

## Hinweise zur Bewertung der Wärmebrücken:

### Einleitung

Wärmebrücken sind Schwachstellen in einer Baukonstruktion und verursachen Änderungen des Wärmestroms und der Oberflächentemperaturen. Im Nachweisverfahren für den baulichen Wärmeschutz der Energieeinsparverordnung sind Wärmebrücken ausdrücklich zu berücksichtigen. Ziel ist die einfache Bewertung ausgewählter Ziegel-Details hinsichtlich der Wärmebrückenverluste und Oberflächentemperaturen. Zur Bestimmung der Wärmeverluste durch Transmission werden die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet. Die Rechenergebnisse gelten jeweils für die protokollierten Details und können bedingt auf geringfügig abweichende Konstruktionen übertragen werden. Dies gilt vorrangig für die Ermittlung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi$ .

### Grundlagen

#### Allgemeines

Die Berechnung der Wärmebrücken erfolgt nach EN ISO 10 211. Die Norm schreibt die Randbedingungen für die Ermittlung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  vor. Darüber hinaus enthält die Norm Anforderungen an die Genauigkeit und eine Vorschrift zur Validierung des Berechnungsverfahrens.

Beiblatt 2 zu DIN 4108 beinhaltet eine Vielzahl musterhafter Wärmebrückendetails, die bei entsprechender Umsetzung im Rahmen eines EnEV-Nachweises zur Pauschalierung der Wärmebrückenverluste berechtigen. Die von diesen Details abweichenden Ziegel-Vorzugslösungen sind nach den Regeln des Beiblatt 2 hinsichtlich der Gleichwertigkeit überprüft und im Falle der Nichteinhaltung in den Erläuterungen zu den einzelnen Details gekennzeichnet. Die  $\psi$  - Werte zur detaillierten Nachweisführung sind nach den im Folgenden beschriebenen Verfahren ermittelt.

#### Angewandtes Berechnungsverfahren

Die Wärmebrücken wurden mit einem Programm zur Analyse 2-dimensionaler Wärmebrücken berechnet. Das Programm ist nach DIN EN ISO 10211 validiert. Wärmeströme und Temperaturen werden mit einem numerischen Verfahren iterativ berechnet. Das Objekt wird dabei in viele Einzelteile diskretisiert (Knotennetz). Gemäß DIN EN ISO 10211 wird die Iteration abgebrochen, wenn die Summe aller positiven und negativen Wärmeströme, die in das Objekt eindringen, dividiert durch die halbe Summe der Absolutwerte aller dieser Wärmeströme, kleiner als 0,001 ist. Als Ergebnis der Berechnungen wird der  $\psi$  - Wert mit Bezug auf die Außenmaße angegeben.

## Ziegel-Wärmebrückendetails

### Baustoffdaten

Die Wärmebrückendetails sind mit Angaben zu den maßgebenden Schichtdicken dargestellt. Die verwendeten Materialien sind durch entsprechende Schraffuren und Farben gekennzeichnet und wenn nicht anders angegeben mit folgenden Wärmeleitfähigkeiten versehen:

lfd.-Nr.	Baustoff	s [mm]	$\lambda$ [ W/(m*K) ]
1	Einschaliges Ziegelmauerwerk	300 / 365 / 425	0,07 / 0,11 / 0,14
2	Innenwand	115 / 175 / 240	0,39 / 0,50 / 0,96
3	Wohnungstrennwand	240	0,96
4	Ziegelsturz, Ziegelrollladenkasten, U-Schale		0,30 <sup>1)</sup>
5	Abmauerstein vor Deckenstirn	90	0,5
6	Vormauerziegel	115	0,81
7	Leichtputz - außen	25	0,25
8	Kalkzementputz - außen	10	1,0
9	Gipsputz ohne Zuschlag - innen	15	0,51
10	Zementestrich	60	1,4
11	Erdreich		2,0
12	Dämmung Fußboden		
	Trittschalldämmung	30	0,04
	zusätzliche	30 - 110	0,035
	Estrichdämmung	60 - 120	0,04
	außenliegend im Erdreich	60/100	0,04
	Sockel-/Perimeterdämmung im Erdreich		
13	Dachdämmung		
	Dachdecke	160	0,035
	Zwischensparren	180	0,035
14	Geschossdecke – Stahlbeton armiert	180	2,3
15	Bodenplatte – Stahlbeton armiert	180	2,3
16	Fensterbank – innen: Naturstein	20	3,5
17	Fensterrahmen (Ersatzpaneel)	78	0,13
18	Konstruktionsholz		0,13
1) Wärmeleitfähigkeit des Ziegelscherbens einschließlich Lochung			

