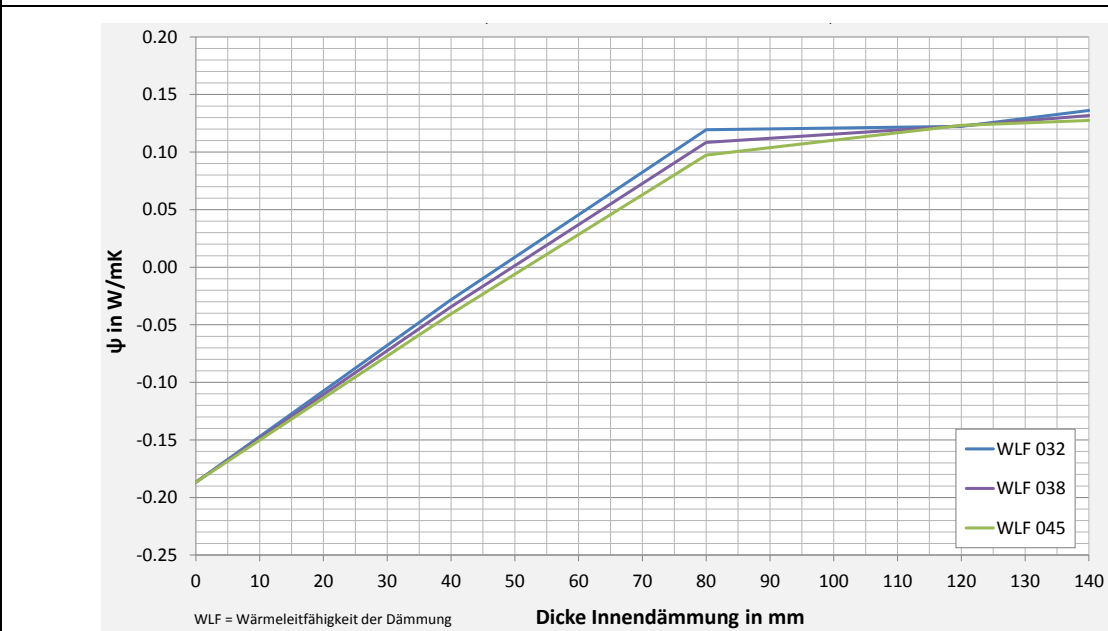


U-Werte Aussenwand 250 mm					U-Werte Aussenwand 380 mm					
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	
	032	038	045			032	038	045		
0	2.00			Bestand	0	1.59			Bestand	
40	0.64	0.70	0.76	40 mm ID	40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID	
80	0.38	0.42	0.47	80 mm ID	80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID	
120	0.27	0.30	0.34	120 mm ID	120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID	
140	0.24	0.27	0.30	140 mm ID	140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID	
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d	Ψe	Ψe	Ψe	032		038		045		
in mm	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	-0.19			0.47	0.65	0.47	0.65	0.47	0.65	Bestand
40	-0.03	-0.03	-0.04	0.69	0.73	0.68	0.73	0.68	0.73	40 mm ID
80	0.12	0.11	0.10	0.73	0.77	0.73	0.77	0.73	0.77	80 mm ID
120	0.12	0.12	0.12	0.76	0.80	0.76	0.80	0.76	0.80	120 mm ID
140	0.14	0.13	0.13	0.77	0.81	0.77	0.81	0.77	0.81	140 mm ID

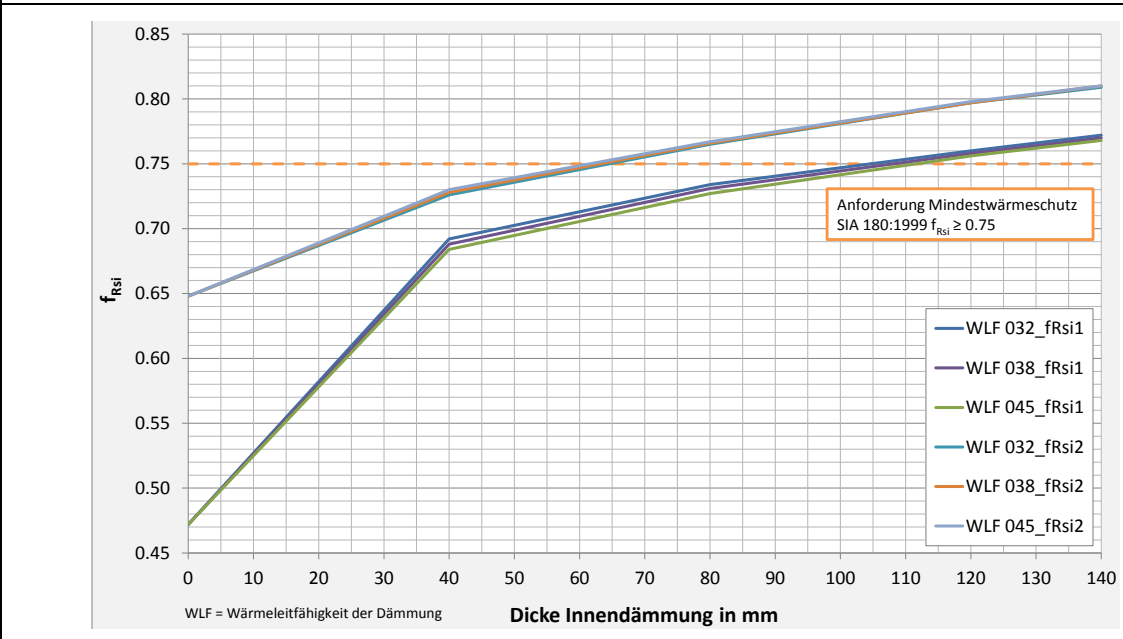
## 2.1-2-380/250 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm bzw. 250 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             20°C, <math>R_s = 0.13</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>	 <p>             20°C, <math>R_s = 0.25</math>              20°C, <math>R_s = 0.35</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>

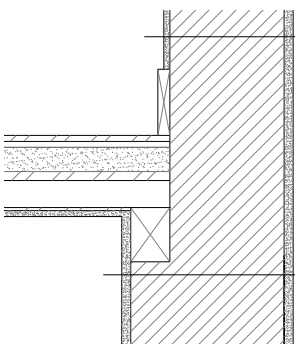
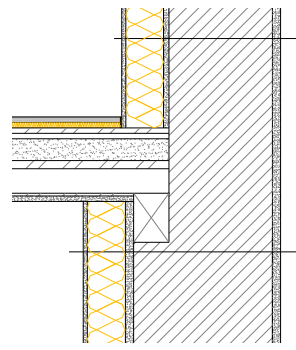
### $\Psi$ -Werte für Detail 2.1-2-380/250 Decke an Aussenwand



### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.1-2-380/250 Decke an Aussenwand



## 2.1-3-510/380 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm bzw. 380 mm)

Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>2cm Kalkputz 38cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p> <p>2cm Kalkputz 51cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p>	 <p>Innendämmsystem 2cm Kalkputz 38cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p> <p>Innendämmsystem 2cm Kalkputz 51cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p>

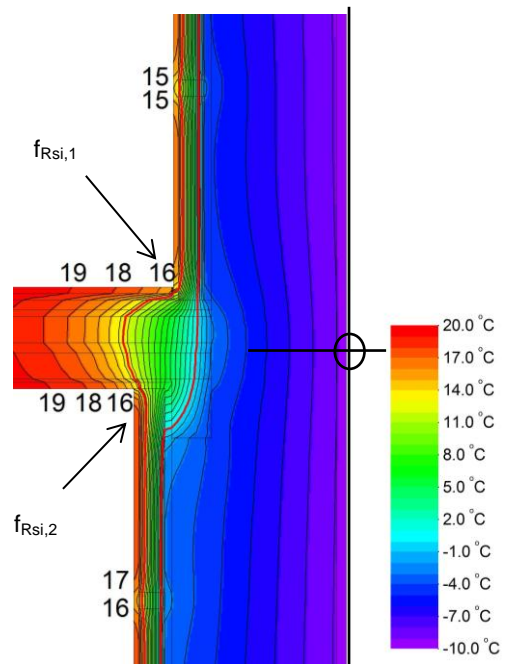
### Bemerkungen:

- 1) Für das Detail Decke an Aussenwand wird ein mittlerer  $\Psi$ -Wert aus zwei Berechnungen ermittelt (siehe Kap. 2.2.6). Für den  $f_{Rsi}$ -Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen.
- 2)  $\Psi$ -Werte mit Dämmung 038 sind Mittelwerte
- 3) Gilt nur für nicht eingemauerte Holzbalkenköpfe
- 4) Decke:

- Saniert: +2cm Gussasphalt und 2cm Trittschalldäm.

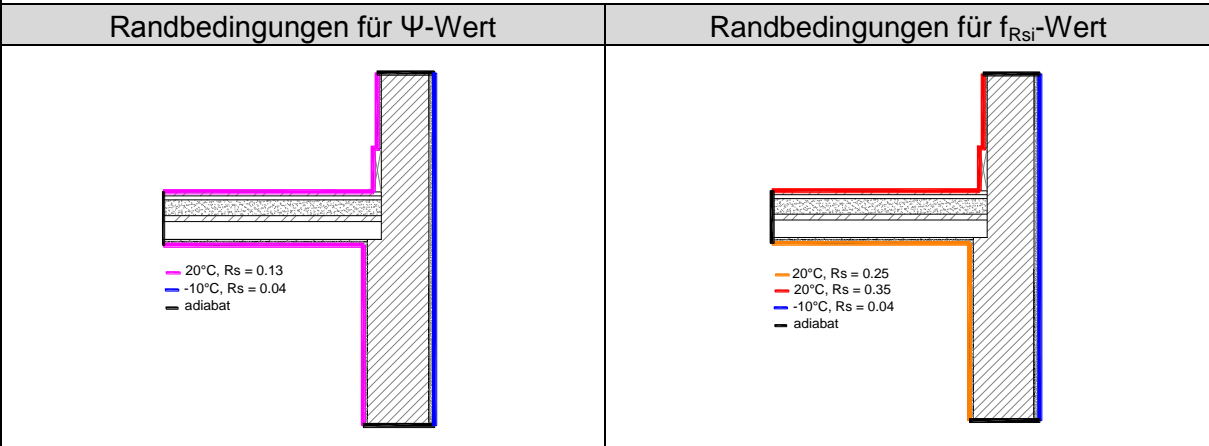
Aufbau von oben nach unten (Bestand):

3 cm	Holzboden
21 cm	Holzbalken 15x21 cm, e = 53 cm
2 cm	Luftraum
8 cm	Schlacke
3 cm	Schalung
8 cm	Luftraum
1 cm	Lattung
2 cm	Kalkputz

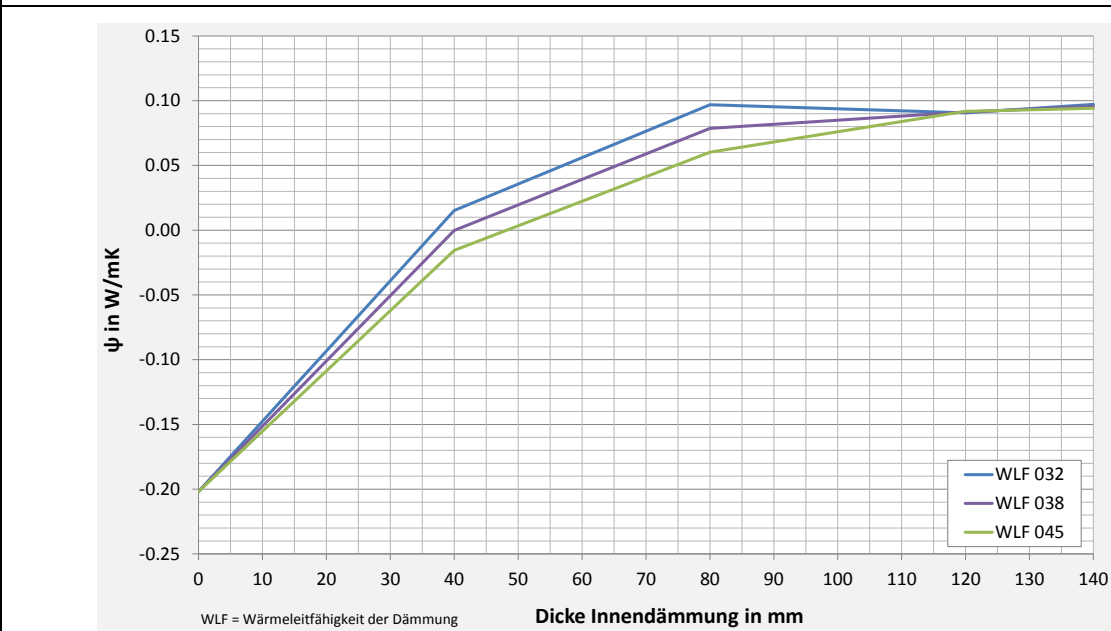


U-Werte Aussenwand 510 mm					U-Werte Aussenwand 380 mm					
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	
	032	038	045			032	038	045		
0	1.32			Bestand	0	1.59			Bestand	
40	0.54	0.59	0.63	40 mm ID	40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID	
80	0.34	0.38	0.42	80 mm ID	80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID	
120	0.25	0.28	0.31	120 mm ID	120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID	
140	0.23	0.25	0.28	140 mm ID	140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID	
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]					Bemerkung	
d	Ψe	Ψe	Ψe	032		038		045		
in mm	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	-0.20			0.67	0.69	0.67	0.69	0.67	0.69	Bestand
40	0.02	0.00	-0.02	0.72	0.80	0.71	0.80	0.71	0.80	40 mm ID
80	0.10	0.08	0.06	0.76	0.81	0.76	0.81	0.75	0.81	80 mm ID
120	0.09	0.09	0.09	0.78	0.83	0.78	0.83	0.78	0.83	120 mm ID
140	0.10	0.10	0.09	0.79	0.84	0.79	0.84	0.79	0.84	140 mm ID

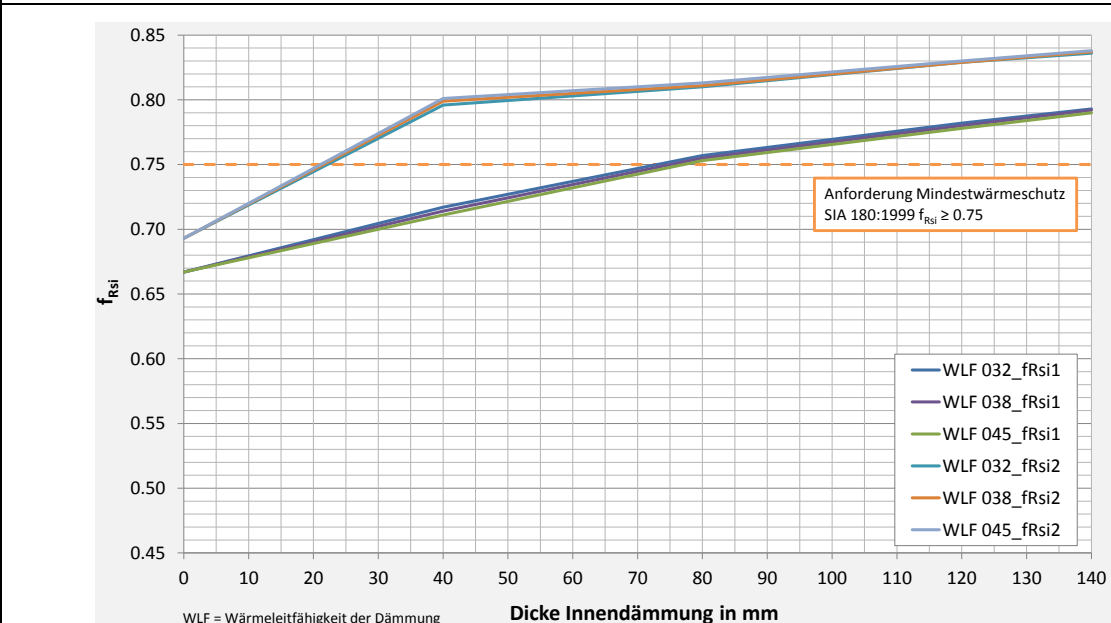
## 2.1-3-510/380 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm bzw. 380 mm)



### $\Psi$ -Werte für Detail 2.1-3-510/380 Decke an Aussenwand

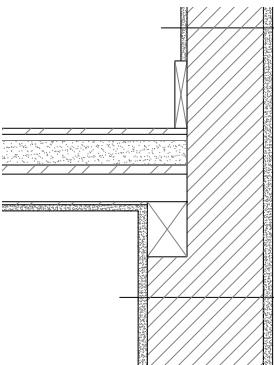
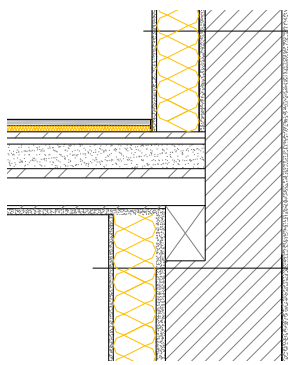


### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.1-3-510/380 Decke an Aussenwand





## 2.1-4-380/250 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm bzw. 250 mm)

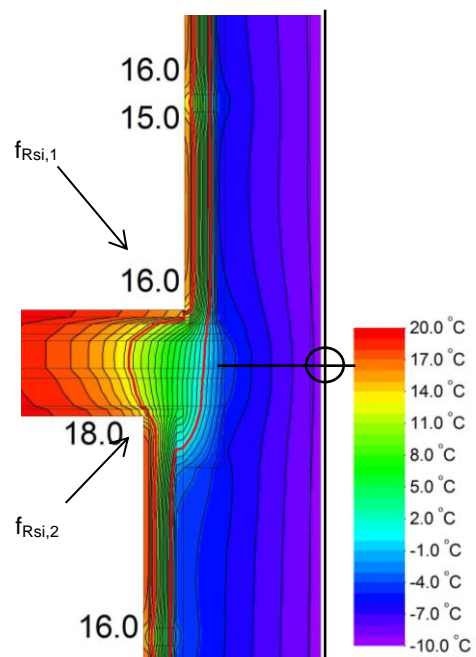
Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>2cm Kalkputz 25cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p> <p>2cm Kalkputz 38cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p>	 <p>Innendämmsystem 2cm Kalkputz 25cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p> <p>Innendämmsystem 2cm Kalkputz 38cm Mauerwerk 3cm Kalkzementputz</p>

### Bemerkungen:

- 1) Für das Detail Decke an Aussenwand wird ein mittlerer  $\Psi$ -Wert aus zwei Berechnungen ermittelt (siehe Kap. 2.2.6). Für den  $f_{Rsi}$ -Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen.
- 2)  $\Psi$ -Werte mit Dämmung 038 sind Mittelwerte
- 3) Gilt nur für nicht eingemauerte Holzbalkenköpfe
- 4) Decke:
  - Saniert: +2cm Gussasphalt und 2cm Trittschalldäm.

Aufbau von oben nach unten (Bestand):

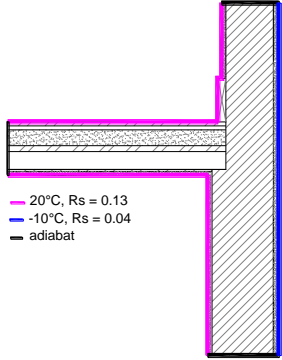
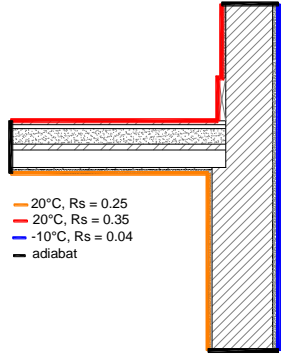
3 cm	Holzboden
21 cm dzw. 2 cm	Holzbalken 15x21 cm, e = 53 cm
8 cm	Luftraum
8 cm	Schlacke
3 cm	Schalung
8 cm	Luftraum
1 cm	Lattung
2 cm	Kalkputz



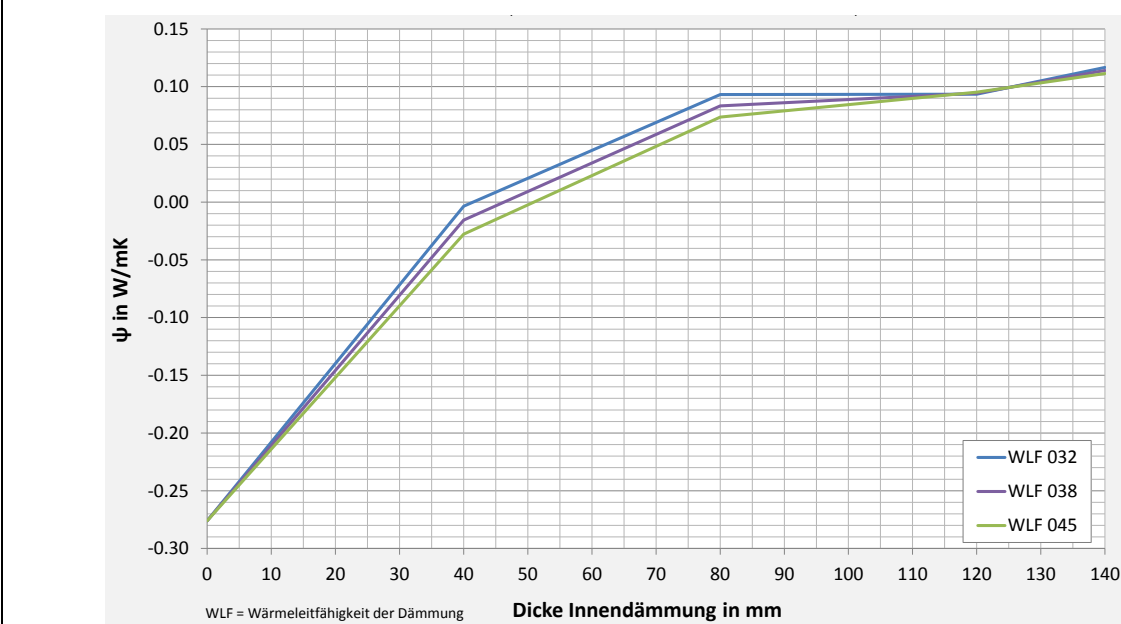
U-Werte Aussenwand 250 mm					U-Werte Aussenwand 380 mm					
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	
	032	038	045			032	038	045		
0	2.00			Bestand	0	1.59			Bestand	
40	0.64	0.70	0.76	40 mm ID	40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID	
80	0.38	0.42	0.47	80 mm ID	80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID	
120	0.27	0.30	0.34	120 mm ID	120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID	
140	0.24	0.27	0.30	140 mm ID	140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID	
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]					Bemerkung	
d in mm	Ψe	Ψe	Ψe	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	-0.28			0.62	0.80	0.62	0.80	0.62	0.80	Bestand
40	0.00	-0.02	-0.03	0.70	0.78	0.69	0.78	0.69	0.78	40 mm ID
80	0.09	0.08	0.07	0.74	0.80	0.74	0.80	0.74	0.80	80 mm ID
120	0.09	0.09	0.10	0.77	0.82	0.77	0.82	0.77	0.82	120 mm ID
140	0.12	0.11	0.11	0.78	0.83	0.78	0.83	0.78	0.83	140 mm ID



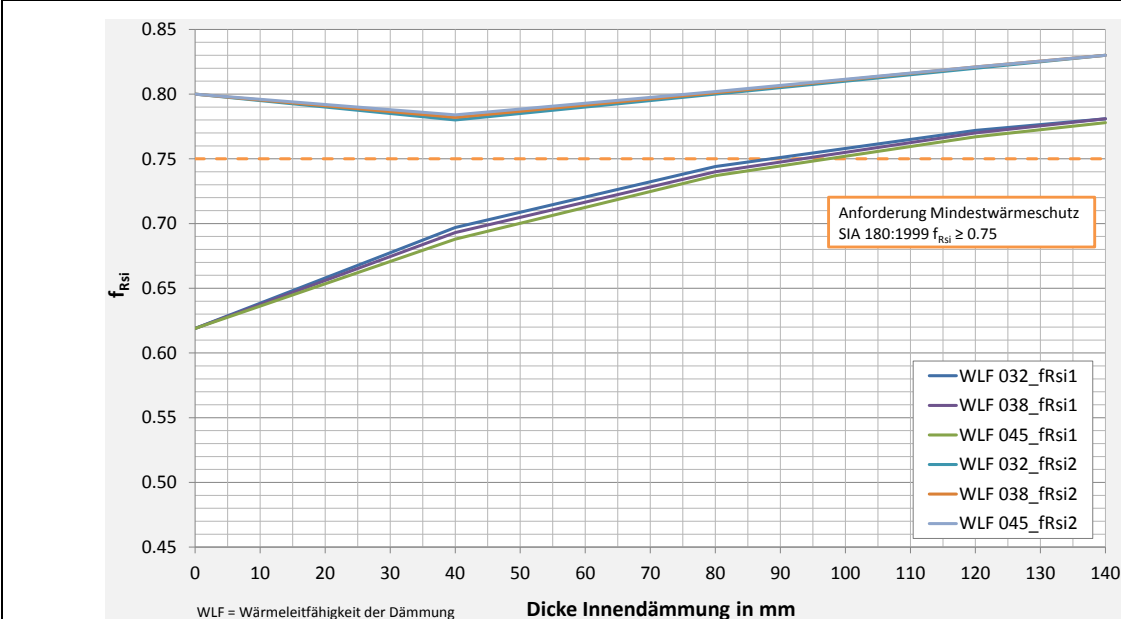
## 2.1-4-380/250 Decke an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm bzw. 250 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             — 20°C, <math>R_s = 0.13</math>              — -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabat         </p>	 <p>             — 20°C, <math>R_s = 0.25</math>              — 20°C, <math>R_s = 0.35</math>              — -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabat         </p>

### $\Psi$ -Werte für Detail 2.1-4-380/250 Decke an Aussenwand

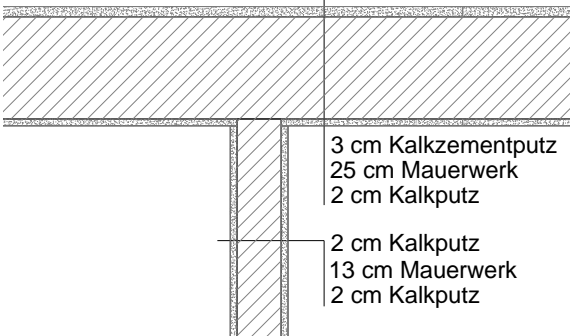
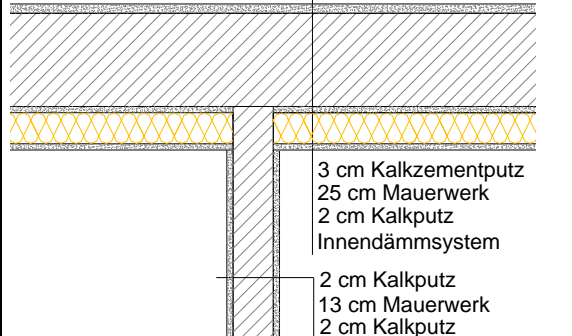
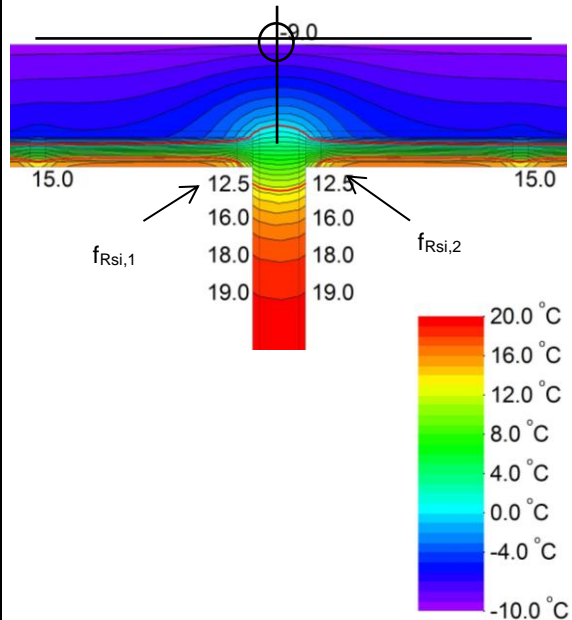


### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.1-4-380/250 Decke an Aussenwand

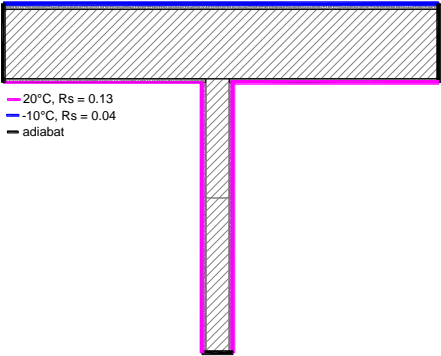
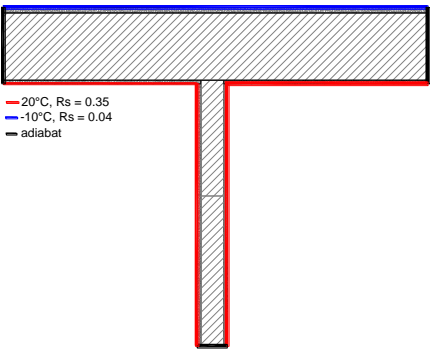


## 2.3 Innenwand an Aussenwand

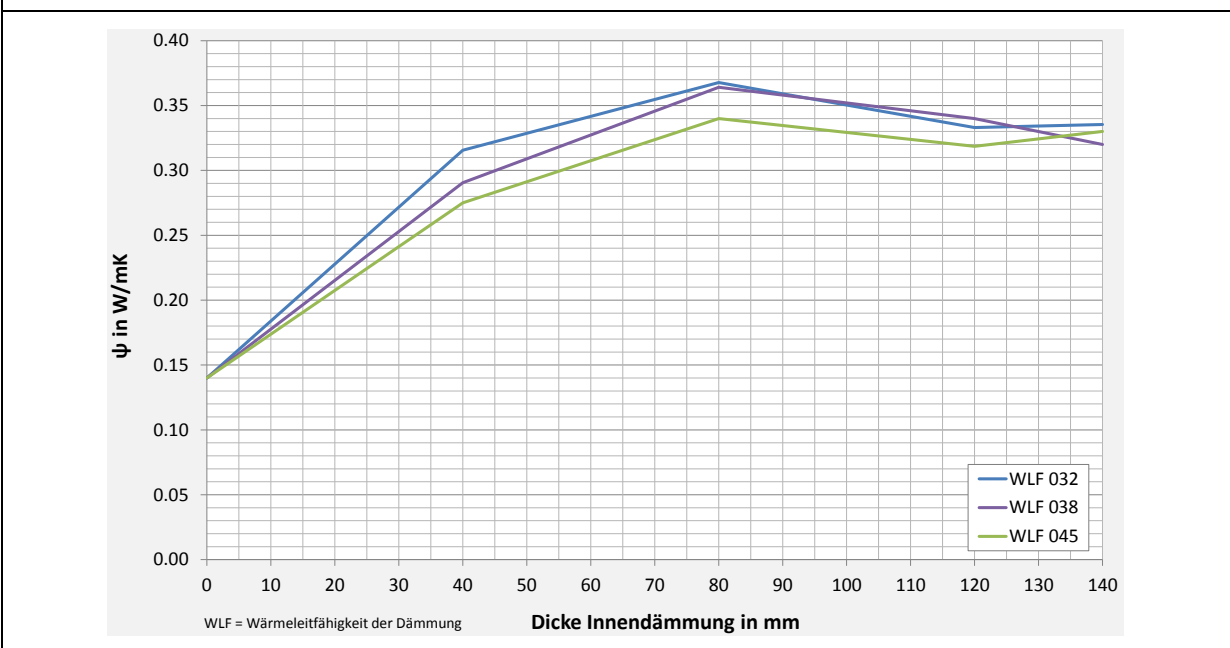
### 2.3-1-250 Innenwand an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)

Bestehendes Bauteil				Saniertes Bauteil						
										
<p><b>Bemerkungen:</b></p> <p>Für das Detail Innenwand an Aussenwand wird für den <math>f_{Rsi}</math>-Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand <math>R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}</math> gerechnet.</p>										
U-Werte Aussenwand 250 mm										
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung						
	032	038	045							
0	2.00			Bestand						
40	0.64	0.70	0.76	40 mm ID						
80	0.38	0.42	0.47	80 mm ID						
120	0.27	0.30	0.34	120 mm ID						
140	0.24	0.27	0.30	140 mm ID						
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	0.14			0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	Bestand
40	0.32	0.29	0.28	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	40 mm ID
80	0.37	0.36	0.34	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	80 mm ID
120	0.33	0.34	0.32	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	120 mm ID
140	0.34	0.32	0.33	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	140 mm ID

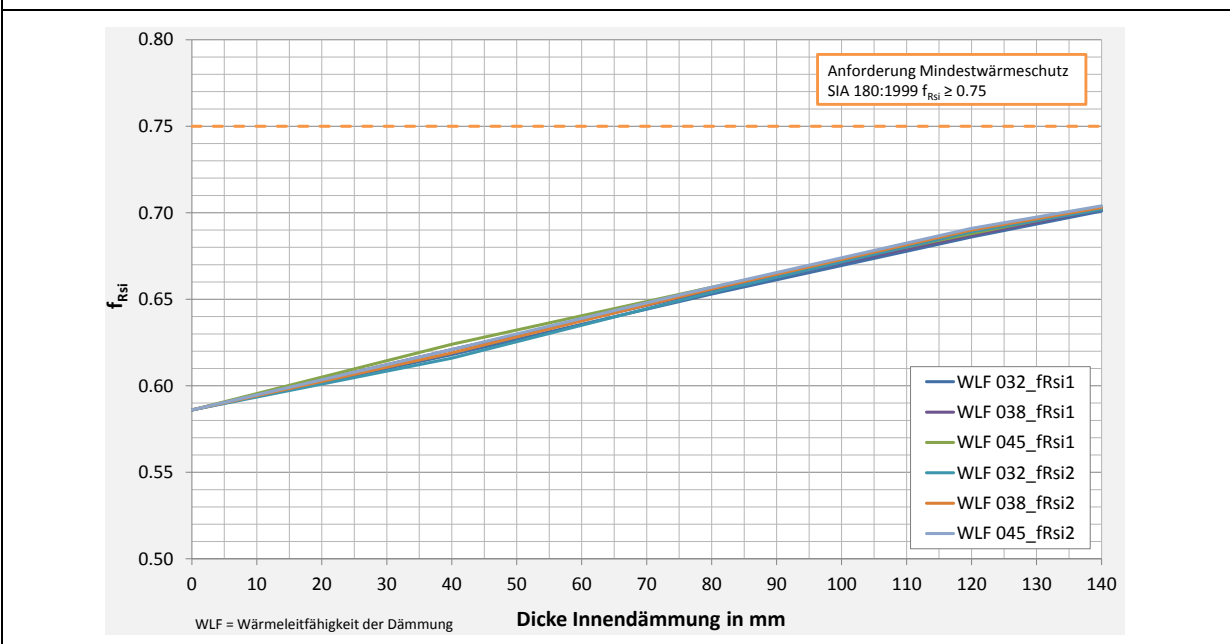
## 2.3-1-250 Innenwand an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             — 20°C, <math>R_s = 0.13</math>              — -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabat           </p>	 <p>             — 20°C, <math>R_s = 0.35</math>              — -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabat           </p>

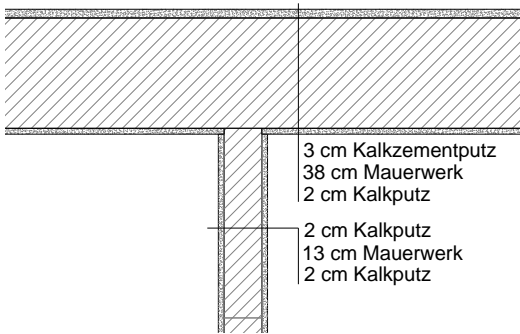
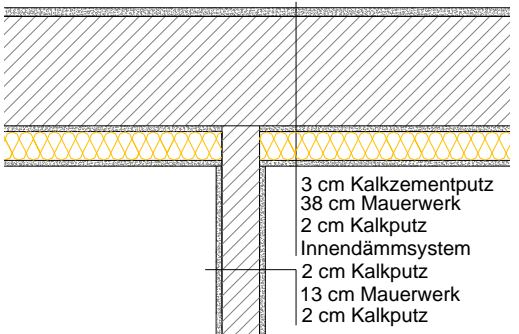
### $\Psi$ -Werte für Detail 2.3-1-250 Innenwand an Aussenwand



### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.3-1-250 Innenwand an Aussenwand

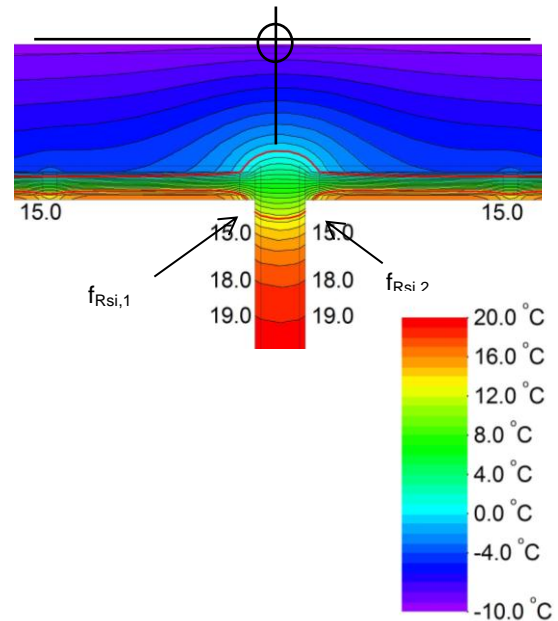


### 2.3-2-380 Innenwand an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm)

Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>3 cm Kalkzementputz 38 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p> <p>2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p>	 <p>3 cm Kalkzementputz 38 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz Innendämmsystem 2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p>

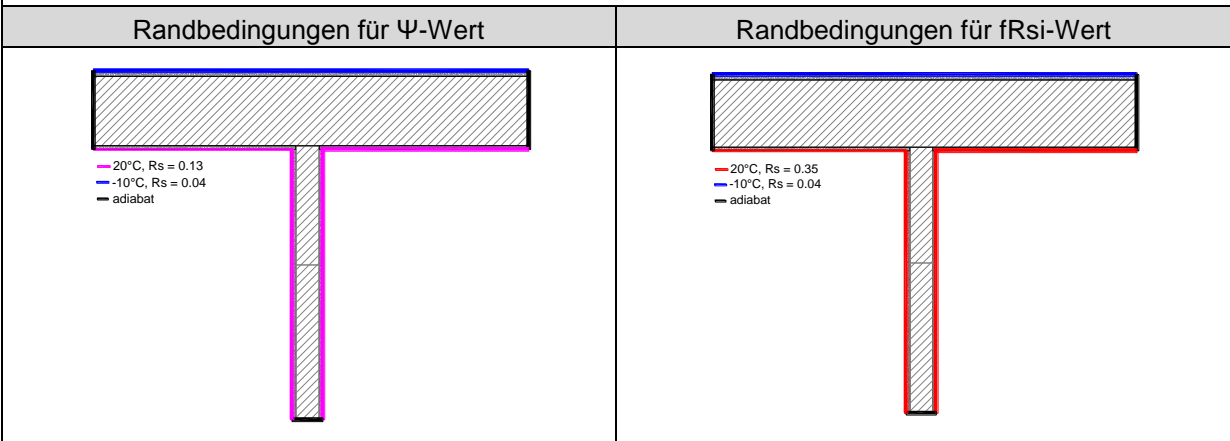
#### Bemerkungen:

Für das Detail Innenwand an Aussenwand wird für den  $f_{Rsi}$ -Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand  $R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$  gerechnet.

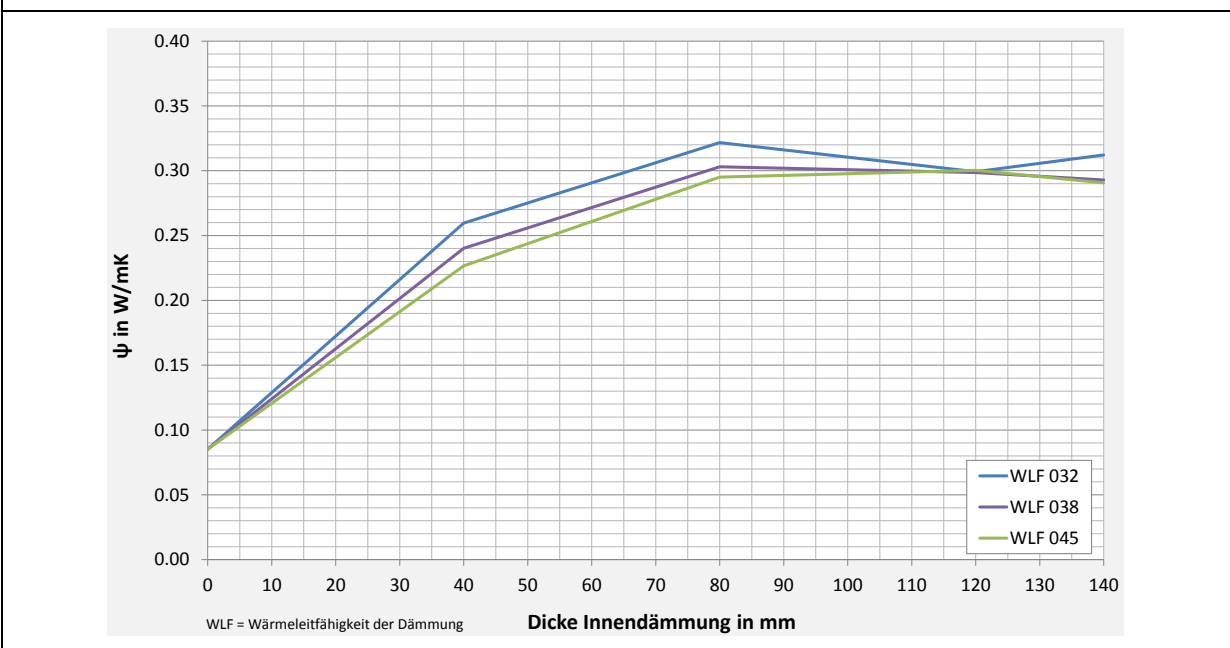


U-Werte Aussenwand 380 mm										
d in mm	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> ·K)			Bemerkung						
	032	038	045							
0	1.59			Bestand						
40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID						
80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID						
120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID						
140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID						
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	032		038		045		
in mm	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	0.09			0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	Bestand
40	0.26	0.24	0.23	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	40 mm ID
80	0.32	0.30	0.30	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	80 mm ID
120	0.30	0.30	0.30	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	120 mm ID
140	0.31	0.29	0.29	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	140 mm ID

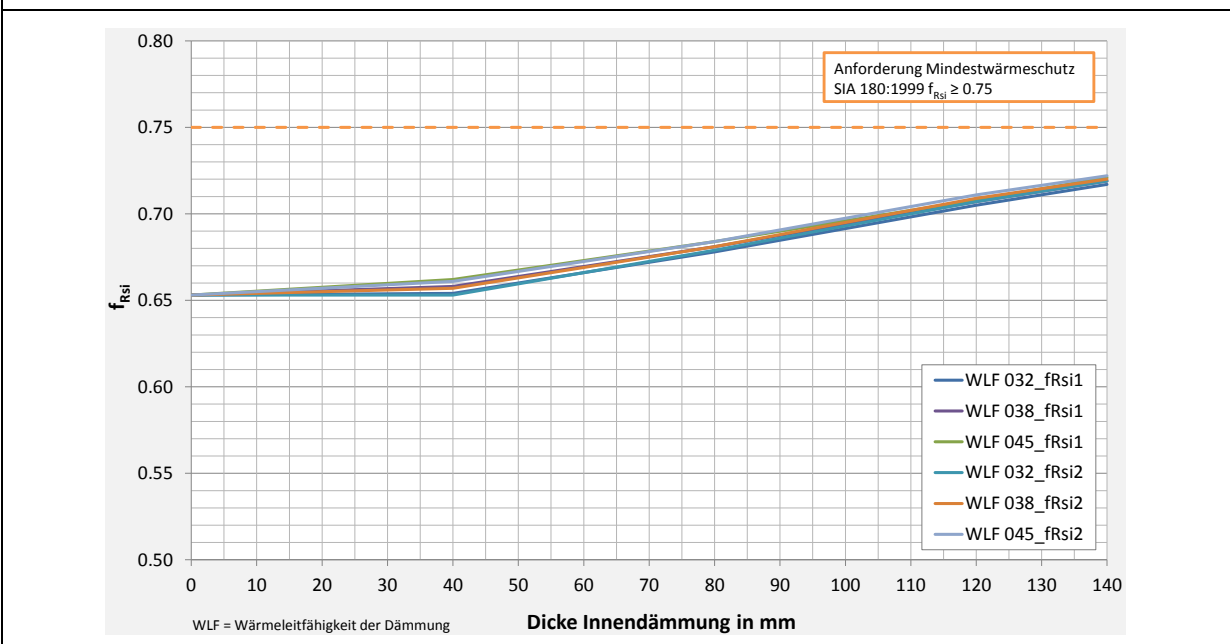
## 2.3-2-380 Innenwand an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm)