Andere Materialien, wie Bodenbeläge, Dichtungsbahnen oder bitumenhaltige Kellerwand-Dichtungen werden in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, dass Ausgleichsziegel aus den jeweiligen Mauersteinen gesägt werden. Folglich wird bei diesen Steinen die Wärmeleitfähigkeit des jeweiligen Mauerwerks angesetzt.

### **Erläuterungen der Details**

Die Wärmebrücken werden im Regelfall für einschalige Außenwände mit den Wanddicken 300, 365 und 425 mm und Wärmeleitfähigkeiten 0,07, 0,11 und 0,14 W/(m\*K) berechnet. Als Außenputz wird eine maximale Dicke von 25 mm Leichtputz und als Innenputz ein 15 mm dicker Gipsputz angesetzt. Bei zusatzgedämmten Außenwänden wird ein Wärmedämmverbundsystem auf 17,5 cm dickem Ziegelmauerwerk zugrunde gelegt. Die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung beträgt 0,035 W/(m\*K), das Mauerwerk wird mit 0,16, 0,5 und 0,96 W/(m\*K) angesetzt. In der Regel stellt die 17,5 cm dicke Wand den ungünstigsten Fall dar. Dickere Hintermauerungen zeigen meist geringfügig günstigere Auswirkungen auf die Wärmebrückenverluste (Weitere Hinweise enthalten die entsprechenden Infotexte zu den Details).

Ähnlich verhält es sich mit den zweischaligen Außenwänden. Die zugrunde gelegte Kerndämmung wird mit den Dämmstärken 80, 140 und maximal 200 mm angesetzt. Die Vormauerziegel sind mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,81 W/(m\*K) berücksichtigt worden.

Die Geschossdecken werden aus 180 mm Stahlbeton gebildet. Die Deckenauflage besteht im Regelfall aus einer 60 mm dicken, zementgebundenen Estrichplatte auf einer 30 mm dicken Trittschalldämmung.

Das Schrägdach wird aus 180 mm hohen und 80 mm breiten Sparren bzw. Pfetten gebildet. Die Zwischensparrendämmung ist ebenfalls 180 mm hoch. Unterhalb der Sparren ist ein geschlossener, 50 mm hoher Luftraum, der raumseitig mit einer 12,5 mm dicken Gipsplatte abgeschlossen wird. Der eindimensionale U-Wert in der Dachfläche beträgt 0,20 W/(m<sup>2</sup>\*K). Dies entspricht dem Referenzwert gemäß EnEV.

Die Fenster- und Fenstertüren werden durchgehend mit einem  $U_w$ -Wert von 1,3 W/(m<sup>2</sup> K), Dachflächenfenster mit  $U_w = 1,4$  W/(m<sup>2</sup> K) angesetzt. Die Simulation erfolgt analog Beiblatt 2 DIN 4108 mit einem sog. Ersatzpaneel, d.h. die Fenster werden aus einem homogenen Material mit der Dicke 78 mm und der Wärmeleitfähigkeit 0,13 W/(m K) rechnerisch in Ansatz gebracht.

## **Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\psi$**

### **Allgemeines**

Die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt nach DIN EN ISO 10211. Die linienförmige Wärmebrücke ist in dieser Norm definiert als die Wärmebrücke mit einem einheitlichen Querschnitt längs einer Achse.

Zur Berechnung der Wärmebrückenverluste wird die Konstruktion, ein Bauteilanschluss oder eine geometrische Wärmebrücke, von den umgebenden Bauteilen frei geschnitten und als 2-dimensionales Modell abgebildet. An den Schnittträgern des Modells wird ein adiabatischer Zustand angenommen, d. h. es treten keine Wärmeverluste senkrecht zur Schnittebene auf. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn der Wärmestrom 1-dimensional durch das Bauteil fließt. Zur Sicherstellung des 1-dimensionalen Wärmestroms an den Schnittträgern muss ein Mindestabstand zur Wärmebrücke von 1,0 m eingehalten werden.