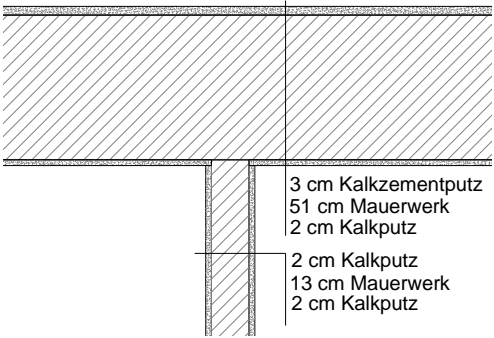
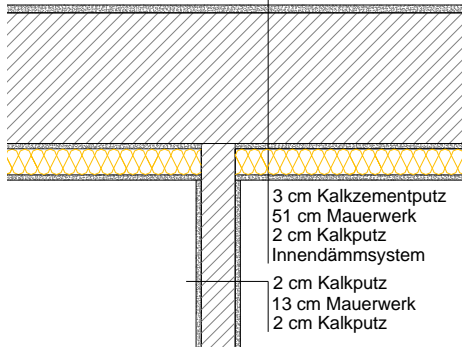
### $\Psi$ -Werte für Detail 2.3-2-380 Innenwand an Aussenwand



### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.3-2-380 Innenwand an Aussenwand



### 2.3-3-510 Innenwand an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)

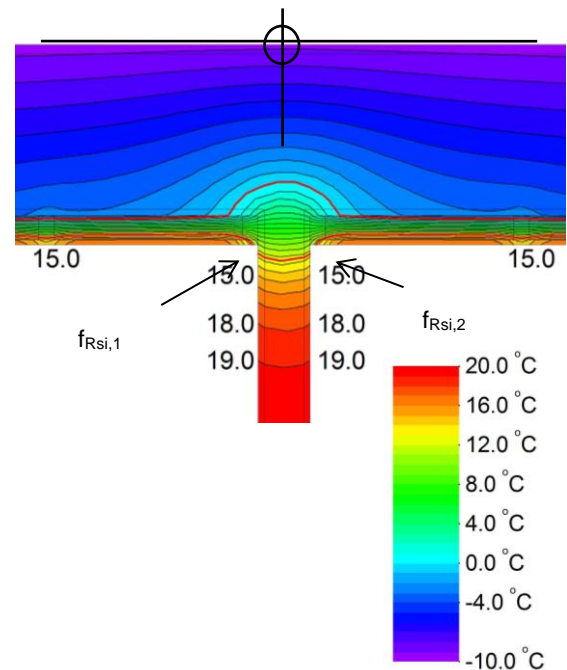
Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>3 cm Kalkzementputz 51 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p> <p>2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p>	 <p>3 cm Kalkzementputz 51 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz Innendämmsystem 2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p>

#### Bemerkungen:

Für das Detail Innenwand an Aussenwand wird für den  $f_{Rsi}$ -Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand

$f_{Rsi}$ -Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand

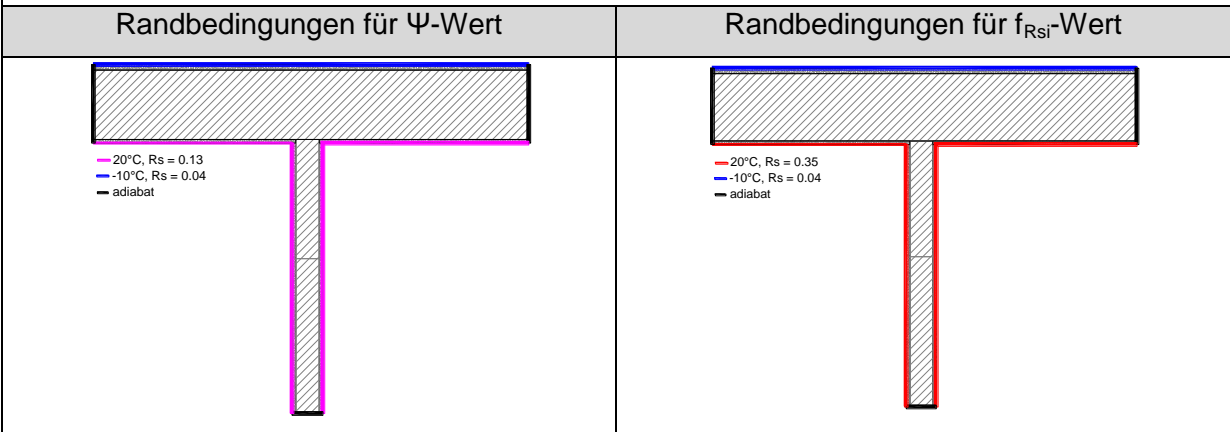
$R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$  gerechnet.



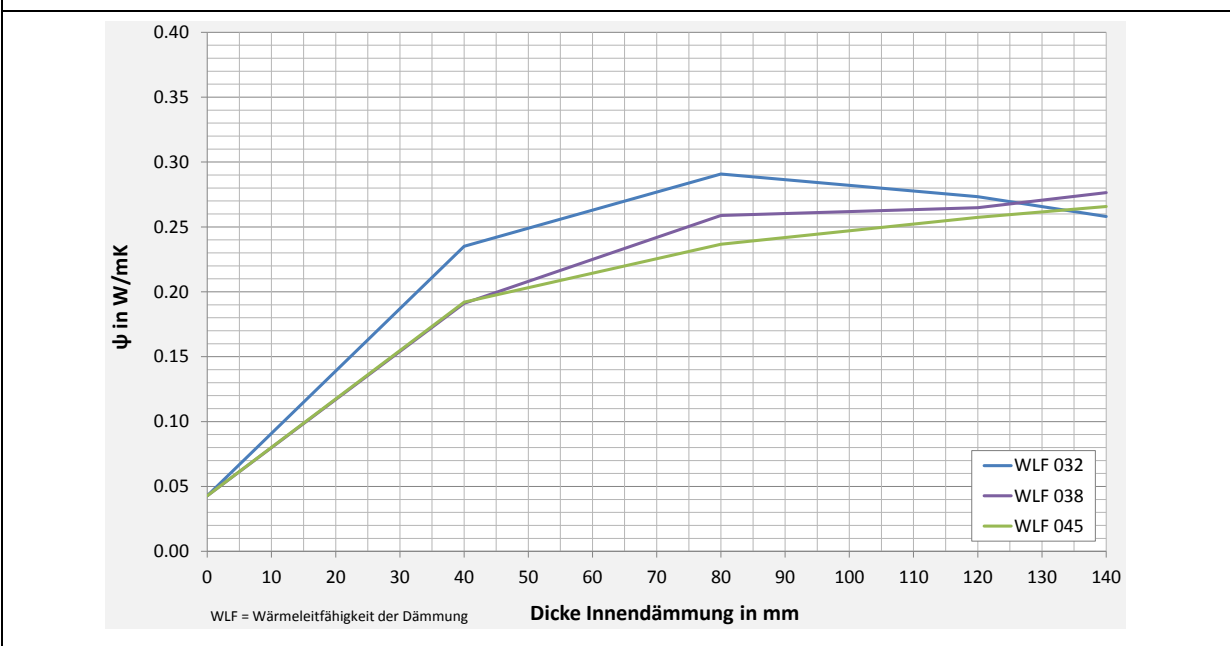
#### U-Werte Aussenwand 510 mm

d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung						
	032	038	045							
0	1.32			Bestand						
40	0.54	0.59	0.63	40 mm ID						
80	0.34	0.38	0.42	80 mm ID						
120	0.25	0.28	0.31	120 mm ID						
140	0.23	0.25	0.28	140 mm ID						
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	0.04			0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	Bestand
40	0.24	0.19	0.19	0.68	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	40 mm ID
80	0.29	0.26	0.24	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	80 mm ID
120	0.27	0.26	0.26	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	120 mm ID
140	0.26	0.28	0.27	0.73	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	140 mm ID

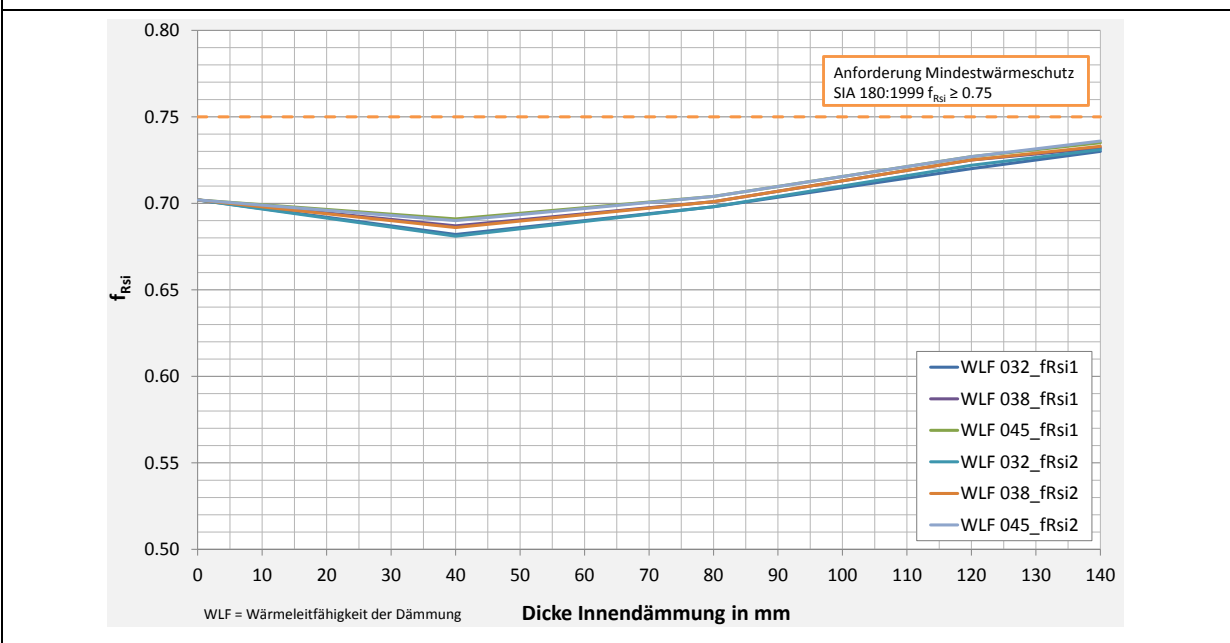
### 2.3-3-510 Innenwand an Aussenwand (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)



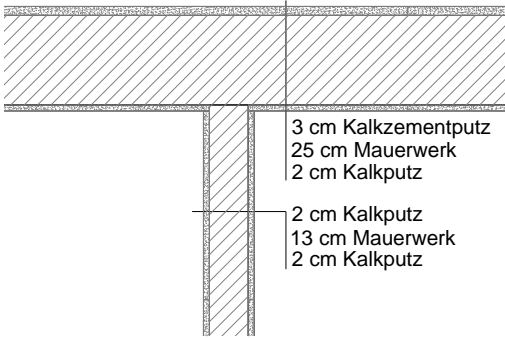
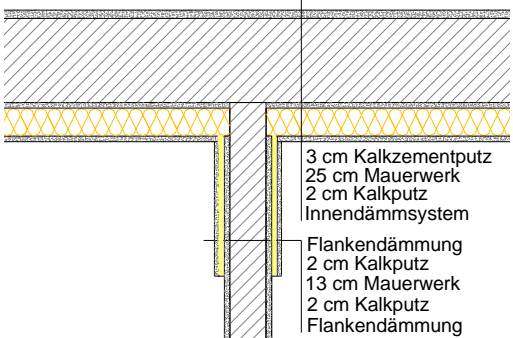
#### $\Psi$ -Werte für Detail 2.3-3-510 Innenwand an Aussenwand



#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.3-3-510 Innenwand an Aussenwand



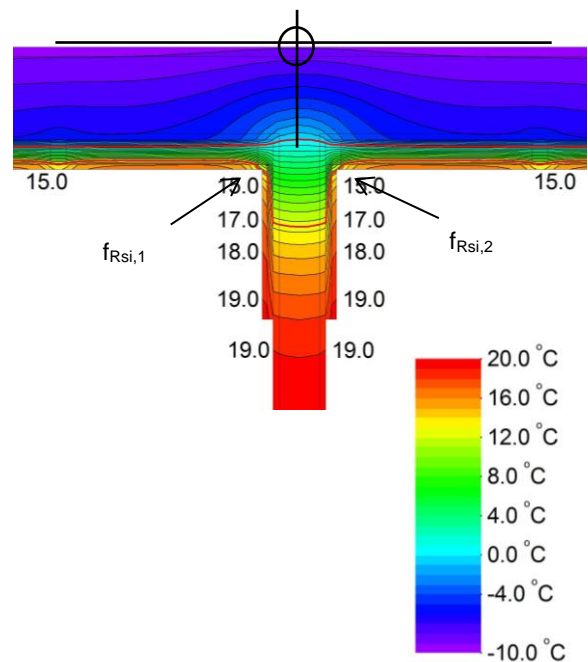
**2.3-4-250 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung  
(Aussenwand Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)**

Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>3 cm Kalkzementputz 25 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p> <p>2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p>	 <p>3 cm Kalkzementputz 25 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz Innendämmsystem</p> <p>Flankendämmung 2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz Flankendämmung</p>

**Bemerkungen:**

- Für das Detail Innenwand an Aussenwand wird für den  $f_{Rsi}$ -Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand  $R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$  gerechnet.

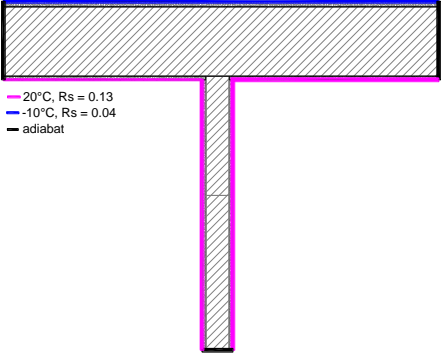
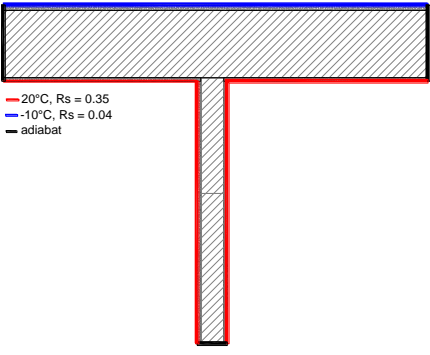
- Für die Flankendämmung beim Detail Innenwand an Aussenwand wird eine 2 cm dicke und 50 cm lange Flankendämmung gewählt. Die Wärmeleitfähigkeit entspricht der Dämmung der Aussenwand. Als Bekleidung wird eine Gipsfaserplatte verwendet.



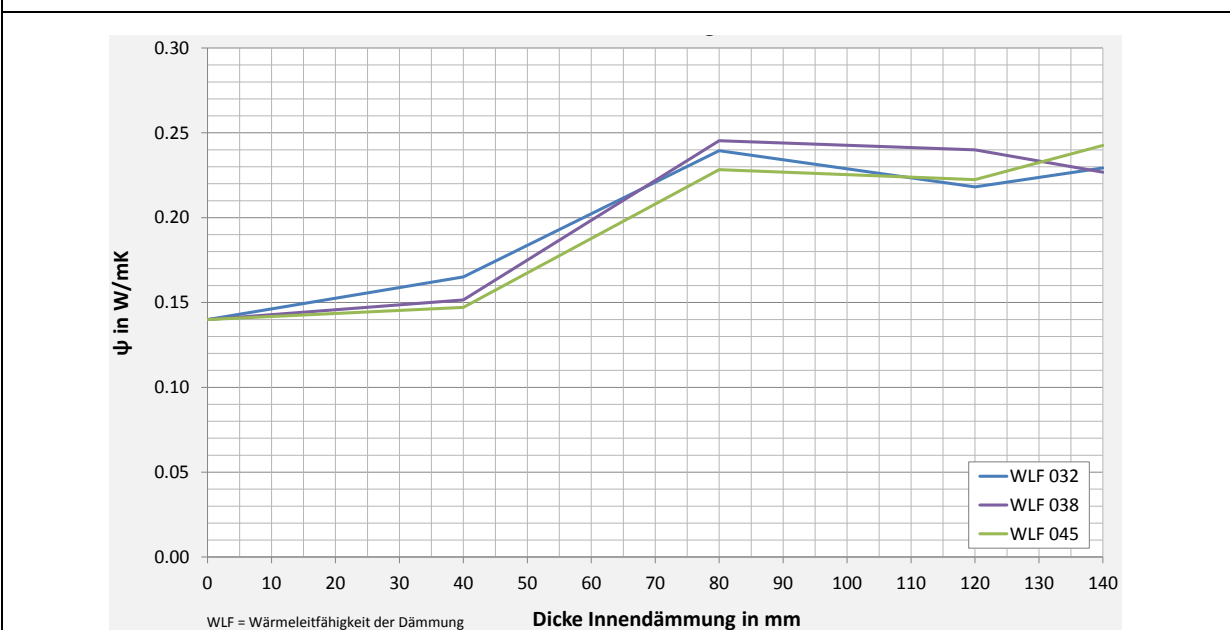
U-Werte Aussenwand 250 mm															
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung											
	032	038	045												
0	2.00			Bestand											
40	0.64	0.70	0.76	40 mm ID											
80	0.38	0.42	0.47	80 mm ID											
120	0.27	0.30	0.34	120 mm ID											
140	0.24	0.27	0.30	140 mm ID											
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung					
d in mm	Ψe	Ψe	Ψe	032		038		045							
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>						
0	0.14			0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	Bestand					
40	0.17	0.15	0.15	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	40 mm ID					
80	0.24	0.25	0.23	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	80 mm ID					
120	0.22	0.24	0.22	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	120 mm ID					
140	0.23	0.23	0.24	0.83	0.83	0.82	0.82	0.80	0.80	140 mm ID					



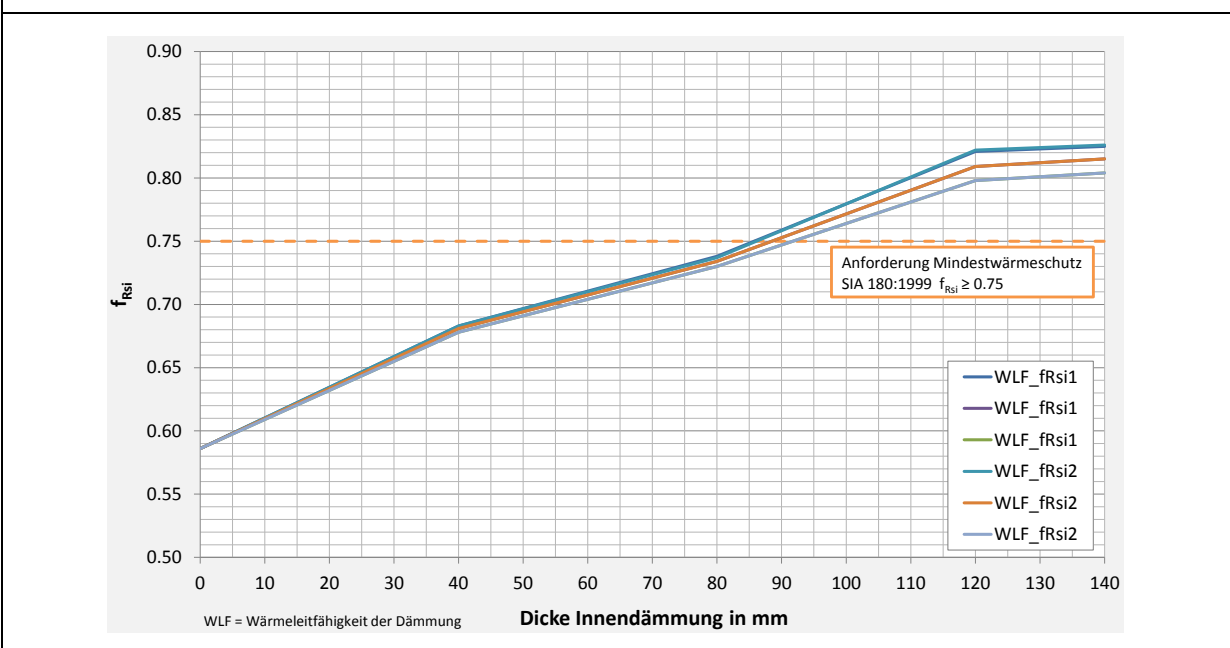
### 2.3-4-250 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             20°C, <math>R_s = 0.13</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>	 <p>             20°C, <math>R_s = 0.35</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>

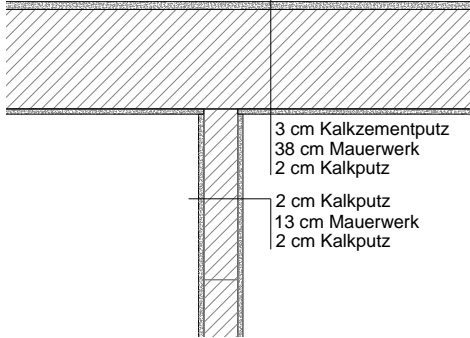
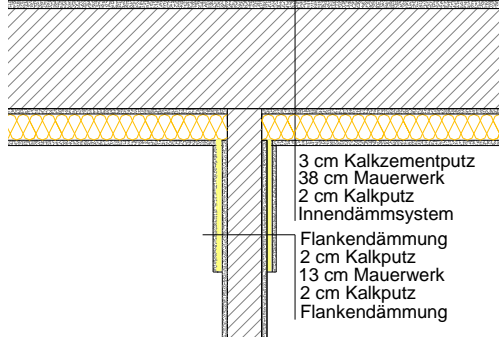
### $\Psi$ -Werte für Detail 2.3-4-250 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung



### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.3-4-250 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung



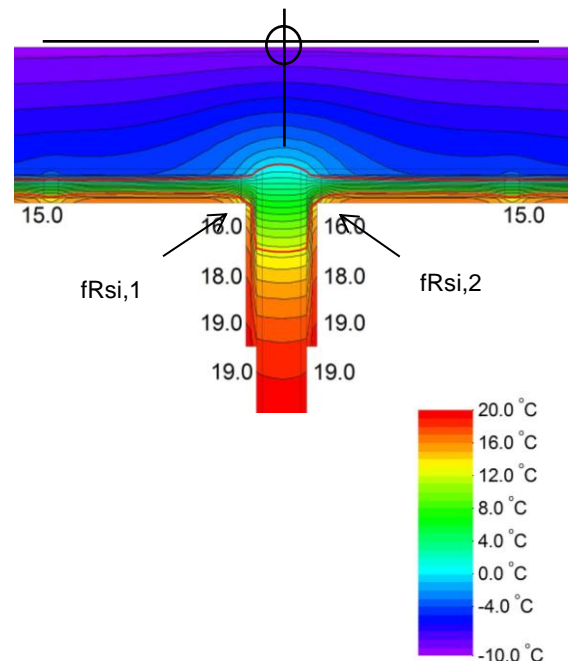
### 2.3-5-380 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung (Aussenwand Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm)

Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>3 cm Kalkzementputz 38 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p> <p>2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz</p>	 <p>3 cm Kalkzementputz 38 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz Innendämmsystem</p> <p>Flankendämmung 2 cm Kalkputz 13 cm Mauerwerk 2 cm Kalkputz Flankendämmung</p>

#### Bemerkungen:

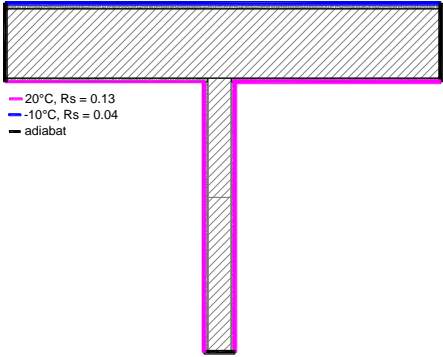
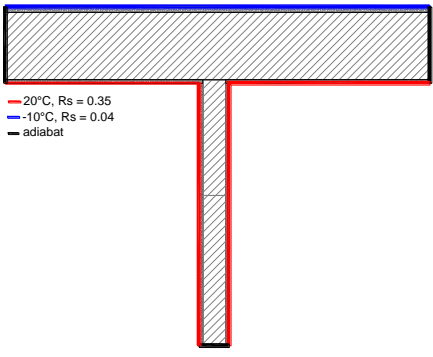
- Für das Detail Innenwand an Aussenwand wird für den  $f_{Rsi}$ -Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand  $R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$  gerechnet.

- Für die Flankendämmung beim Detail Innenwand an Aussenwand wird eine 2 cm dicke und 50 cm lange Flankendämmung gewählt. Die Wärmeleitfähigkeit entspricht der Dämmung der Aussenwand. Als Bekleidung wird eine Gipsfaserplatte verwendet.

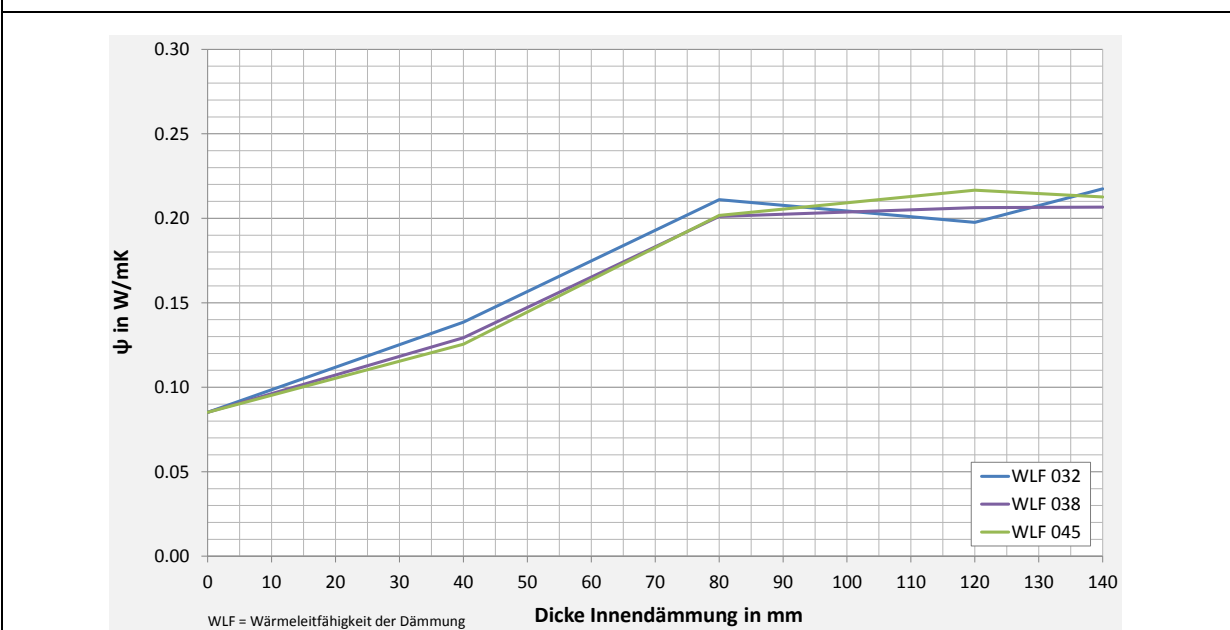


U-Werte Aussenwand 380 mm										
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung						
	032	038	045							
0	1.59			Bestand						
40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID						
80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID						
120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID						
140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID						
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	Ψe	Ψe	Ψe	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	0.09			0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	Bestand
40	0.14	0.13	0.13	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	40 mm ID
80	0.21	0.20	0.20	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	80 mm ID
120	0.20	0.21	0.22	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	120 mm ID
140	0.22	0.21	0.21	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	140 mm ID

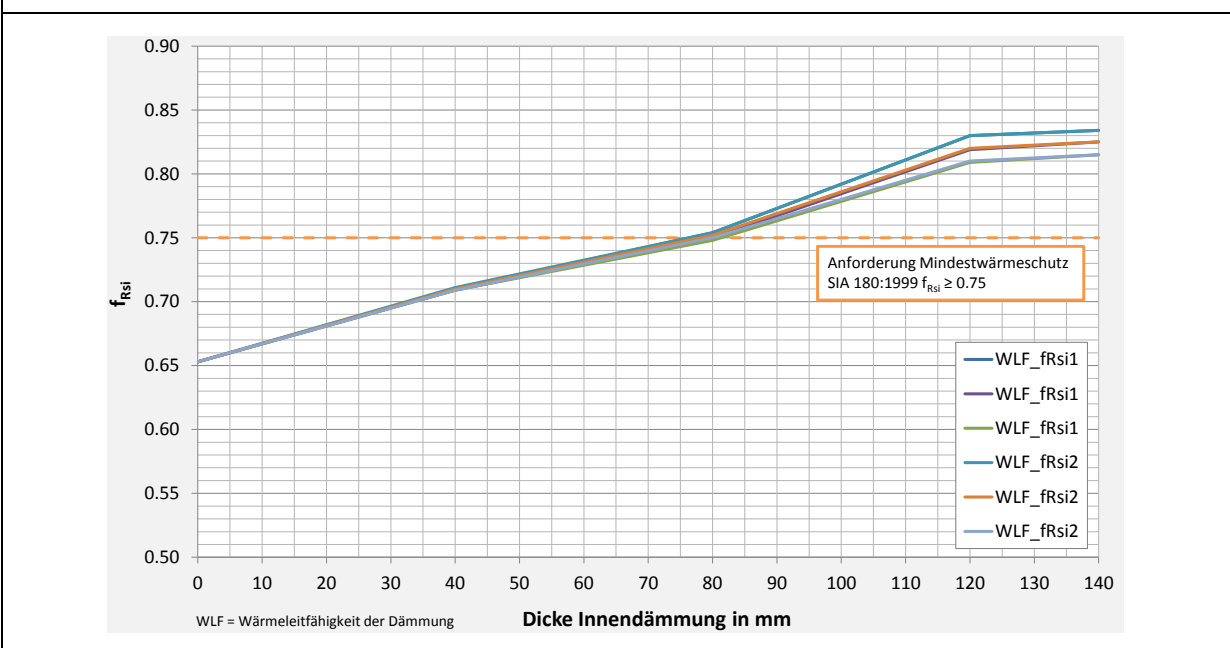
### 2.3-5-380 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             20°C, <math>R_s = 0.13</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>	 <p>             20°C, <math>R_s = 0.35</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch         </p>

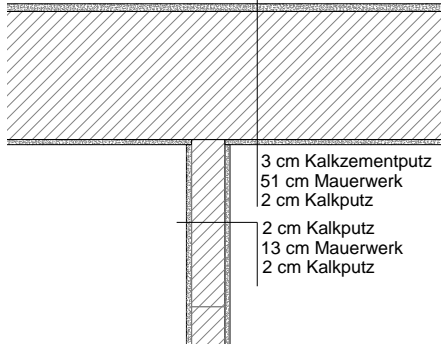
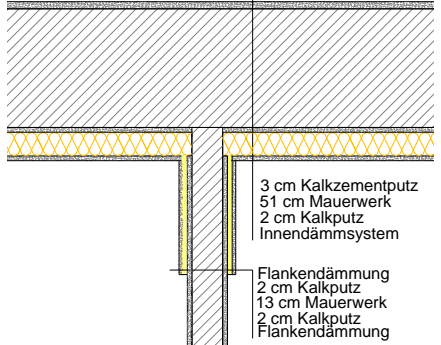
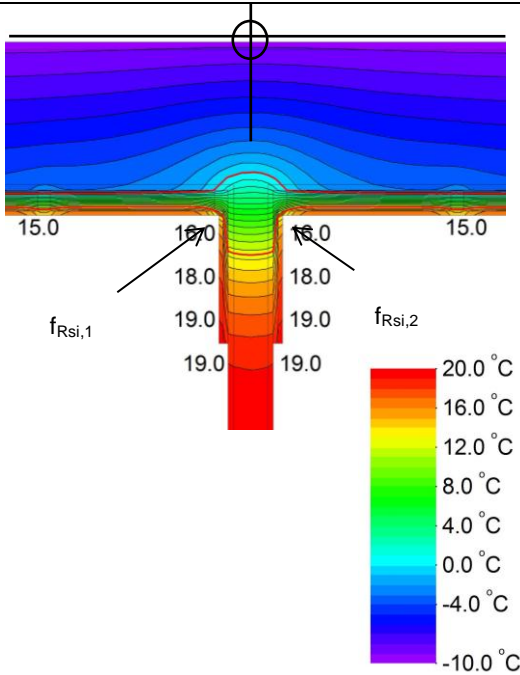
#### $\Psi$ -Werte für Detail 2.3-5-380 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung



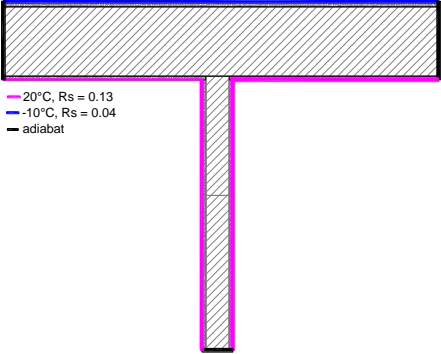
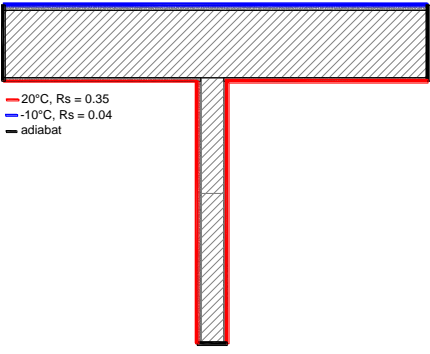
#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.3-5-380 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung



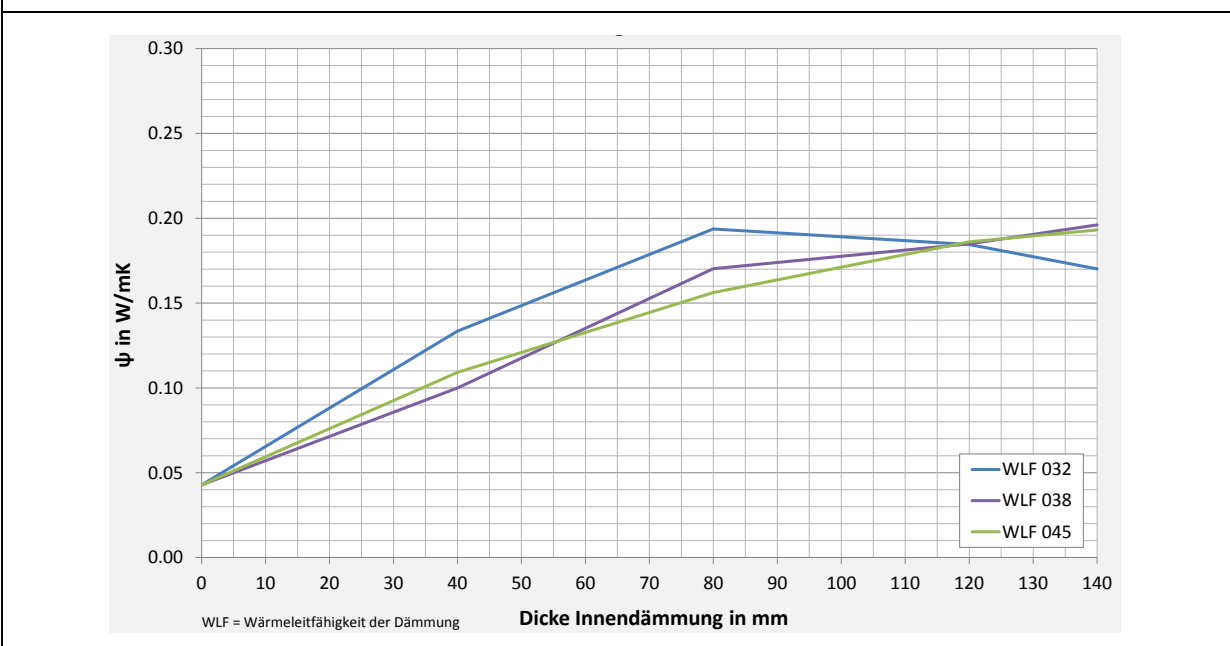
### 2.3-6-510 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung (Aussenwand Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)

Bestehendes Bauteil				Saniertes Bauteil						
										
<p><b>Bemerkungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Für das Detail Innenwand an Aussenwand wird für den <math>f_{Rsi}</math>-Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand <math>R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}</math> gerechnet.</li><li>- Für die Flankendämmung beim Detail Innenwand an Aussenwand wird eine 2 cm dicke und 50 cm lange Flankendämmung gewählt. Die Wärmeleitfähigkeit entspricht der Dämmung der Aussenwand. Als Bekleidung wird eine Gipsfaserplatte verwendet.</li></ul>										
U-Werte Aussenwand 510 mm										
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)							Bemerkung		
	032	038	045							
0	1.32							Bestand		
40	0.54	0.59	0.63					40 mm ID		
80	0.34	0.38	0.42					80 mm ID		
120	0.25	0.28	0.31					120 mm ID		
140	0.23	0.25	0.28					140 mm ID		
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	0.04			0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	Bestand
40	0.13	0.10	0.11	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	40 mm ID
80	0.19	0.17	0.16	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	80 mm ID
120	0.18	0.18	0.19	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	120 mm ID
140	0.17	0.20	0.19	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	140 mm ID

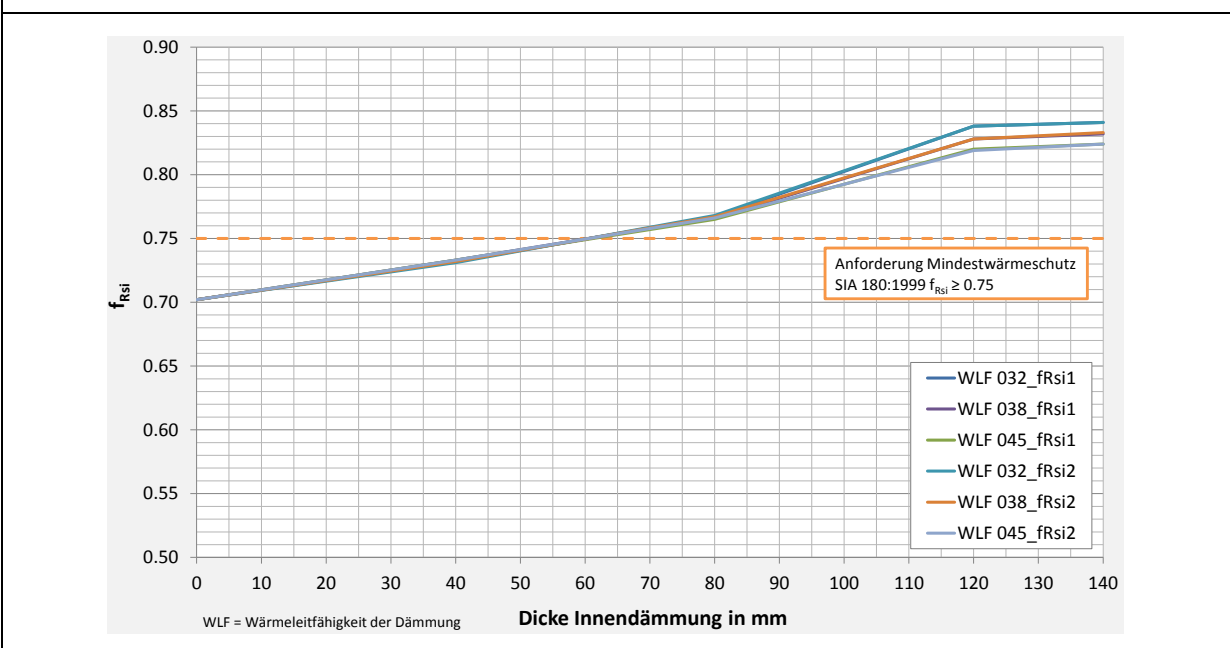
### 2.3-6-510 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
 <p>             20°C, <math>R_s = 0.13</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch           </p>	 <p>             20°C, <math>R_s = 0.35</math>              -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabatisch           </p>

### $\Psi$ -Werte für Detail 2.3-6-510 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung

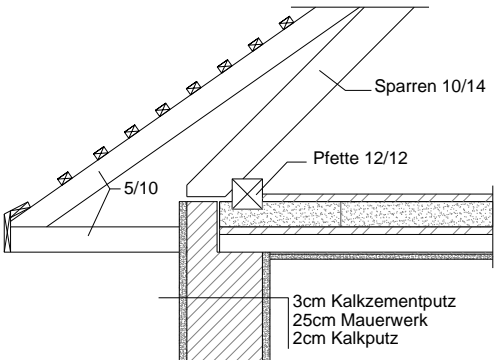
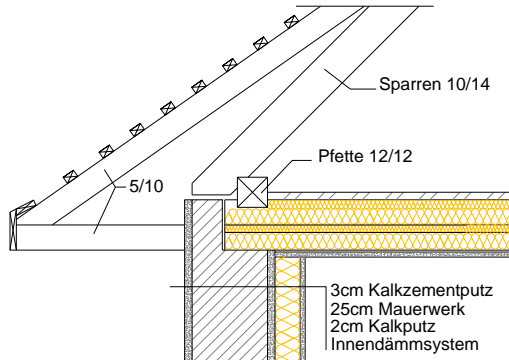
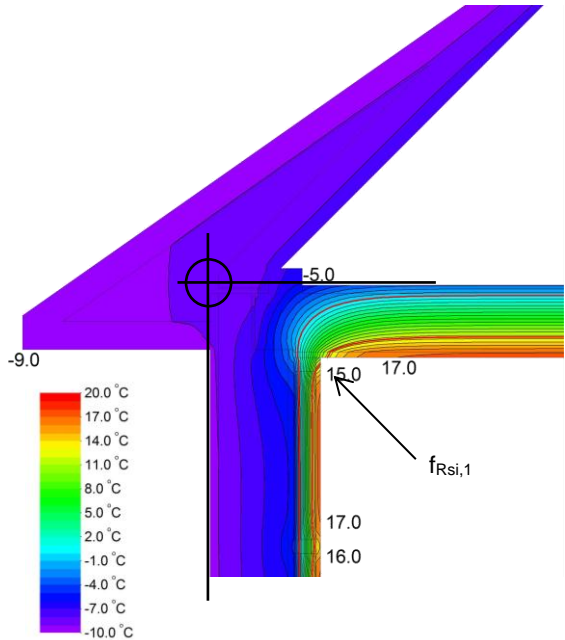


### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 2.3-6-510 Innenwand an Aussenwand mit Flankendämmung

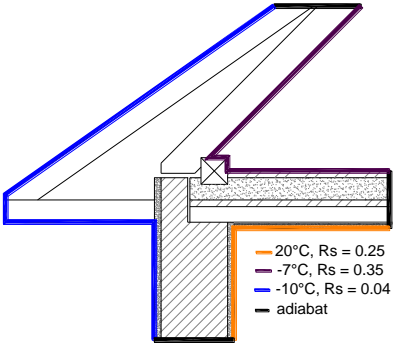


### 3.2 Traufe

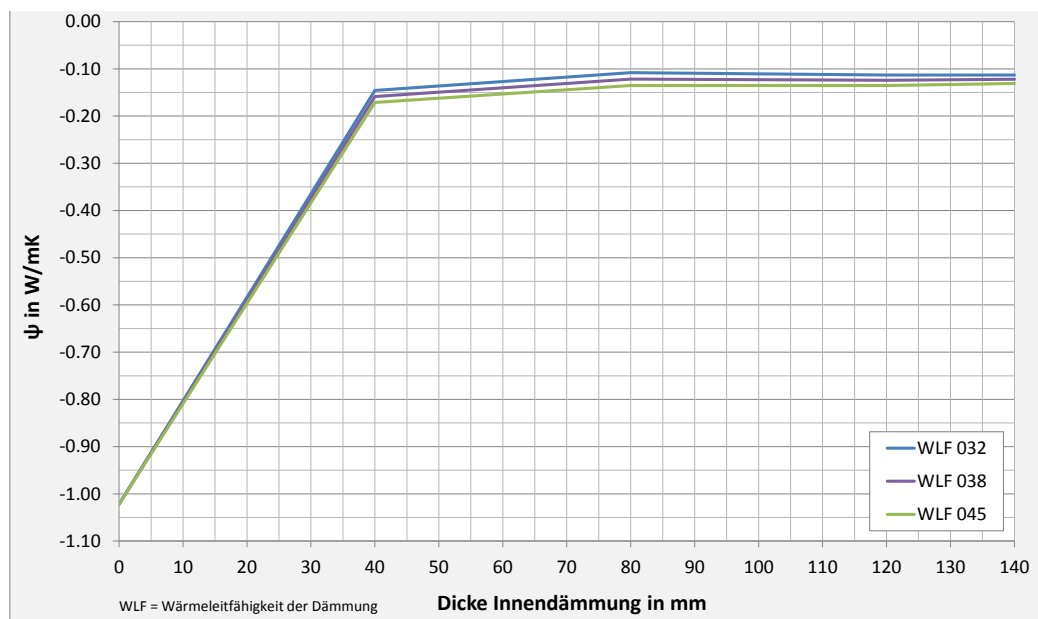
#### 3.2-1-250 Traufe (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)