Für die praktische Anwendung, z. B. im Wohnungsbau, ist diese Vorgabe häufig nicht einzuhalten, da die Wärmebrücken in Gebäuden meist weniger als 2 m voneinander entfernt sind.

Bei strenger Berechnung müsste demnach ein ganzes Haus abgebildet und berechnet werden. Als Ergebnis könnte der Wärmeverlust für das gesamte Haus, nicht aber für einzelne Details angegeben werden. Im Keller wird die Situation durch ungleichmäßige Temperaturen im Erdreich weiter verschärft (siehe dazu Abschnitt weiter unten).

Da aber für die Praxis die linearen Wärmebrückenverluste der einzelnen Details interessieren, werden diese für die Berechnung isoliert, d. h. die anschließenden Bauteile werden mit einer Länge von mindestens 1 m abgebildet. Abweichend davon sind bei erdberührten Bauteilen größere Abstände einzuhalten.

Der Fehler durch diese Abweichung von der Praxis ist klein und kann mit Bezug auf die Genauigkeit der Berechnung von Transmissionswärmeverlusten vernachlässigt werden.

### **Berechnung**

Die Berechnung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  erfolgt, indem von dem berechneten Wärmestrom durch das abgebildete Modell die 1-dimensionalen Wärmeströme der Außenbauteile abgezogen werden.

In der Regel ist der außenmaßbezogene lineare Wärmedurchgangskoeffizient positiv, d. h. der Wärmeverlust durch die Wärmebrücke ist größer als in den angrenzenden Bauteilen. Sind die Wärmebrückenverluste jedoch kleiner als in den angrenzenden Bauteilen, wird der außenmaßbezogene lineare Wärmedurchgangskoeffizient negativ.

Die allgemeine Gleichung zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten lautet:

$$\psi = L^{2D} - \sum U_j * l_j \quad [ W/(m*K) ]$$

mit:  $L^{2D}$ : längenbezogener thermischer Leitwert aus 2D-Berechnung in  $W/(m*K)$

Der Wärmestrom  $\Phi$  von Innen nach Außen ergibt sich mit  $L^{2D}$  wie folgt:

$$\Phi = L^{2D} * (\theta_i - \theta_e);$$

mit: U: Wärmedurchgangskoeffizient  
 l: Länge – Außenmaß  
 j: Index für die wärmeübertragenden Bauteile.

Analog zur Berechnung der spezifischen Transmissionswärmeverluste in DIN V 4108-6, wird der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient für die Temperaturdifferenz von 1 K angegeben.

**Hinweis:** Die in den Programmtabellen angegebenen  $\psi$ - Werte dürfen für abweichende Kennwerte linear interpoliert und bedingt auch extrapoliert (auf der sicheren Seite liegend) werden.

### Temperaturfaktor $f_{Rsi}$

#### Allgemeines

Der dimensionslose Temperaturfaktor der Innenoberfläche  $f_{Rsi}$  ist der Quotient der Temperaturdifferenzen Innenoberfläche - Außenluft und Innenluft - Außenluft. Er wird nach DIN 4108-2 bzw. DIN EN ISO 10211-2 wie folgt berechnet:

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

mit:  $\theta$  Temperatur in  $^{\circ}C$   
 Index: e außen  
 i innen  
 s Oberfläche

Wie bei der Ermittlung des linearen Warmebruckenverlustkoeffizienten muss in dem Modell zur Berechnung des Temperaturfaktors an der Innenoberfläche im Regelfall ein Abstand von 1,0 m zum adiabatischen Rand eingehalten werden. Abweichend davon

## **Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\psi$**

### **Allgemeines**

Die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt nach DIN EN ISO 10211. Die linienförmige Wärmebrücke ist in dieser Norm definiert als die Wärmebrücke mit einem einheitlichen Querschnitt längs einer Achse.