Bestehendes Bauteil					Saniertes Bauteil																		
																							
<b>Bemerkungen:</b> 1) Für das Detail Decke an Aussenwand wird ein mittlerer $\Psi$ -Wert aus zwei Berechnungen ermittelt (siehe Kap. 2.2.6). Für den $f_{Rsi}$ -Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen. 2) $\Psi$ -Werte und $f_{Rsi}$ -Werte mit Dämmung 038 sind Mittelwerte 3) Berechnung mit 3 Temperaturreandbedingungen (siehe Kap. 2.2.5) - Innen beheizt: 20°C - Aussen: -10°C - Dachgeschoss unbeheizt: -7°C 4) Für die Sanierungsvariante der Decke wird der Gefachbereich vollständig ausgedämmt. Die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung entspricht der der Innendämmung an der Aussenwand.																							
U-Werte Aussenwand 250 mm					Decke:																		
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	- Saniert: gedämmter Gefachbereich - Aufbau von oben nach unten (Bestand):																		
	032	038	045		<table><tr><td>3 cm</td><td>Holzschalung</td></tr><tr><td>20 cm</td><td>Holzbalken 14x20 cm, e = 53 cm</td></tr><tr><td>dzw. 9 cm</td><td>Schlacke</td></tr><tr><td>3 cm</td><td>Schalung</td></tr><tr><td>8 cm</td><td>Luft Raum</td></tr><tr><td>1 cm</td><td>Lattung</td></tr><tr><td>2 cm</td><td>Kalkputz</td></tr></table>					3 cm	Holzschalung	20 cm	Holzbalken 14x20 cm, e = 53 cm	dzw. 9 cm	Schlacke	3 cm	Schalung	8 cm	Luft Raum	1 cm	Lattung	2 cm	Kalkputz
3 cm	Holzschalung																						
20 cm	Holzbalken 14x20 cm, e = 53 cm																						
dzw. 9 cm	Schlacke																						
3 cm	Schalung																						
8 cm	Luft Raum																						
1 cm	Lattung																						
2 cm	Kalkputz																						
0	2.00			Bestand																			
40	0.64	0.70	0.76	40 mm ID																			
80	0.38	0.42	0.47	80 mm ID																			
120	0.27	0.30	0.34	120 mm ID																			
140	0.24	0.27	0.30	140 mm ID																			
Dicke	$\Psi$ -Werte in W/(m·K)			$f_{Rsi}$ -Wert [-]					Bemerkung														
d in mm	$\Psi_e$	$\Psi_e$	$\Psi_e$	032		038		045															
	032	038	045	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$														
0	-1.02			0.55	-	0.55	-	0.55	-	Bestand													
40	-0.15	-0.16	-0.17	0.64	-	0.64	-	0.64	-	40 mm ID													
80	-0.11	-0.12	-0.14	0.68	-	0.68	-	0.69	-	80 mm ID													
120	-0.11	-0.12	-0.14	0.72	-	0.72	-	0.72	-	120 mm ID													
140	-0.11	-0.12	-0.13	0.73	-	0.73	-	0.73	-	140 mm ID													

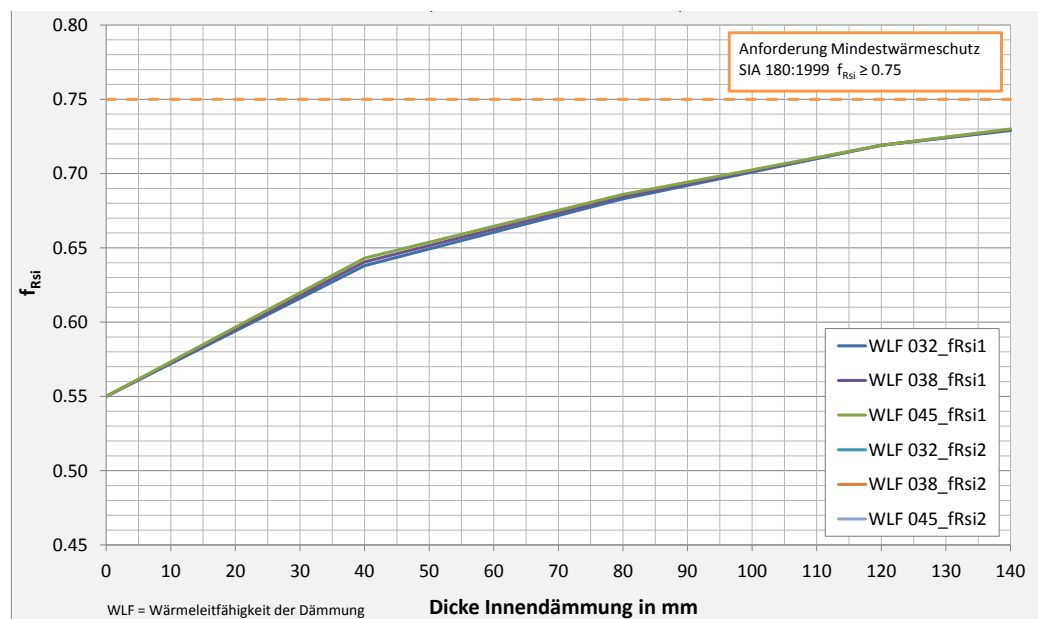
### 3.2-1-250 Traufe (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
siehe Kap. 2.2.5	 <p>             — 20°C, <math>R_s = 0.25</math>              — -7°C, <math>R_s = 0.35</math>              — -10°C, <math>R_s = 0.04</math>              — adiabat           </p>

#### $\Psi$ -Werte für Detail 3.2-1-250 Traufe

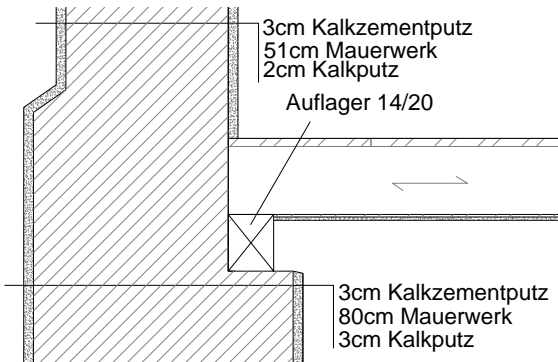
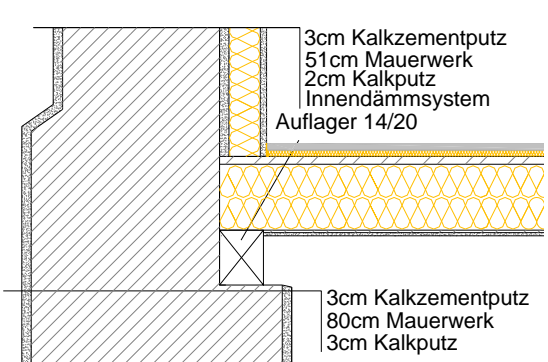
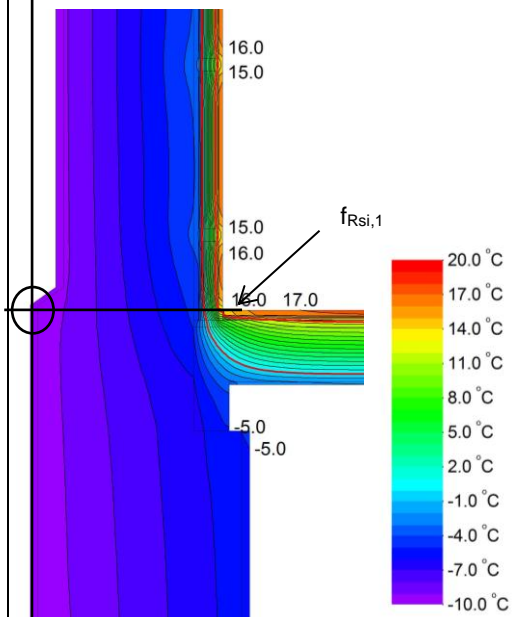


#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 3.2-1-250 Traufe



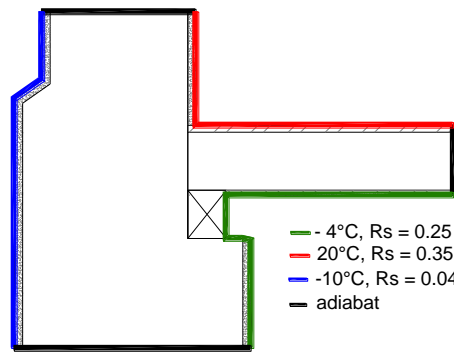
### 3.4 Sockel

#### 3.4-1-510 Sockel (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)

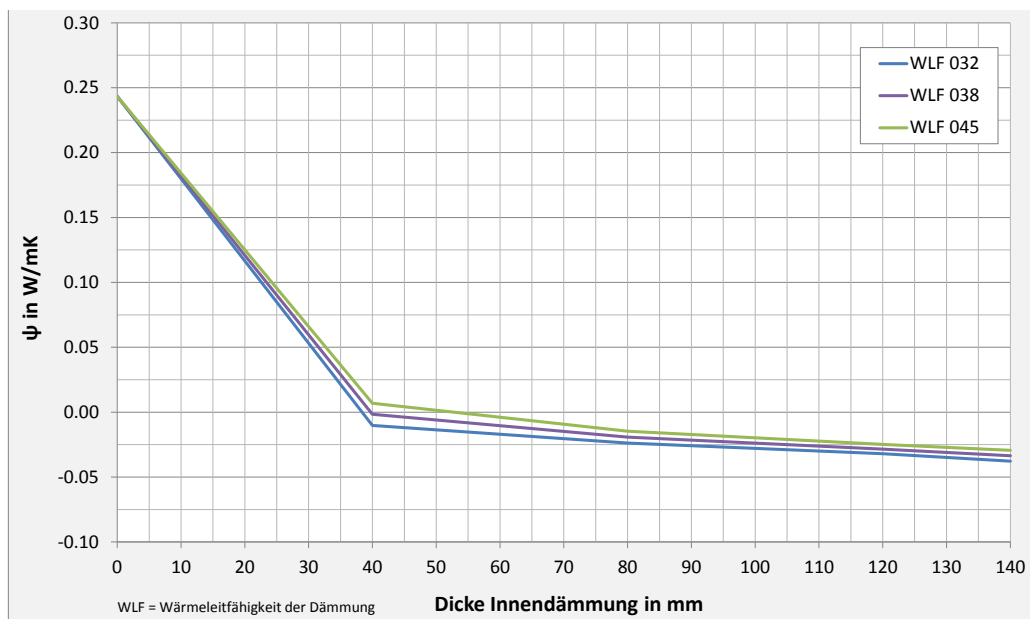
Bestehendes Bauteil					Saniertes Bauteil					
										
<p><b>Bemerkungen:</b></p> <p>1) Für das Detail Decke an Aussenwand wird ein mittlerer <math>\Psi</math>-Wert aus zwei Berechnungen ermittelt (siehe Kap. 2.2.6). Für den <math>f_{Rsi}</math>-Wert wird der minimale Wert aus beiden Berechnungen herangezogen.</p> <p>2) <math>\Psi</math>-Werte und <math>f_{Rsi}</math>-Werte mit Dämmung 038 sind Mittelwerte</p> <p>3) Berechnung mit 3 Temperaturrandbedingungen (siehe 2.2.5)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Innen beheizt: 20°C</li><li>- Aussen: -10°C</li><li>- Keller unbeheizt: -4°C</li></ul> <p>4) Für die Sanierungsvariante der Decke wird der Gefachbereich vollständig ausgedämmt. Die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung entspricht der der Innendämmung an der Aussenwand.</p>										
U-Werte Aussenwand 510 mm					Decke:					
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung	- Saniert: +2cm Gussasphalt und 2cm Trittschall-däm. mit gedämmten Gefachbereich					
	032	038	045		- Aufbau von oben nach unten (Bestand):					
0	1.32			Bestand	2.5 cm	Holzboden				
40	0.54	0.59	0.63	40 mm ID	21 cm dzw. 10 cm	Holzbalken 15x21cm, e=53cm				
80	0.34	0.38	0.42	80 mm ID	2 cm	Schlacke				
120	0.25	0.28	0.31	120 mm ID	9 cm	Schalung				
140	0.23	0.25	0.28	140 mm ID	1 cm	Luftraum				
					1 cm	Lattung				
					2 cm	Kalkputz				
Dicke	$\Psi$ -Werte in W/(m·K)			$f_{Rsi}$ -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	$\Psi_e$	$\Psi_e$	$\Psi_e$	032		038		045		
	032	038	045	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	
0	0.24			0.52	-	0.52	-	0.52	-	Bestand
40	-0.01	0.00	0.01	0.74	-	0.72	-	0.71	-	40 mm ID
80	-0.02	-0.02	-0.01	0.78	-	0.77	-	0.76	-	80 mm ID
120	-0.03	-0.03	-0.02	0.79	-	0.79	-	0.78	-	120 mm ID
140	-0.04	-0.03	-0.03	0.80	-	0.80	-	0.79	-	140 mm ID



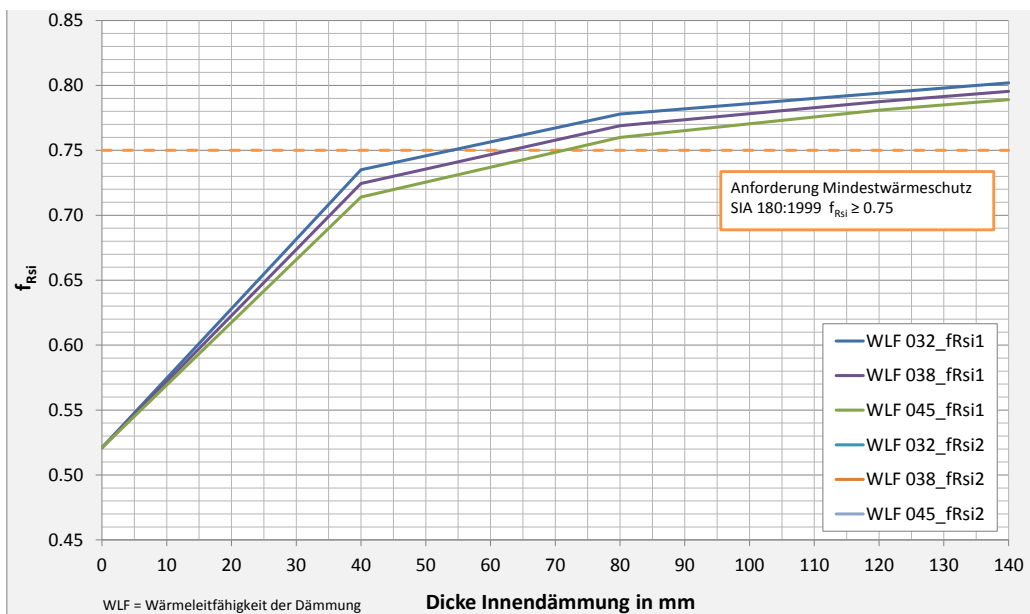
### 3.4-1-510 Sockel (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)

Randbedingungen für $\Psi$ -Wert	Randbedingungen für $f_{Rsi}$ -Wert
siehe Kap. 2.2.5	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4°C, <math>R_s = 0.25</math></li> <li>- 20°C, <math>R_s = 0.35</math></li> <li>- 10°C, <math>R_s = 0.04</math></li> <li>- adiabat</li> </ul>

#### $\Psi$ -Werte für Detail 3.4-1-510 Sockel


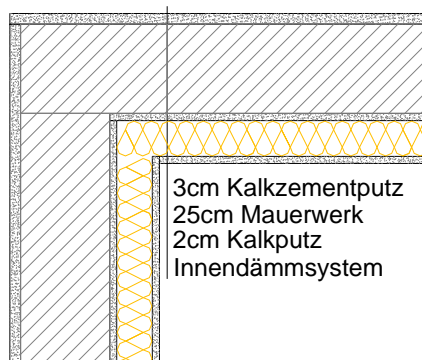
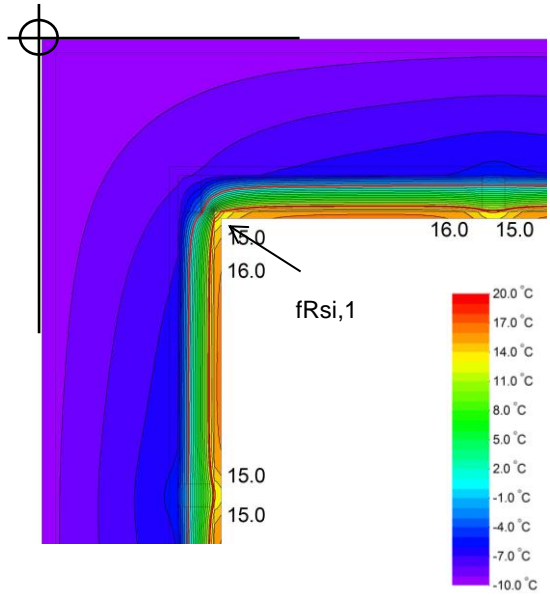


#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 3.4-1-510 Sockel

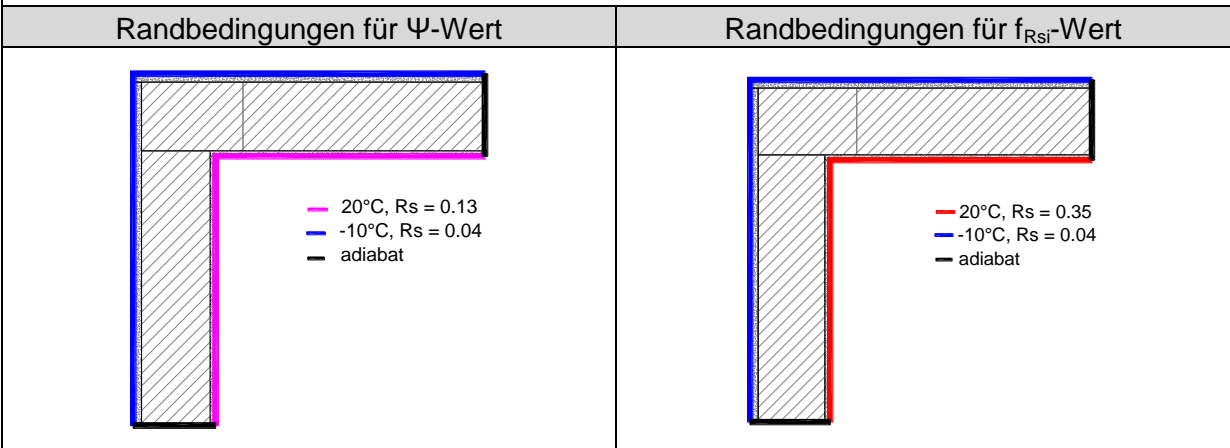


### 3.6 Aussenwand-Ecke

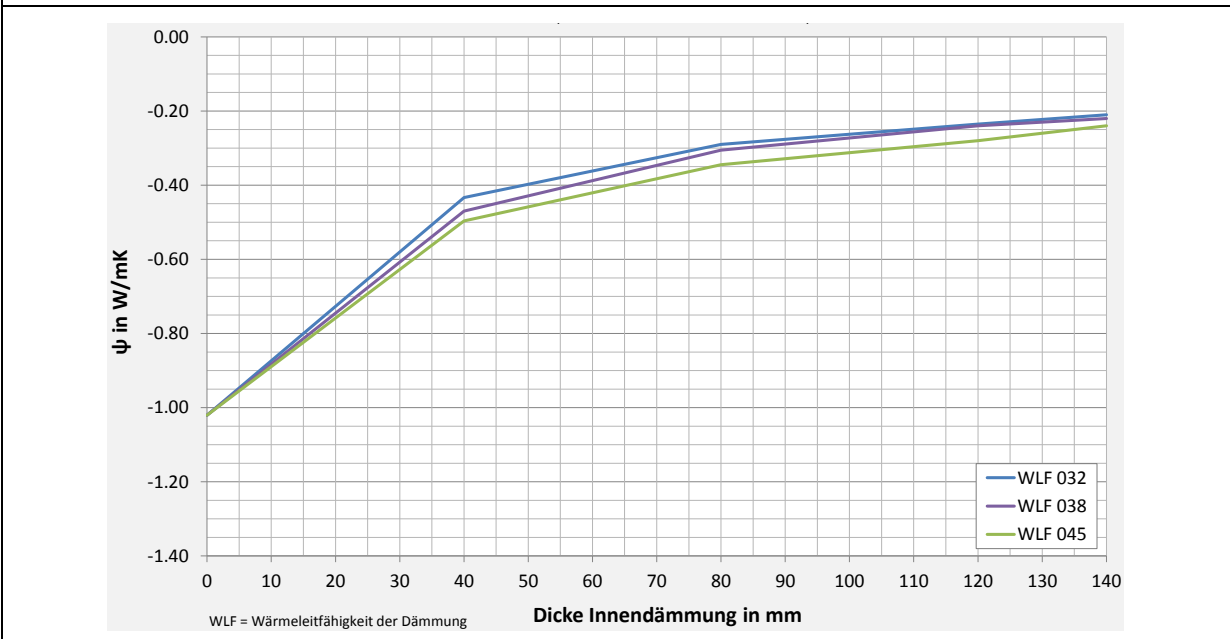
#### 3.6-1-250 Aussenwanddecke (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)

Bestehendes Bauteil				Saniertes Bauteil						
										
<p><b>Bemerkungen:</b></p> <p>Für das Detail Aussenwand-Aussenecke wird für den <math>f_{Rsi}</math>-Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand <math>R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}</math> gerechnet.</p>										
U-Werte Aussenwand 250 mm										
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung						
	032	038	045							
0	2.00			Bestand						
40	0.64	0.70	0.76	40 mm ID						
80	0.38	0.42	0.47	80 mm ID						
120	0.27	0.30	0.34	120 mm ID						
140	0.24	0.27	0.30	140 mm ID						
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	-1.02			0.37	-	0.37	-	0.37	-	Bestand
40	-0.43	-0.47	-0.50	0.63	-	0.62	-	0.61	-	40 mm ID
80	-0.29	-0.31	-0.34	0.80	-	0.78	-	0.75	-	80 mm ID
120	-0.24	-0.24	-0.28	0.84	-	0.82	-	0.80	-	120 mm ID
140	-0.21	-0.22	-0.24	0.85	-	0.84	-	0.82	-	140 mm ID

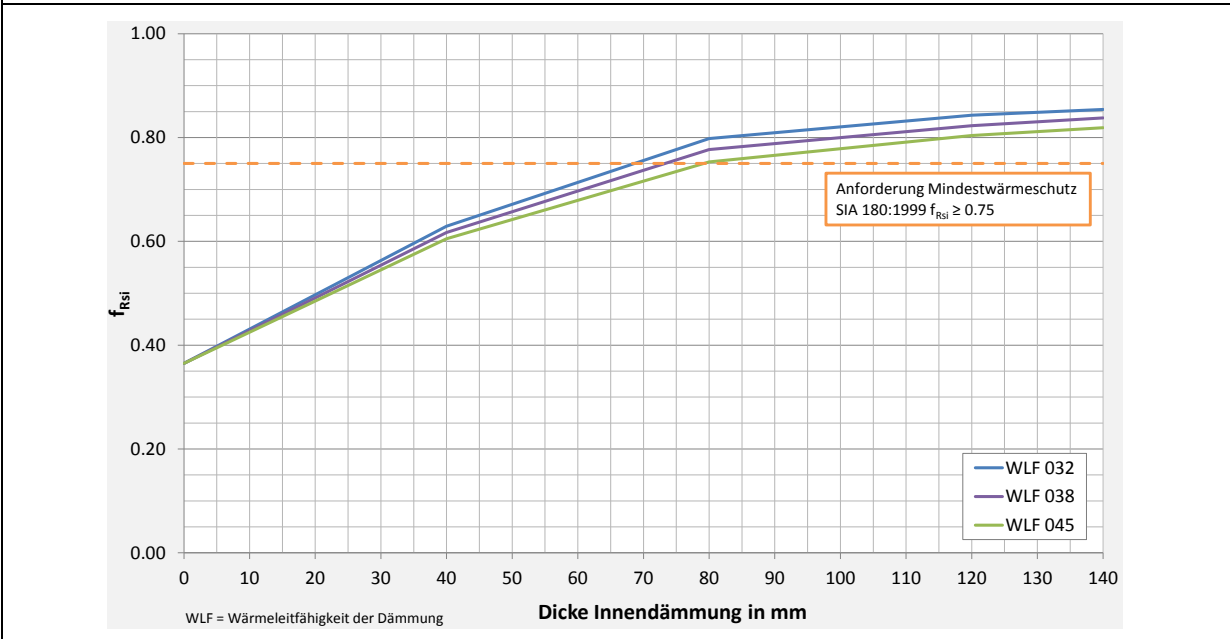
### 3.6-1-250 Aussenwanddecke (Backsteinmauerwerk Dicke 250 mm)



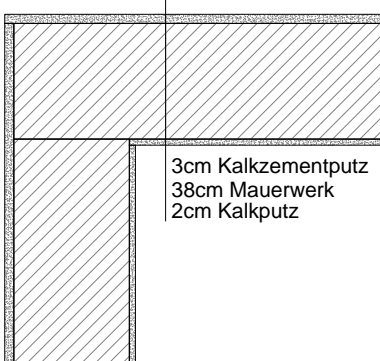
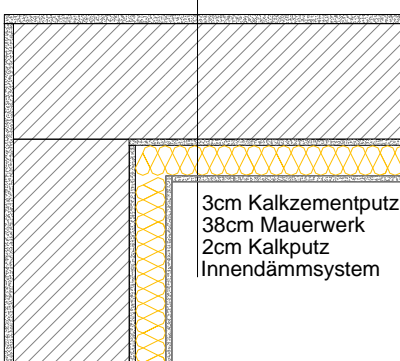
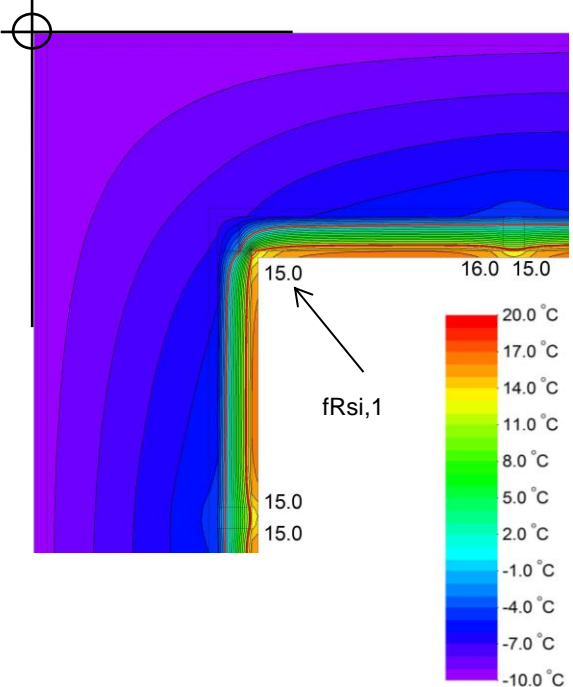
#### $\Psi$ -Werte für Detail 3.6-1-250 Aussenwanddecke



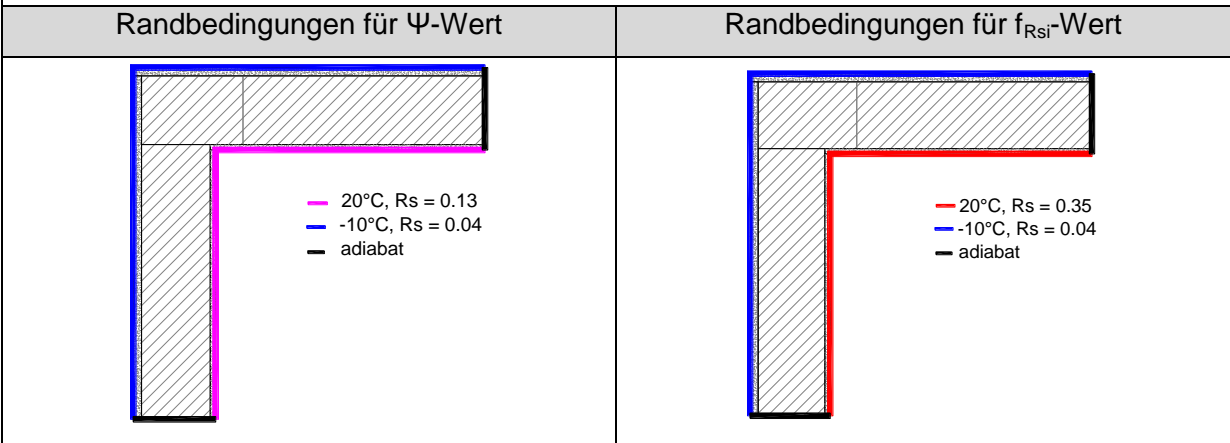
#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 3.6-1-250 Aussenwanddecke



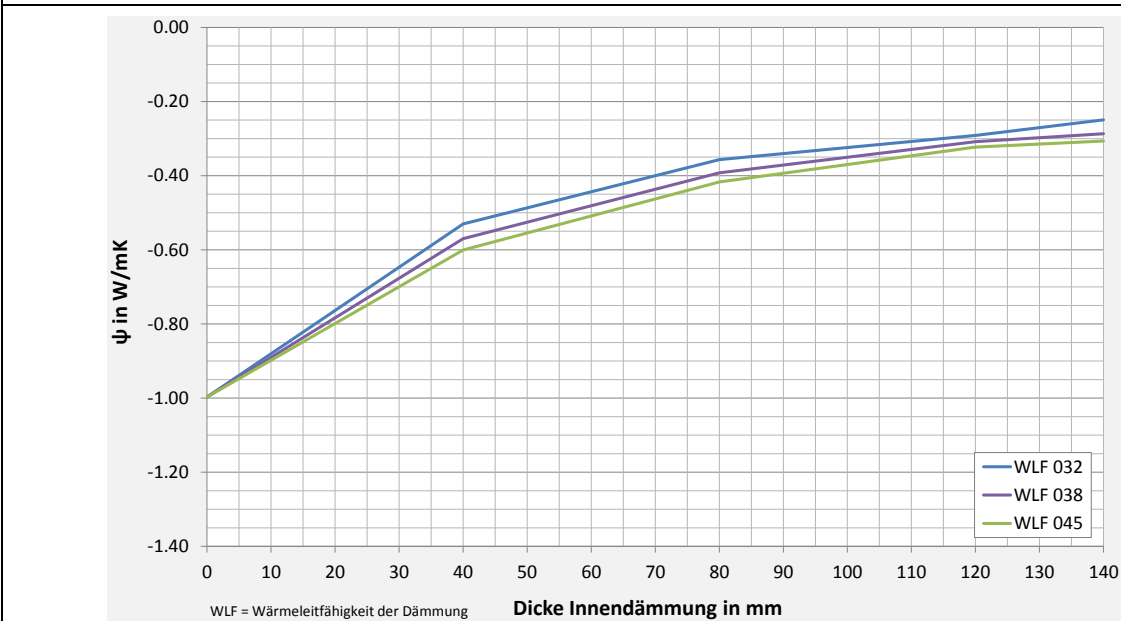
### 3.6-2-380 Aussenwandecke (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm)

Bestehendes Bauteil				Saniertes Bauteil						
 <p>3cm Kalkzementputz 38cm Mauerwerk 2cm Kalkputz</p>				 <p>3cm Kalkzementputz 38cm Mauerwerk 2cm Kalkputz Innendämmsystem</p>						
<p><b>Bemerkungen:</b></p> <p>Für das Detail Aussenwand-Aussenecke wird für den <math>f_{Rsi}</math>-Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand <math>R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}</math> gerechnet.</p>										
U-Werte Aussenwand 380 mm										
d in mm	U-Wert in W/(m²·K)			Bemerkung						
	032	038	045							
0	1.59			Bestand						
40	0.59	0.64	0.69	40 mm ID						
80	0.36	0.40	0.44	80 mm ID						
120	0.26	0.29	0.32	120 mm ID						
140	0.23	0.26	0.29	140 mm ID						
Dicke	Ψ-Werte in W/(m·K)			f <sub>Rsi</sub> -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	Ψ <sub>e</sub>	032		038		045		
	032	038	045	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	f <sub>Rsi,1</sub>	f <sub>Rsi,2</sub>	
0	-1.00			0.43	-	0.43	-	0.43	-	Bestand
40	-0.53	-0.57	-0.60	0.65	-	0.64	-	0.63	-	40 mm ID
80	-0.36	-0.39	-0.42	0.81	-	0.78	-	0.76	-	80 mm ID
120	-0.29	-0.31	-0.32	0.85	-	0.83	-	0.81	-	120 mm ID
140	-0.25	-0.29	-0.31	0.86	-	0.84	-	0.82	-	140 mm ID

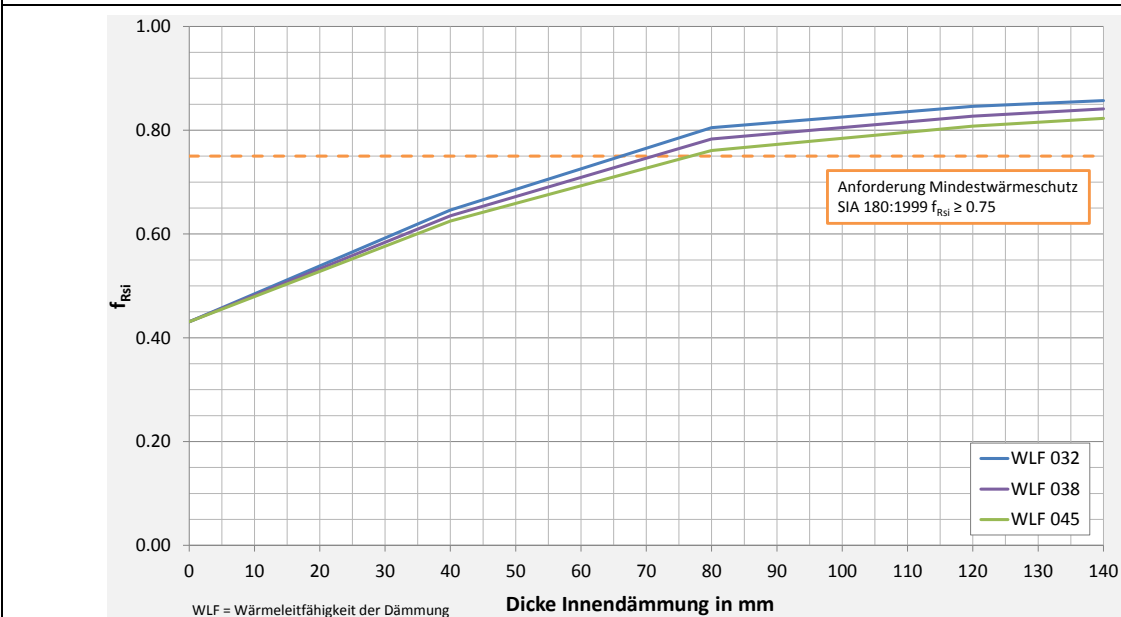
### 3.6-2-380 Aussenwanddecke (Backsteinmauerwerk Dicke 380 mm)



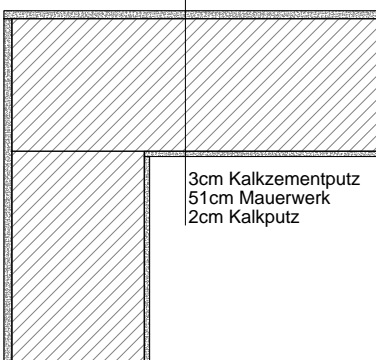
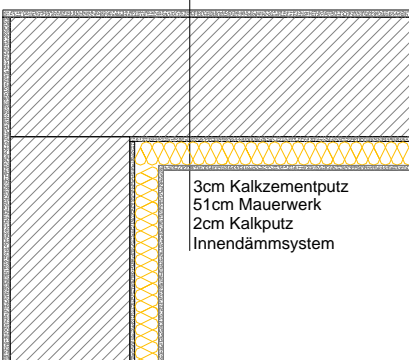
#### $\Psi$ -Werte für Detail 3.6-2-380 Aussenwanddecke



#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 3.6-2-380 Aussenwanddecke

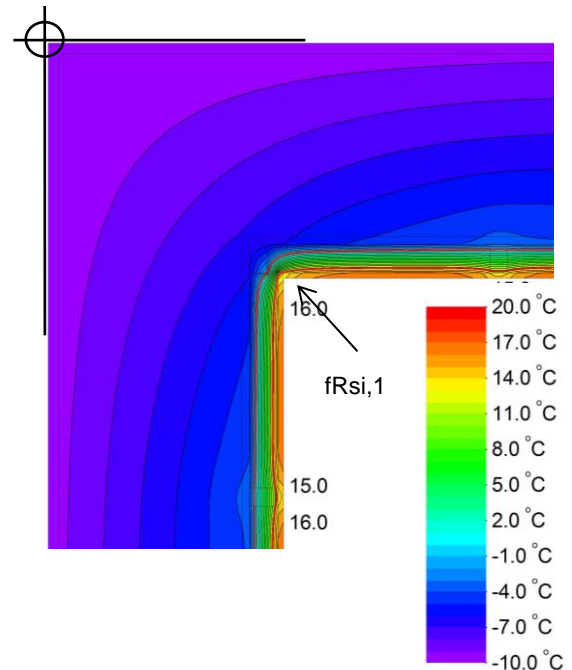


### 3.6-3-510 Aussenwandecke (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)

Bestehendes Bauteil	Saniertes Bauteil
 <p>3cm Kalkzementputz 51cm Mauerwerk 2cm Kalkputz</p>	 <p>3cm Kalkzementputz 51cm Mauerwerk 2cm Kalkputz Innendämmsystem</p>

#### Bemerkungen:

Für das Detail Aussenwand-Aussenecke wird für den  $f_{Rsi}$ -Wert nur mit dem Wärmeübergangswiderstand  $R_{si} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$  gerechnet.

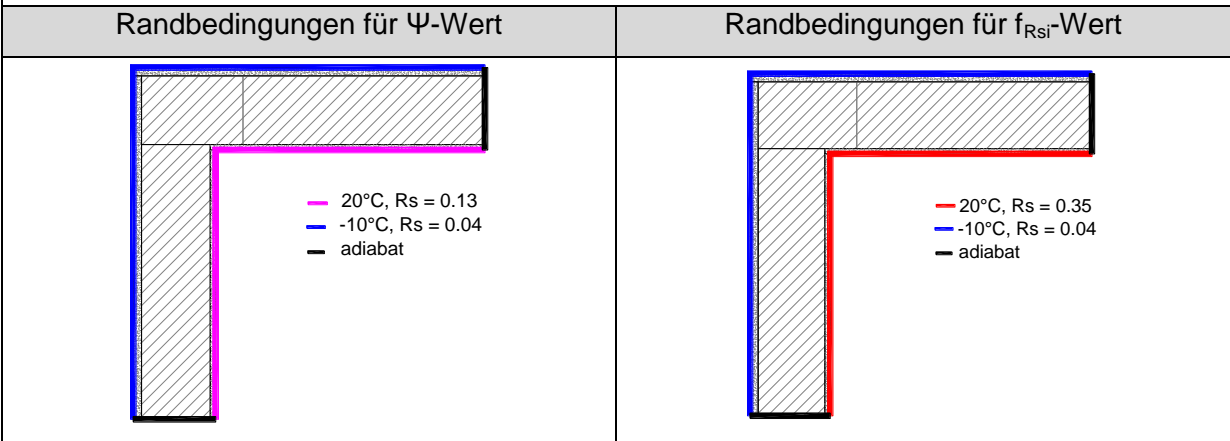


#### U-Werte Aussenwand 510 mm

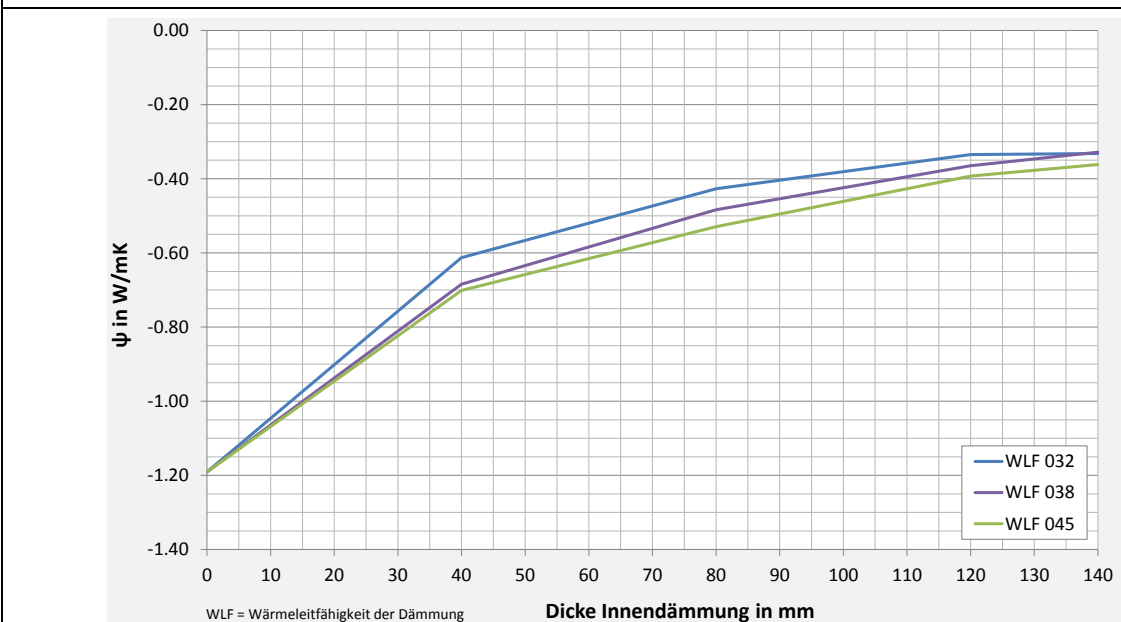
d in mm	U-Wert in $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$			Bemerkung
	032	038	045	
0	1.32			Bestand
40	0.54	0.59	0.63	40 mm ID
80	0.34	0.38	0.42	80 mm ID
120	0.25	0.28	0.31	120 mm ID
140	0.23	0.25	0.28	140 mm ID

Dicke	$\Psi$ -Werte in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$			$f_{Rsi}$ -Wert [-]						Bemerkung
d in mm	$\Psi_e$	$\Psi_e$	$\Psi_e$	032		038		045		
	032	038	045	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	$f_{Rsi,1}$	$f_{Rsi,2}$	
0	-1.19			0.48	-	0.48	-	0.48	-	Bestand
40	-0.61	-0.68	-0.70	0.66	-	0.65	-	0.64	-	40 mm ID
80	-0.43	-0.48	-0.53	0.81	-	0.79	-	0.77	-	80 mm ID
120	-0.33	-0.36	-0.39	0.85	-	0.83	-	0.81	-	120 mm ID
140	-0.33	-0.33	-0.36	0.86	-	0.84	-	0.83	-	140 mm ID

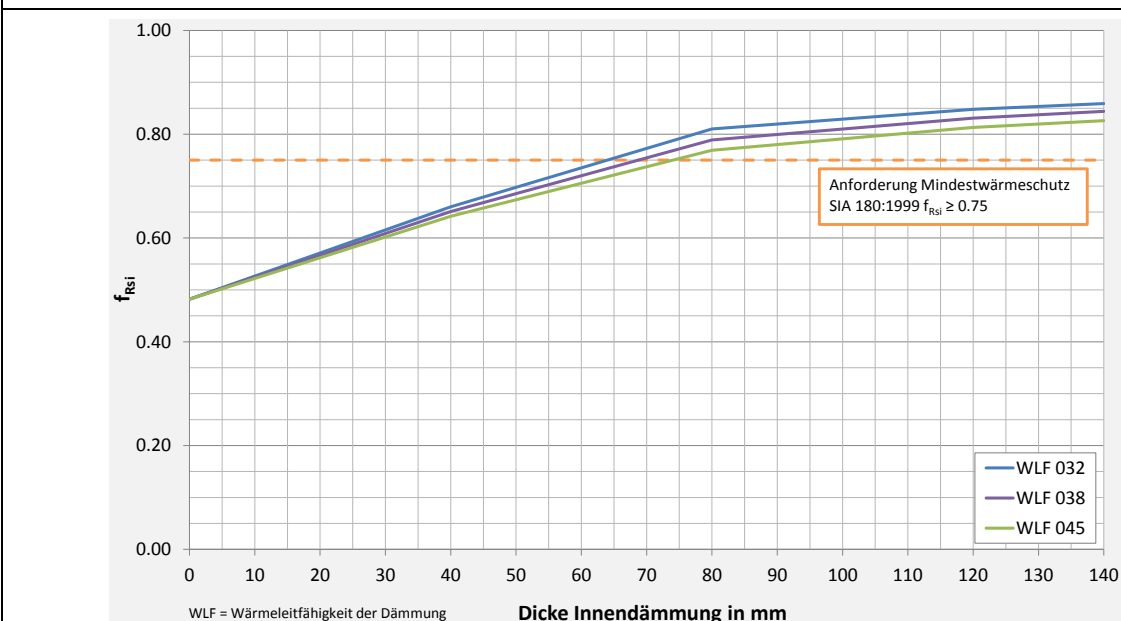
### 3.6-3-510 Aussenwanddecke (Backsteinmauerwerk Dicke 510 mm)



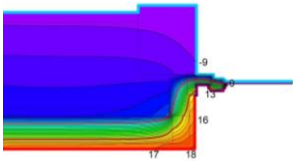
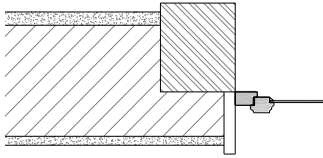
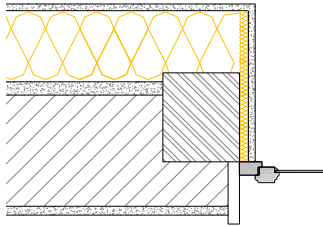
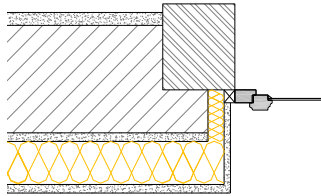
#### $\Psi$ -Werte für Detail 3.6-3-510 Aussenwanddecke

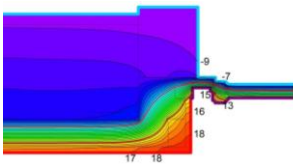
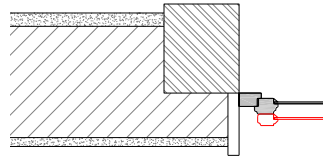
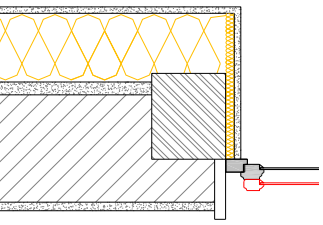
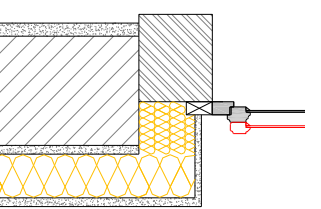