Zur Berechnung der Wärmebrückenverluste wird die Konstruktion, ein Bauteilanschluss oder eine geometrische Wärmebrücke, von den umgebenden Bauteilen frei geschnitten und als 2-dimensionales Modell abgebildet. An den Schnittträgern des Modells wird ein adiabatischer Zustand angenommen, d. h. es treten keine Wärmeverluste senkrecht zur Schnittebene auf. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn der Wärmestrom 1-dimensional durch das Bauteil fließt. Zur Sicherstellung des 1-dimensionalen Wärmestroms an den Schnittträgern muss ein Mindestabstand zur Wärmebrücke von 1,0 m eingehalten werden.

Für die praktische Anwendung, z. B. im Wohnungsbau, ist diese Vorgabe häufig nicht einzuhalten, da die Wärmebrücken in Gebäuden meist weniger als 2 m voneinander entfernt sind.

Bei strenger Berechnung müsste demnach ein ganzes Haus abgebildet und berechnet werden. Als Ergebnis könnte der Wärmeverlust für das gesamte Haus, nicht aber für einzelne Details angegeben werden. Im Keller wird die Situation durch ungleichmäßige Temperaturen im Erdreich weiter verschärft (siehe dazu Abschnitt weiter unten).

Da aber für die Praxis die linearen Wärmebrückenverluste der einzelnen Details interessieren, werden diese für die Berechnung isoliert, d. h. die anschließenden Bauteile werden mit einer Länge von mindestens 1 m abgebildet. Abweichend davon sind bei erdberührten Bauteilen größere Abstände einzuhalten.

Der Fehler durch diese Abweichung von der Praxis ist klein und kann mit Bezug auf die Genauigkeit der Berechnung von Transmissionswärmeverlusten vernachlässigt werden.

### **Berechnung**

Die Berechnung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  erfolgt, indem von dem berechneten Wärmestrom durch das abgebildete Modell die 1-dimensionalen Wärmeströme der Außenbauteile abgezogen werden.

In der Regel ist der außenmaßbezogene lineare Wärmedurchgangskoeffizient positiv, d. h. der Wärmeverlust durch die Wärmebrücke ist größer als in den angrenzenden Bauteilen. Sind die Wärmebrückenverluste jedoch kleiner als in den angrenzenden Bauteilen, wird der außenmaßbezogene lineare Wärmedurchgangskoeffizient negativ.

Die allgemeine Gleichung zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten lautet:

Bauteilbereichen nicht vorkommen. Die Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen von erdberührten Konstruktionen sind daher unter diesem Vorbehalt zu werten.

### **Randabstände**

Die DIN EN ISO 10211 legt fest, dass das Erdreich großflächig in dem Wärmebrückenmodell abgebildet wird. Die Gebäudebreite  $b$  wird zu 6,0 m angesetzt. Aus pragmatischen Erwägungen wird das Erdreichmodell zusätzlich analog Beiblatt 2 zu DIN 4108 angewandt. Für die Berechnung der Wärmeströme und der Temperaturverläufe werden die selben geometrischen Abmessungen verwendet.

Anordnung der Schnittebenen im Untergrund:

Richtung	Abmessungen
horizontaler Abstand im Gebäude	1,0 m
horizontaler Abstand außerhalb des Gebäudes	1,0 m
vertikaler Abstand unter Erdbodenniveau	3,0 m
vertikaler Abstand unter Fußbodenniveau - Fußbodenniveau > 2 m unter Erdbodenniveau	1,0 m

### **Berechnung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten**

Für die Berechnung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten müssen wegen der zuvor genannten Bedingungen spezielle Annahmen getroffen werden. Diese Annahmen betreffen die Ermittlung des 1-dimensionalen Wärmestroms und die maßgebliche Wandhöhe.

#### 1-dimensionaler Wärmestrom

Zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten schlägt die DIN EN ISO 13370 ein Näherungsverfahren vor. Dabei wird anstelle des 1-dimensionalen Wärmestroms durch die erdberührte Bodenplatte als Produkt aus U-Wert und Länge der tatsächliche Wärmestrom berechnet. Der an die Außenwand grenzende Rand der Bodenplatte, d. h. die Wärmebrücke, wird dabei adiabatisch abgeschnitten. Ebenso wird die Wand in Höhe des Estrichs von der Wärmebrücke frei geschnitten. Die Randbedingungen Außenluft und Boden sind dabei mit der Berechnung des gesamten

Wärmestroms identisch.