#### $f_{Rsi}$ -Werte für Detail 3.6-3-510 Aussenwanddecke

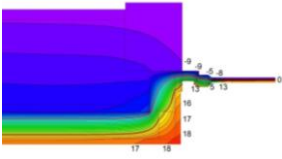
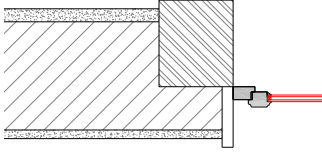
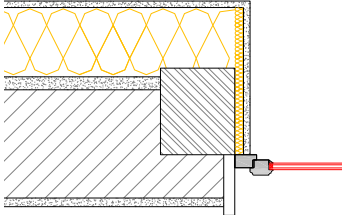
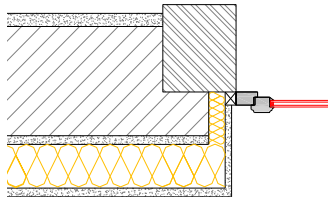


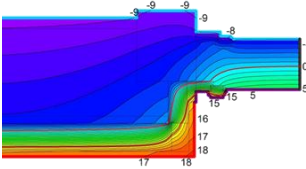
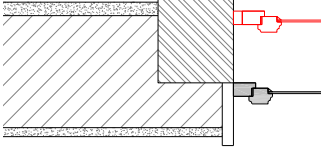
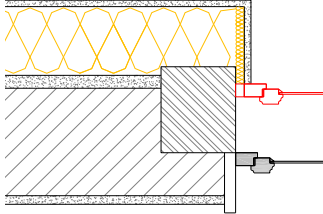
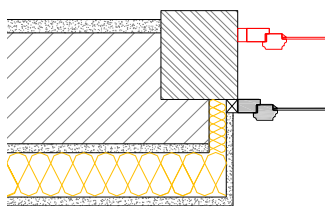
## 5.1 Fensterleibung

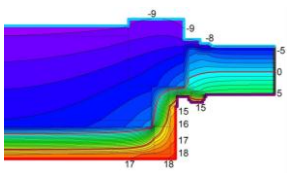
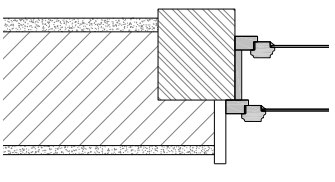
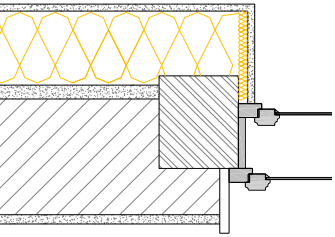
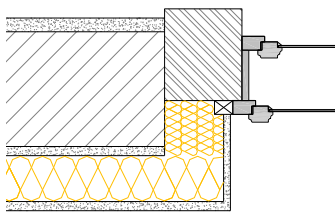
	5.1-1-250 Leibung (Einfachfenster Bestand)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.20	0.51	Bestand
	0.20	0.23	0.77	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.07	0.81	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.08	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.06	0.81	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.06	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
Bestand                      mit Aussendämmung                      mit Innendämmung				

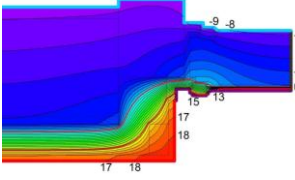
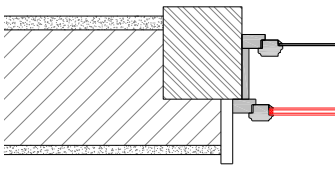
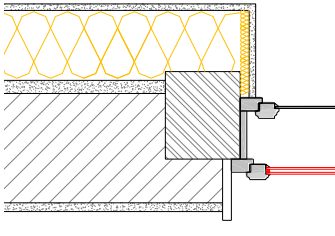
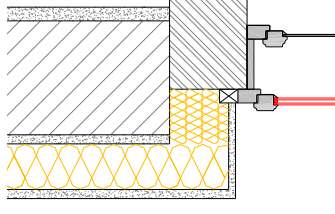
	5.1-2-250 Leibung (Einfachfenster mit Aufdoppelung innen)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.21	0.50	Bestand
	0.20	0.23	0.80	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.08	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.08	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.06	0.80	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.06	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
Bestand                      mit Aussendämmung                      mit Innendämmung				

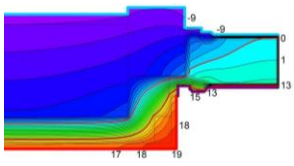
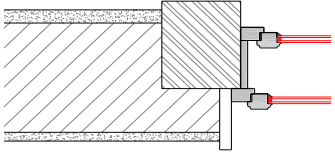
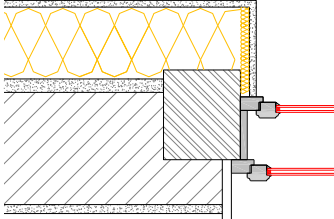
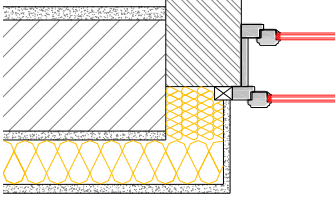


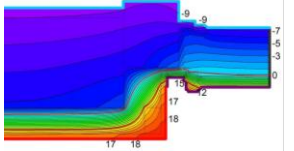
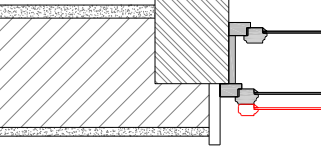
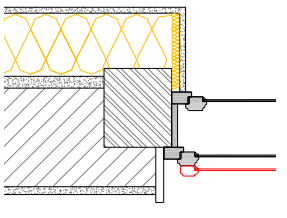
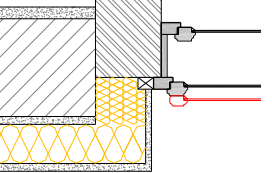
	5.1-3-250 Leibung (Einfachfenster mit neuer Isolierverglasung)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.20	0.51	Bestand
	0.20	0.23	0.77	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.05	0.84	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.06	0.82	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.03	0.84	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.04	0.82	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
<div>Bestand</div> <div>mit Aussendämmung</div> <div>mit Innendämmung</div>				

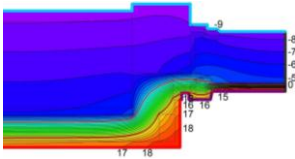
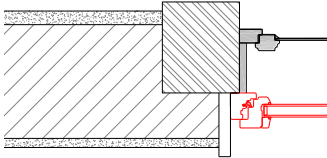
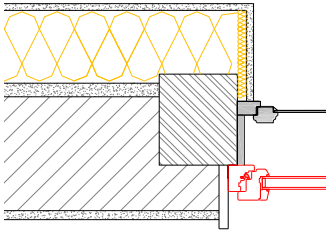
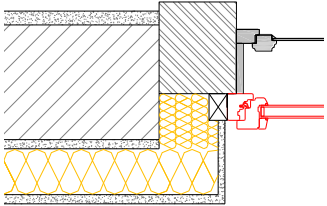
	5.1-4-250 Leibung (Einfachfenster mit Vorfenster)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.29	0.62	Bestand
	0.20	0.33	0.79	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.28	0.84	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.29	0.82	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.27	0.84	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.27	0.82	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
<div>Bestand</div> <div>mit Aussendämmung</div> <div>mit Innendämmung</div>				

	5.1-5-250 Leibung (Kastenfenster Bestand)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.28	0.61	Bestand
	0.20	0.31	0.82	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.29	0.84	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.29	0.82	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.27	0.84	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.27	0.82	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
Bestand                      mit Aussendämmung                      mit Innendämmung				

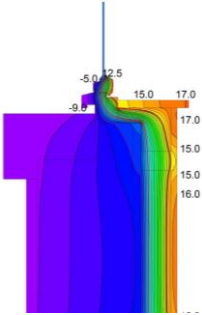
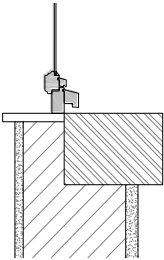
	5.1-6-250 Leibung (Kastenfenster Isolierverglasung innen)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.13	0.59	Bestand
	0.20	0.20	0.79	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.09	0.85	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.10	0.84	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.09	0.86	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.07	0.84	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
Bestand                      mit Aussendämmung                      mit Innendämmung				

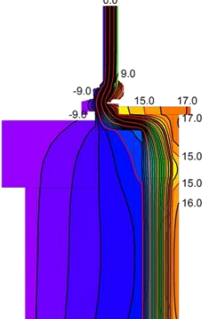
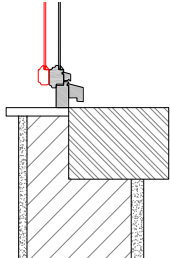
	5.1-7-250 Leibung (Kastenfenster Isolierverglasung innen aussen)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.07	0.61	Bestand
	0.20	0.10	0.83	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.05	0.86	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.06	0.84	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.03	0.80	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
<div>Bestand</div> <div>mit Aussendämmung</div> <div>mit Innendämmung</div>				

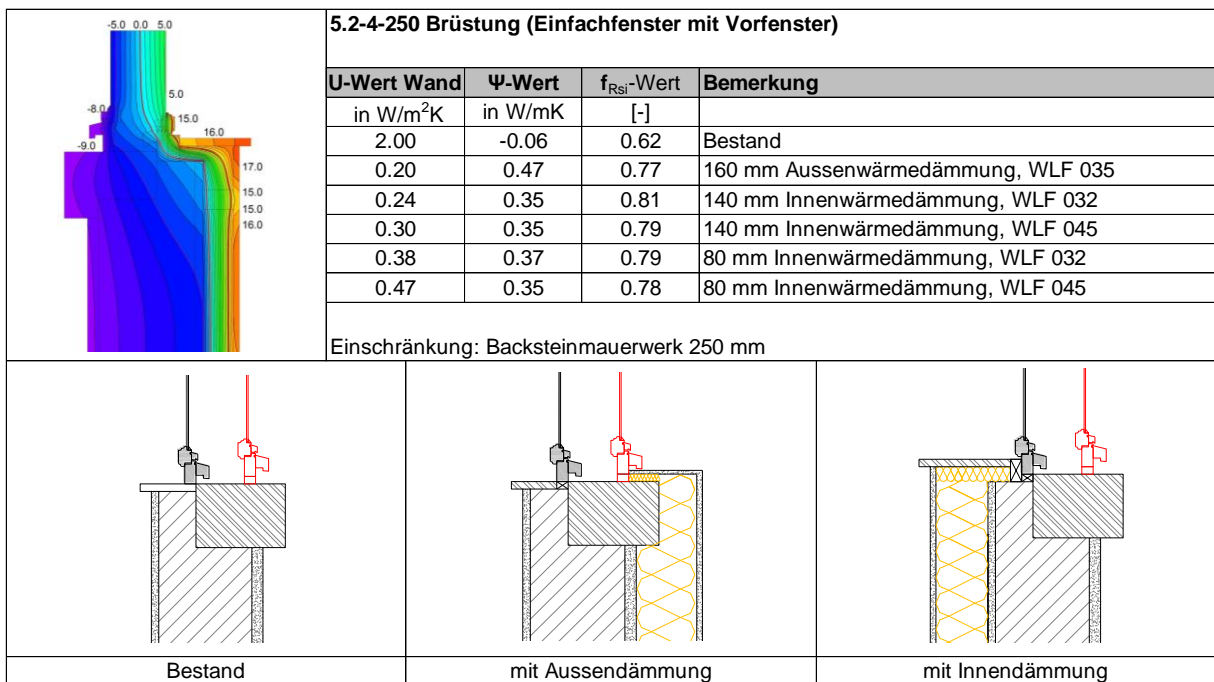
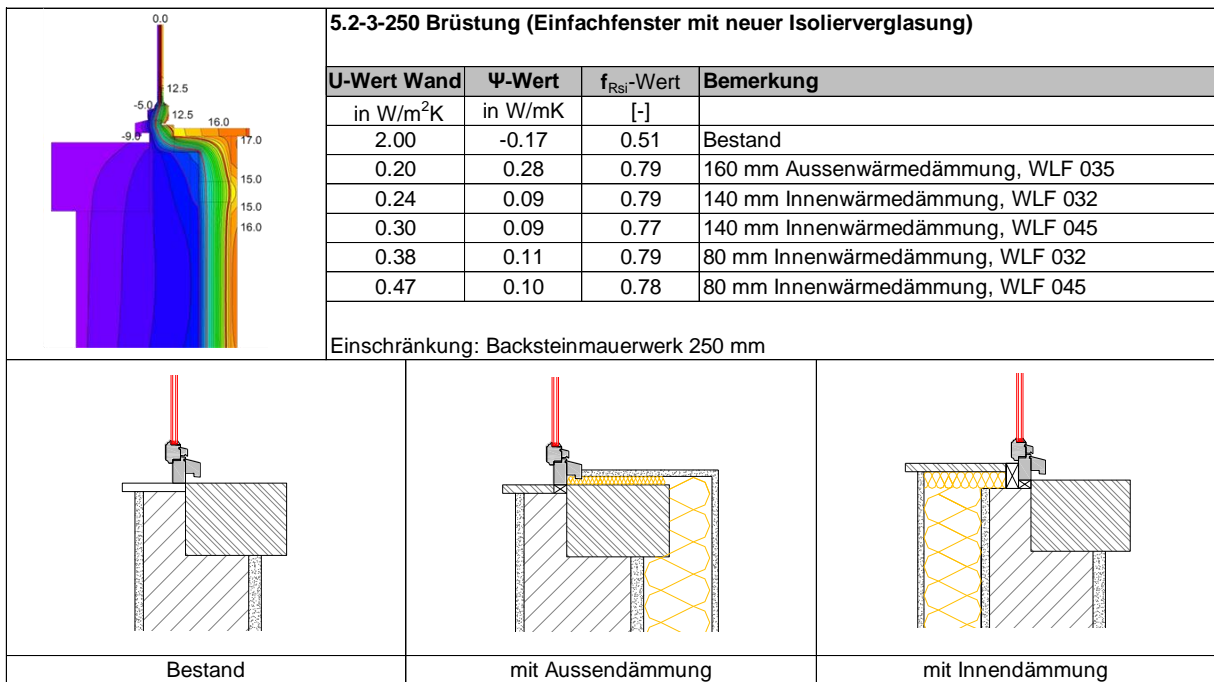
	5.1-8-250 Leibung (Kastenfenster Aufdopplung innen)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.25	0.58	Bestand
	0.20	0.30	0.80	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.23	0.85	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.24	0.83	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.21	0.87	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
  				
<div>Bestand</div> <div>mit Aussendämmung</div> <div>mit Innendämmung</div>				

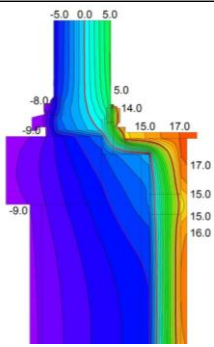
	5.1-9-250 Leibung (Kastenfenster neu innen)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>RSI</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	0.05	0.63	Bestand
	0.20	0.16	0.81	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.00	0.85	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.02	0.84	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	-0.01	0.85	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	-0.01	0.84	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
				
Bestand		mit Aussendämmung		mit Innendämmung

## 5.2 Fensterbrüstung

	5.2-1-250 Brüstung (Einfachfenster Bestand)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>Rsi</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	-0.17	0.51	Bestand
	0.20	0.29	0.79	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.10	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.10	0.77	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.12	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.11	0.78	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
	Bestand		mit Aussendämmung	
			mit Innendämmung	

	5.2-2-250 Brüstung (Einfachfenster mit Aufdoppelung innen)			
	U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>Rsi</sub> -Wert	Bemerkung
	in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
	2.00	-0.16	0.51	Bestand
	0.20	0.30	0.79	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.10	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.10	0.77	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
	0.38	0.12	0.80	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.47	0.11	0.78	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
	Bestand		mit Aussendämmung	
			mit Innendämmung	

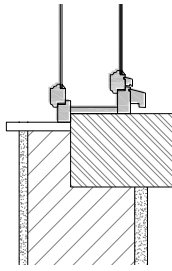




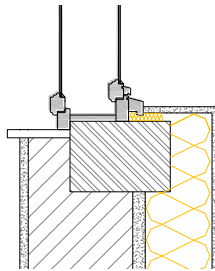
### 5.2-5-250 Brüstung (Kastenfenster Bestand)

U-Wert Wand	Ψ-Wert	f <sub>Rsi</sub> -Wert	Bemerkung
in W/m²K	in W/mK	[-]	
2.00	-0.07	0.61	Bestand
0.20	0.39	0.81	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
0.24	0.36	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.30	0.35	0.78	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
0.38	0.26	0.80	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.47	0.34	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045

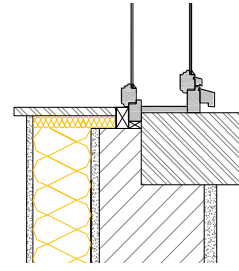
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm
--



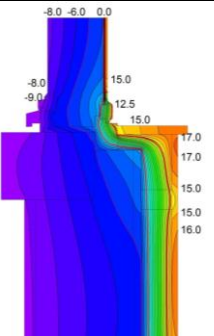
Bestand



mit Aussendämmung



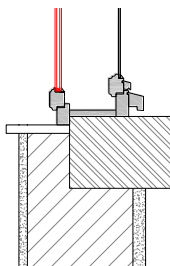
mit Innendämmung



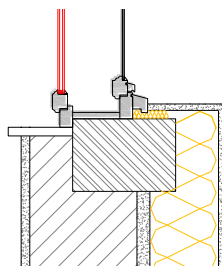
### 5.2-6-250 Brüstung (Kastenfenster Isolierverglasung innen)

U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
in W/m <sup>2</sup> K	in W/mK	[-]	
2.00	-0.30	0.59	Bestand
0.20	0.21	0.79	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
0.24	0.13	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.30	0.12	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
0.38	0.15	0.81	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.47	0.13	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045

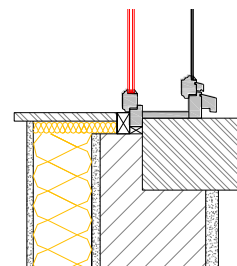
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm
--



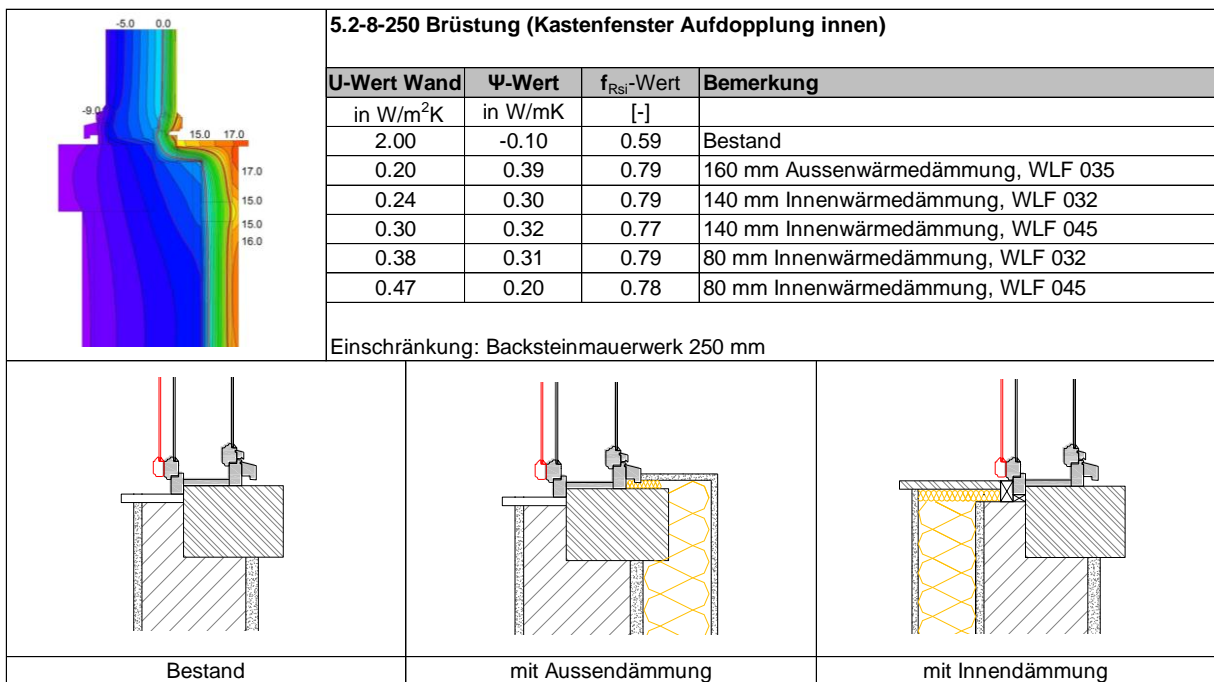
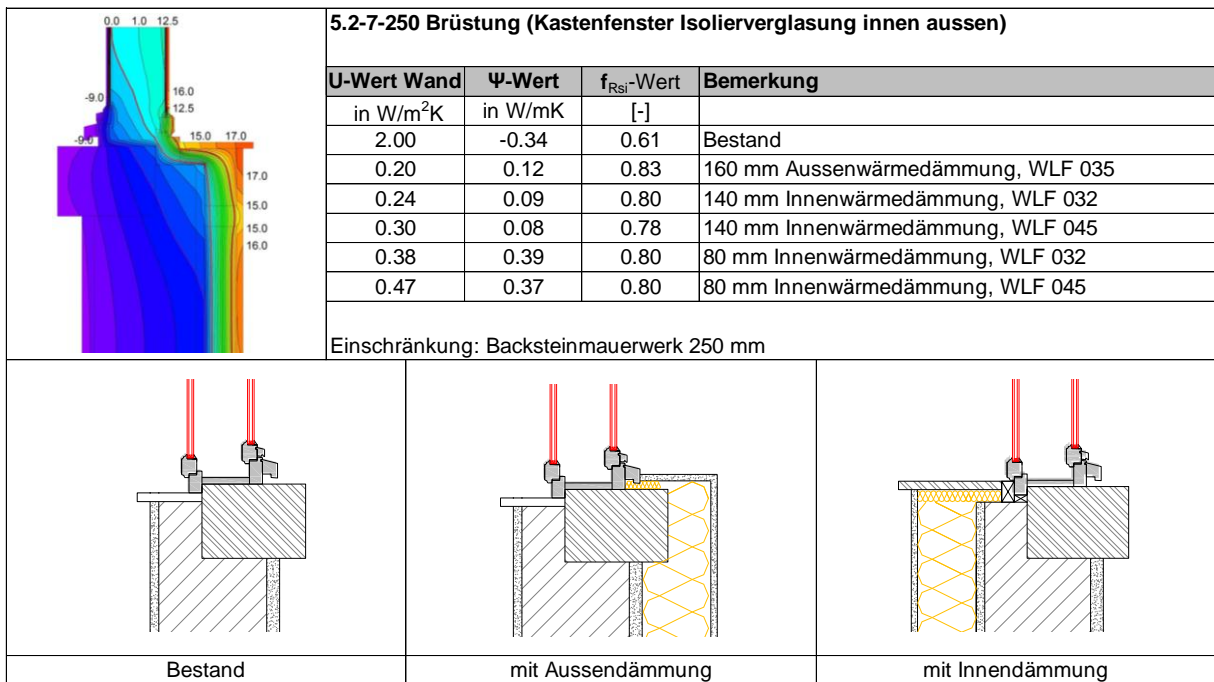
Bestand