Im vorliegenden Fall der Boden-Wand-Ecke im beheizten Keller wird daher wie folgt vorgegangen:

#### Berechnung des Wärmestroms durch das Detail

Berechnung des Wärmestroms durch Kellerwand und Kellerboden ohne Wärmebrücke; die Ecke ist adiabatisch ausgespart. Das Ergebnis ist der annähernd 1-dimensionale Wärmestrom durch Wand und Boden.

Das Mauerwerk der Wand wird entsprechend variiert, wodurch sich unterschiedliche Wärmeströme in der Wand, und mit geringeren Unterschieden im Boden ergeben.

Berechnung des auf die Innenmaße bezogenen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi_i$ , indem vom 2-dimensionalen Wärmestrom die 1-dimensionalen Wärmeströme durch Wand und Boden abgezogen werden.

Berechnung des auf die Außenmaße bezogenen linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi_e$ , indem vom 2D-Wärmestrom die 1D-Wärmeströme durch Wand und Boden unter Berücksichtigung der Außenmaße, abgezogen werden.

#### Maßgebliche Wandhöhe

In der erdberührten Außenwand eines beheizten Kellers stellt sich wegen des Temperaturgradienten im Boden an keiner Stelle ein 1-dimensionaler Wärmestrom ein. Es kann daher kein eindeutiger Einflussbereich der Wärmebrücke festgelegt werden. Für eine genaue Berechnung müsste der gesamte Keller abgebildet werden. Da aber hier die Auswirkung einzelner Konstruktionsdetails bewertet werden soll, wird die vereinfachende Annahme von Hauser übernommen. Hauser legt in /1/ fest, dass der Wärmestrom durch die untere Wandhälfte der unteren Wärmebrücke und der Wärmestrom durch die obere Wandhälfte der oberen Wärmebrücke zugerechnet wird. Dabei wird eine lichte Kellerhöhe von 2,4 m und eine Höhe der Oberkante des Erdgeschossfußbodens über Gelände von etwa 0,50 m angesetzt.

#### **Luftschichten**


Der Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten wird nach DIN EN ISO 6946 angesetzt:

	R [ (m <sup>2</sup> K)/W ]		
Dicke der Luftschicht in mm	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal	abwärts
10	0,15	0,15	0,15
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21

## **Fenster**

Fenster sind Bauteile, die ihrerseits konstruktionsbedingte Wärmebrücken aufweisen. In den vorliegenden Berechnungen werden die Fenster jedoch bezüglich der wärmebrückenbedingten Wärmeverluste z.B. zwischen Rahmen und Scheibe neutral angesetzt. Dieses Vorgehen erscheint gerechtfertigt, da für diese wärmetechnische Berechnungen der nach DIN EN ISO 10077-1 ermittelte U-Wert für Fenster angesetzt wird. Dieses Verfahren wird gewählt, weil das Ziel der Berechnungen die Bewertung der mauerwerkspezifischen Wärmebrücken bzw. der Anschlusssituation sind. Einflüsse des Abstandhalters der Wärmeschutzverglasung und des Luftspaltes zwischen Flügel und Rahmen bleiben unberücksichtigt.

## **Gleichwertigkeit zu Beiblatt 2 DIN 4108**

Damit ausgewählte Details gleichwertig zu den Konstruktionsempfehlungen des Beiblatt 2 zu DIN 4108 sind, müssen entweder die konstruktiven Gleichwertigkeitskriterien oder die Referenzwerte der Vergleichsdetails nach Berechnung der individuellen Details eingehalten sein. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 3.5 der Norm beschrieben. Im Wärmebrückenkatalog sind entsprechende Hinweise unter  gegeben.

## **Literatur**

/1/ Hauser: Wärmebrückenkatalog auf CD-ROM 1.0. Ing.-Büro Prof. Dr. Hauser, Baunatal, 1999.

## **Normen**

DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte.

DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.

Beiblatt 2 zu DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele.

DIN EN ISO 6946: Bauteile; Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizienten; Berechnungsverfahren.

DIN EN ISO 10 211: Wärmebrücken im Hochbau; Wärmeströme und Oberflächentemperaturen.

DIN EN ISO 13 370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden; Wärmeübertragung über das Erdreich; Berechnungsverfahren.