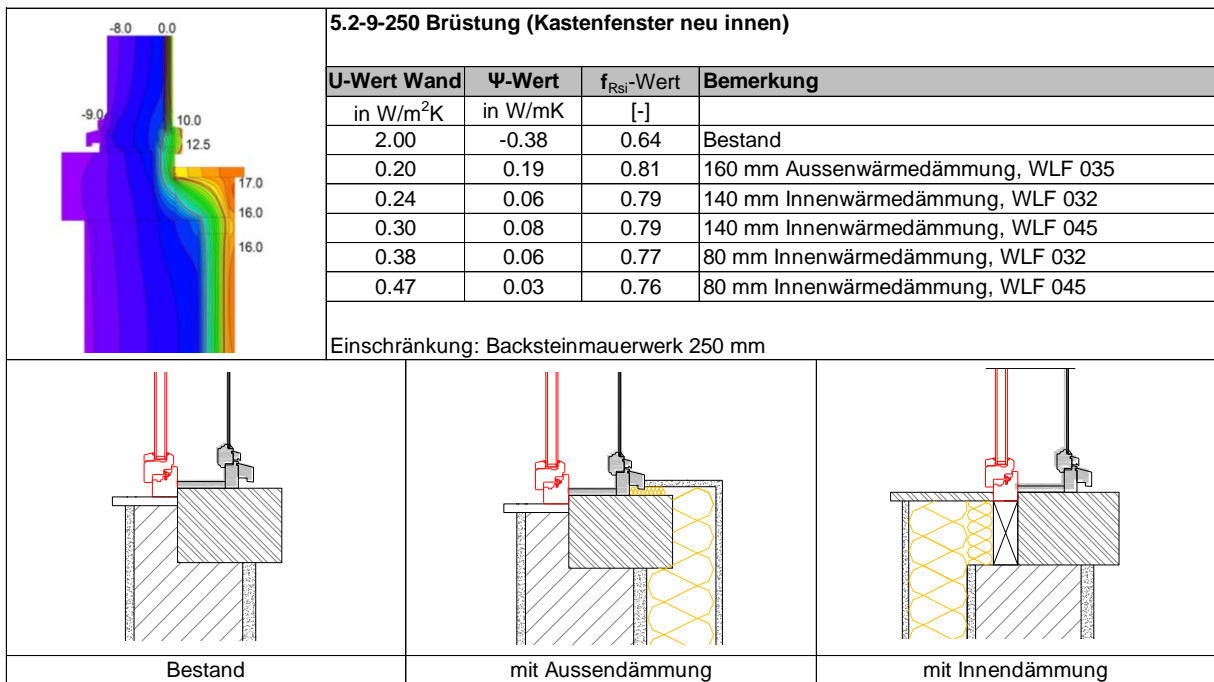
mit Aussendämmung



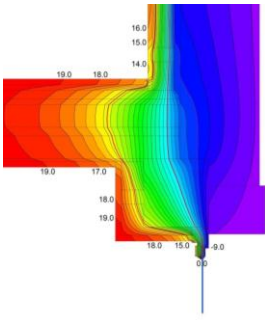
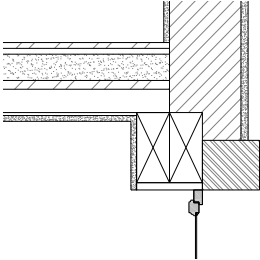
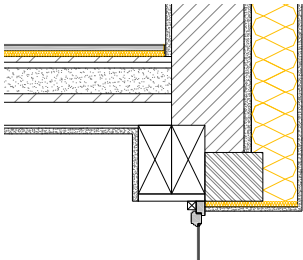
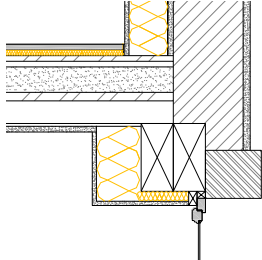
mit Innendämmung

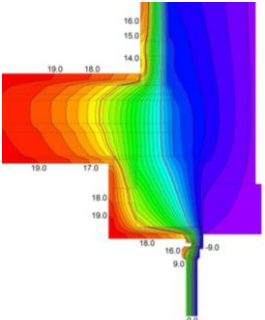
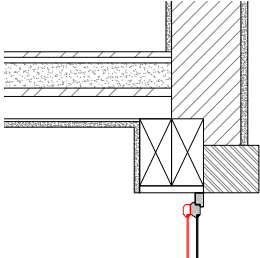
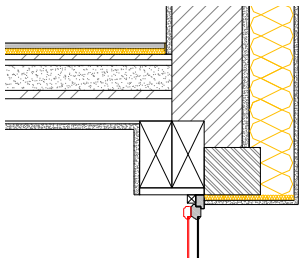
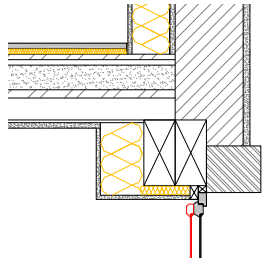


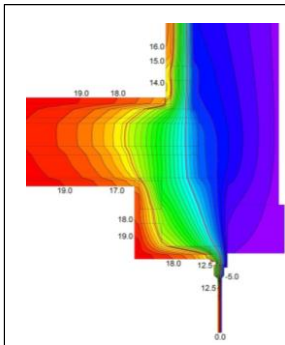




## 5.3 Fenstersturz

	5.3-1-250 Sturz (Einfachfenster Bestand)			
	U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
	in $W/m^2K$	in $W/mK$	[-]	
	2.00	-0.36	0.55	Bestand
	0.20	0.18	0.82	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.04	0.76	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.02	0.75	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
Bemerkung: bei Aussen- und Innenwärmedämmung Rahmen aufgedoppelt				
				Bestand
				mit Aussendämmung
				mit Innendämmung

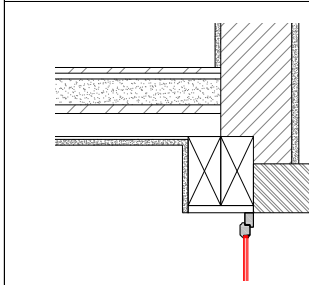
	5.3-2-250 Sturz (Einfachfenster mit Aufdoppelung innen)			
	U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
	in $W/m^2K$	in $W/mK$	[-]	
	2.00	-0.36	0.55	Bestand
	0.20	0.17	0.82	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
	0.24	0.03	0.77	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
	0.30	0.02	0.76	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm				
Bemerkung: bei Aussen- und Innenwärmedämmung Rahmen aufgedoppelt				
				Bestand
				mit Aussendämmung
				mit Innendämmung



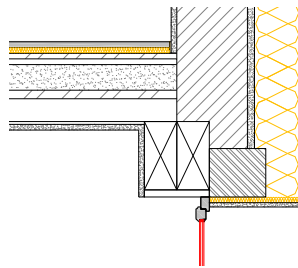
### 5.3-3-250 Sturz (Einfachfenster mit neuer Isolierverglasung)

U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
in $W/m^2K$	in $W/mK$	[-]	
2.00	-0.36	0.57	Bestand
0.20	0.18	0.75	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
0.24	0.04	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.30	0.03	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
0.38	0.04	0.75	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.47	0.01	0.74	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045

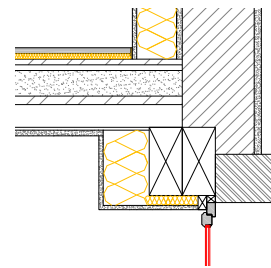
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm



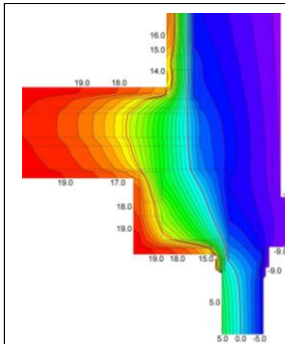
Bestand



mit Aussendämmung



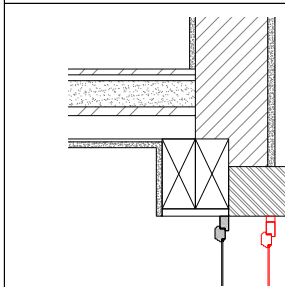
mit Innendämmung



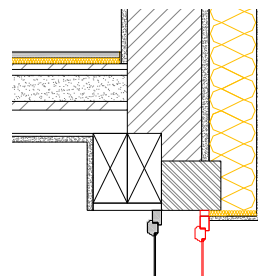
### 5.3-4-250 Sturz (Einfachfenster mit Vorfenster)

U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
in $W/m^2K$	in $W/mK$	[-]	
2.00	-0.12	0.64	Bestand
0.20	0.31	0.78	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
0.24	0.31	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.30	0.29	0.80	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
0.38	0.30	0.81	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.47	0.28	0.80	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045

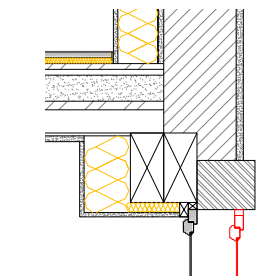
Bemerkung: bei Aussen- und Innenwärmedämmung Rahmen aufgedoppelt



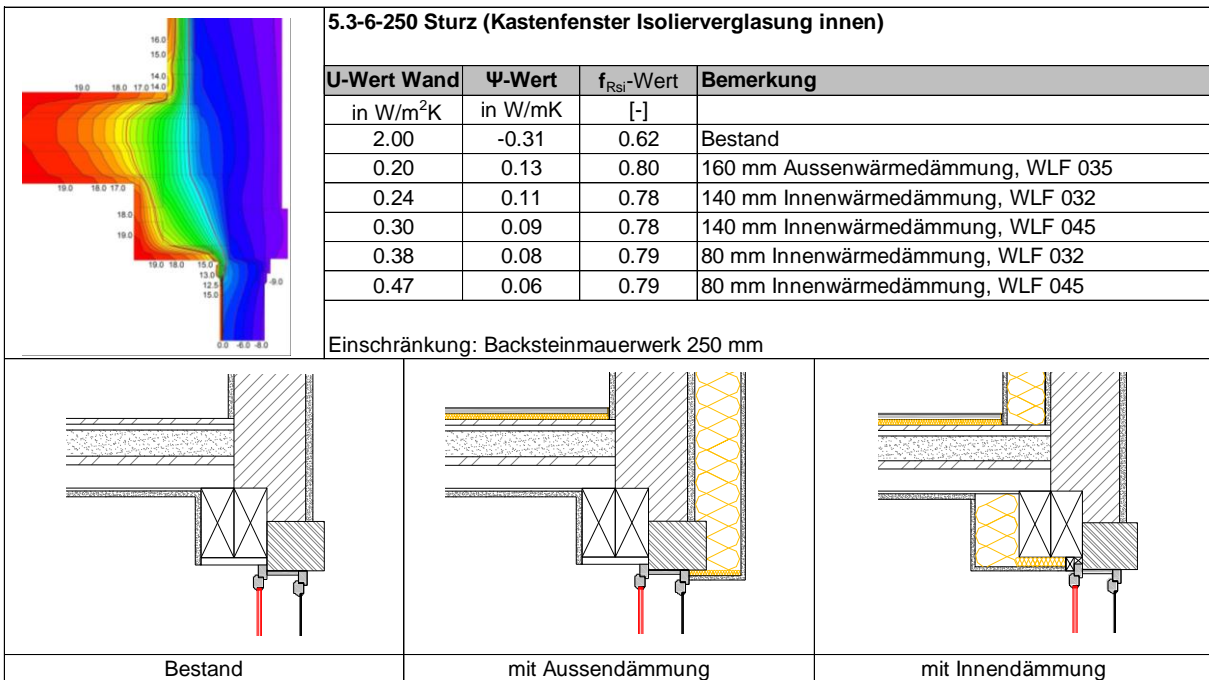
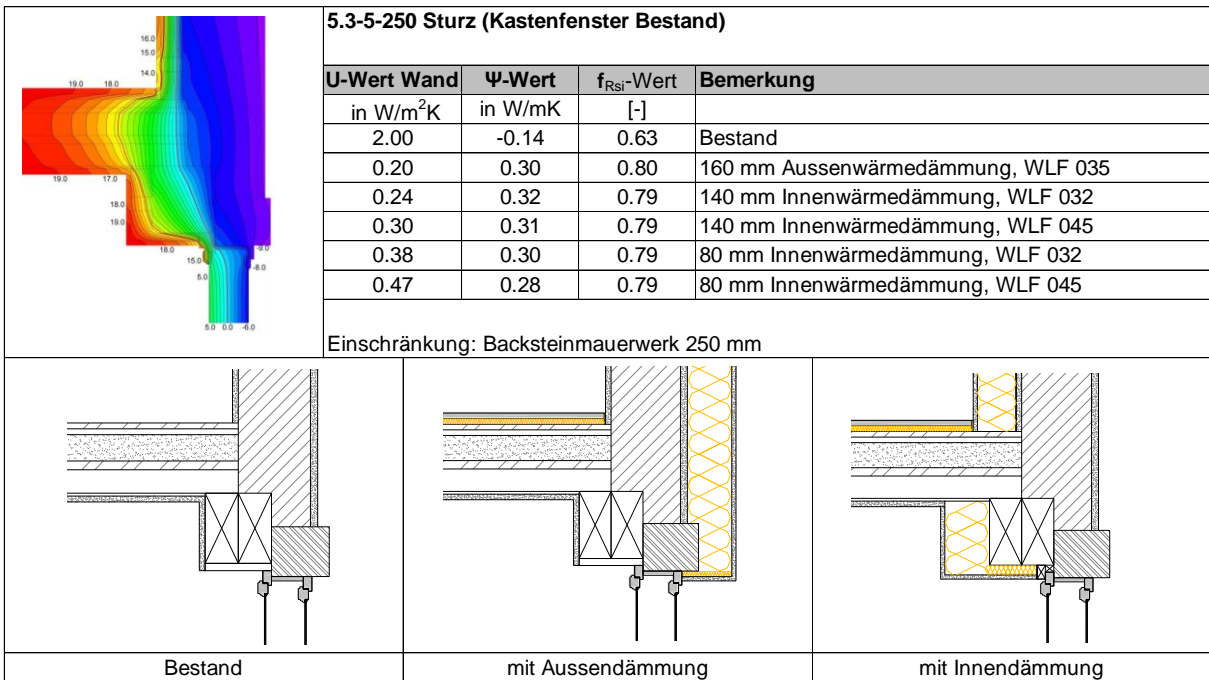
Bestand

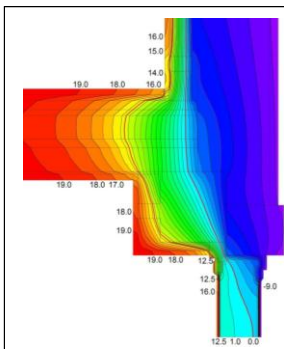


mit Aussendämmung



mit Innendämmung

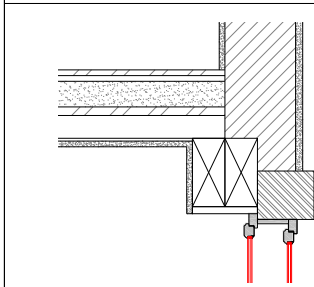




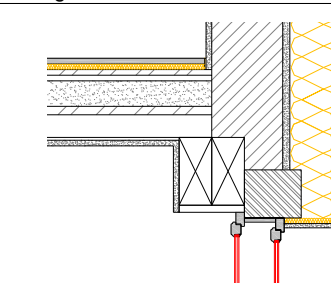
### 5.3-7-250 Sturz (Kastenfenster Isolierverglasung innen aussen)

U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
in $W/m^2K$	in $W/mK$	[-]	
2.00	-0.41	0.63	Bestand
0.20	0.03	0.83	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
0.24	0.04	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.30	0.03	0.79	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
0.38	0.03	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.47	0.04	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045

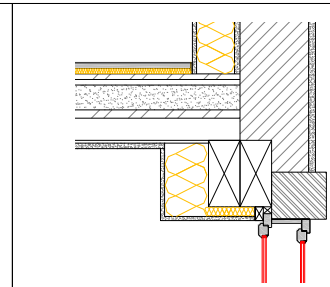
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm



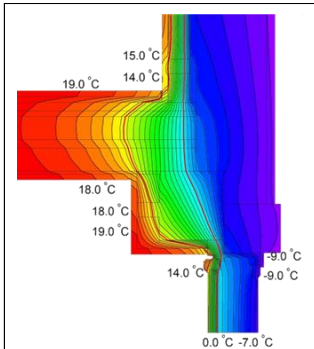
Bestand



mit Aussendämmung



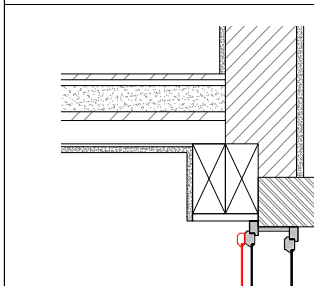
mit Innendämmung



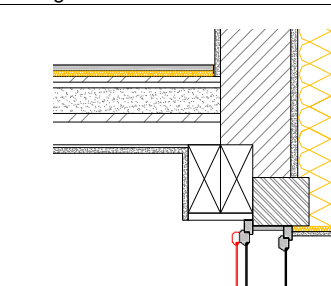
### 5.3-8-250 Sturz (Kastenfenster Aufdopplung innen)

U-Wert Wand	$\Psi$ -Wert	$f_{Rsi}$ -Wert	Bemerkung
in $W/m^2K$	in $W/mK$	[-]	
2.00	-0.20	0.62	Bestand
0.20	0.27	0.78	160 mm Aussenwärmedämmung, WLF 035
0.24	0.25	0.78	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.30	0.25	0.78	140 mm Innenwärmedämmung, WLF 045
0.38	0.20	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 032
0.47	0.19	0.79	80 mm Innenwärmedämmung, WLF 045

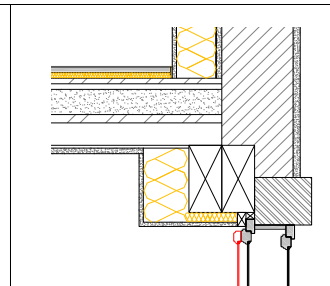
Einschränkung: Backsteinmauerwerk 250 mm



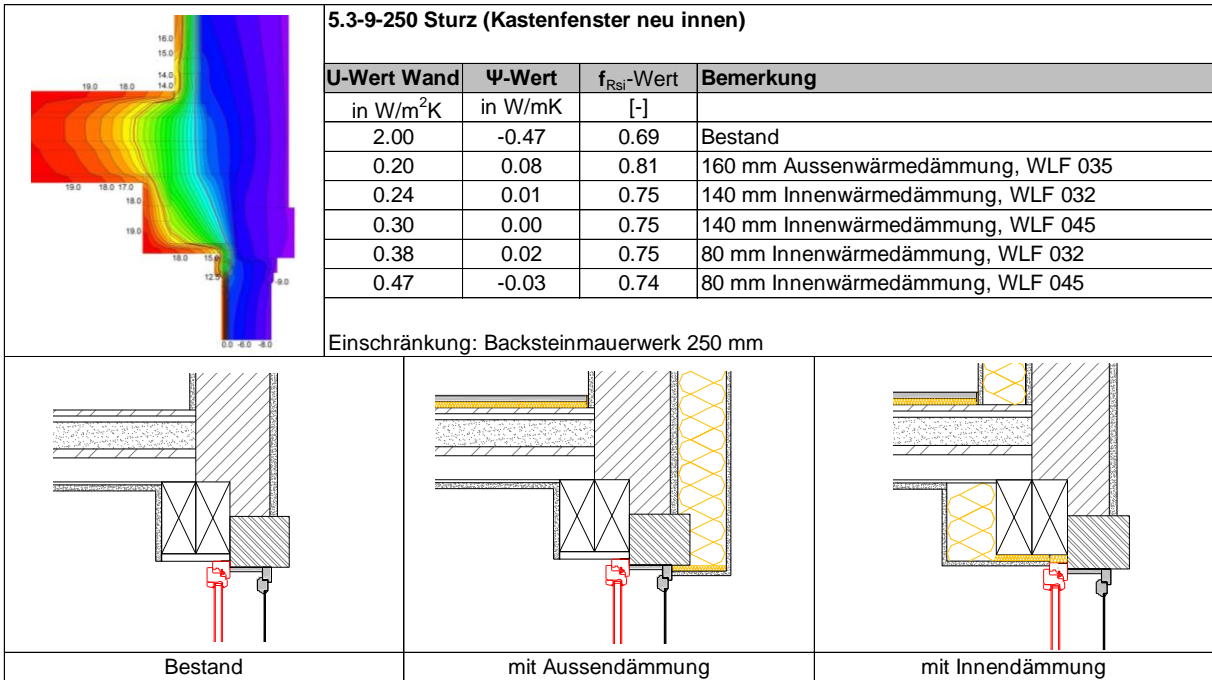
Bestand



mit Aussendämmung



mit Innendämmung



## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Institut für Denkmalpflege und Bauforschung ETH Zürich (2012): Documentation of reference buildings - Constructions of massive built residential buildings during the period 1850 to 1920 (Workpackage 1 Forschungsprojekt SuRHiB)
- [2] SIA Dokumentation D0107 (1993): Wärmebrückenkatalog 3 – Altbaudetails. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [3] SIA 180 (1999): Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [4] SN EN 12524 (2000): Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [5] SN EN ISO 10077-2 (2003): Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [6] SN EN ISO 10211 (2007): Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [7] SN EN ISO 6946 (2007): Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [8] SIA 380/1 (2009): Thermische Energie im Hochbau. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [9] Fermacell, Hrsg.: FERMACELL – Ausbauplatte. <http://www.fermacell.ch/de/content/gipsfaserplatte.php> [02.08.2012]
- [10] Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Hrsg.: Materialdatensammlung für die energetische Altbausanierung. <http://www.masea-ensan.de/> [02.08.2012]
- [11] Flumroc AG, Hrsg.: Flumroc-Dämmplatte COMPACT [http://www.flumroc-dämmplatte.com-pactw.flumroc.ch/downloads/produkteinfo/Compact/Datenblatt\\_Compact\\_d.pdf](http://www.flumroc-dämmplatte.com-pactw.flumroc.ch/downloads/produkteinfo/Compact/Datenblatt_Compact_d.pdf) [02.08.2012]
- [12] Konferenz Kantonalen Energiedirektionen EnDK, Schweizerische Eidgenossenschaft; Bundesamt für Umwelt BAFU; Bundesamt für Energie BFE; Hrsg.: Das Gebäudeprogramm. <http://www.dasgebaeudeprogramm.ch/index.php/de> [02.08.2012]