

**Wärmebrücken- und Konstruktionsatlas**

**für Konstruktionsanschlüsse mit Schaumglasschüttungen**

## 1 Vorwort, Anwendungsbereich und Zielsetzung

Dauerhaft erfolgreiche Planung von Gebäuden bedeutet Beherrschung eines komplexen Integrationsprozesses, der sich aus der sicheren Bewältigung ästhetischer, statischer und bauphysikalischer Aufgabenstellungen zusammensetzt. Für die qualitativ hochwertige Gründung von Gebäuden auf Schaumglasschüttungen zeigt die vorliegende Zusammenstellung Detaillösungen für den Wohnungs- und den Nichtwohnungsbau (Industriebauten, Schulen, öffentliche Gebäude, etc.) auf. Besonderer Augenmerk wird dabei auf die Nachhaltigkeit der Gebäude unter energetischen Gesichtspunkten gelegt: Die Bandbreite der in Bild und Text dargestellten Varianten reicht vom gegenwärtigen Stand der Technik (repräsentiert durch die Anforderungen gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) und den begleitenden Normen) bis hin zu passivhausfähigen Konstruktionen.

Die Details wurden unter funktionalen, gestalterischen, baukonstruktiven und bauphysikalischen Aspekten entwickelt, wobei speziell auf die wärmeschutz-technische Optimierung nach dem aktuellen Stand der Technik Wert gelegt wurde.

Anhand der detaillierten Darstellung der Konstruktionen und der Ergebnisse der thermischen Berechnungen der Anschlussdetails in optischer und tabellarischer Form ist es dem Planer möglich

- einen detaillierten energetischen Nachweis im Sinne der EnEV durch die Angabe von  $\psi$ -Werten zu führen,
- eine Minimierung der Wärmeverluste durch optimierte Detailanschlüsse bereits während der Planungsphase zu initiieren,
- die Vermeidung von Schimmelpilzbildung und Tauwasserausfall sicherzustellen,
- die Gleichwertigkeit zu einem Detail aus DIN 4108 - Beiblatt 2 [6] zu überprüfen, bzw. die dargestellten Detailanschlüsse als Grundlage für Gleichwertigkeitsnachweise heranzuziehen.

## 2 Theoretischer Hintergrund der Wärmebrückenberechnung

### 2.1 Transmissionswärmeverlust beheizter Gebäude

Der spezifische Wärmeverlust über die Gebäudehülleflächen wird nach Gleichung 3-1 berechnet.

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i + H_g + H_U + \sum_j \ell_j \psi_j + \sum_k \chi_k \quad \left[ \frac{W}{K} \right] \quad \text{Gl. 3-1}$$

Mit

$A_i$  als Fläche des Bauteils  $i$  der Gebäudehülle zwischen beheiztem Raum und der Außenluft in  $m^2$  (als Maße von Fenstern und Türen werden die lichten Rohbauöffnungen angesetzt).

$U_i$  als Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils  $i$  der Gebäudehülle zwischen beheiztem Raum und der Außenluft, in  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$H_g$  als stationärer Wärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich, in  $W/K$ .

$H_U$  als spezifischer Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch unbeheizte Räume, in  $W/K$ .

$\ell_j$  als Länge der linienförmigen Wärmebrücke  $j$ , in  $m$ .

$\psi_j$  als längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient, in  $W/(m \cdot K)$ , der Wärmebrücke  $j$  nach Tabellen oder Katalogen erstellt nach DIN EN ISO 10211 [2].

$\chi_k$  als punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient, in  $W/K$ , der punktförmigen Wärmebrücke  $k$ , berechnet nach DIN EN ISO 10211 [2].

Somit setzt sich der Gesamt-Transmissionswärmeverlust eines Gebäudes zusammen aus den Wärmeverlusten der Regelbauteile (Wände, Fenster, Dach, Decken, Bodenplatte, etc.), den linienförmigen Wärmebrücken (also den „Nahtstellen“ der Regelbauteile) und den punktuellen Wärmebrücken. Da die punktuellen Verluste nach DIN 4108 Teil 6 [5] im Rahmen einer energetischen Bilanzierung vernachlässigt werden können, werden im Folgenden nur die längenbezogenen (linienförmigen) Wärmebrückenverluste betrachtet.

## 2.2 Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient

Der „längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient“ ( $\psi$ -Wert) einer Wärmebrücke wird in DIN EN ISO 10211 [2] zur Beschreibung der Wärmeverluste im Bereich von linienförmigen Wärmebrücken eingeführt und gemäß Gl. 3-2 berechnet.

$$\psi = L^{2D} - L^0 = L^{2D} - \sum_k U_{0,k} \cdot \ell_{0,k} \quad \left[ \frac{W}{K} \right] \quad \text{Gl. 3-2}$$

Mit

$\psi$  als Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

$L^{2D}$  als Thermischer Gesamt-Leitwert einer 2-dimensionalen FE-Berechnung nach DIN EN ISO 10211

$L^0$  als Thermischer Leitwert des ungestörten Regelbauteils

$U_{0,k}$  als Wärmedurchgangskoeffizient des Regelbauteils  $k$  für erdberührte Bauteile nach DIN EN ISO 13370 [3], für homogen oder inhomogen geschichtete Bauteile nach DIN EN ISO 6946 [4]

$\ell_{0,k}$  Wirkende Länge des Regebauteils nach DIN EN ISO 13789 [1] mit Außenmaßbezug

Der so genannte „thermischen Leitwerte“  $L^{2D}$  ergibt sich aus numerischen Berechnungen als tatsächlicher Wärmeverlust des betrachteten Abschnittes, d.h. unter Berücksichtigung aller Wärmebrückeneinflüsse. Der thermische Leitwert  $L^0$  stellt den Wärmeverlust eines „gedachten“ ungestörten und ebenen Bauteiles gleicher Abmessung dar. Als Differenz der jeweiligen Leitwerte ergibt sich somit das Mehr an Wärmeverlust, welches aufgrund der von einem ebenen Bauteil abweichenden Geometrie bzw. Konstruktion entsteht. Der  $\psi$ -Wert stellt somit eine Größe zur Beschreibung der thermischen Qualität eines Wärmebrückenanschlusses dar.

### 2.3 Berücksichtigung von Wärmebrückenverlusten kann im Nachweisverfahren nach EnEV 2007 - Anwendung der $\psi$ -Werte

Die Berücksichtigung von Wärmebrückenverlusten kann im Nachweisverfahren nach EnEV 2007 [8] bzw. DIN V 18599-2 [9] mit individuellen  $\psi$ -Werten oder mit verschiedenen, pauschalen Zuschlägen erfolgen.

- 1) Eine pauschale Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile der Gebäudehülle um  $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Bei Anwendung dieser Variante sind aus energetischer Sicht keine weiteren Restriktionen hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung der Bauteilanschlüsse zu beachten. Auf der anderen Seite ist eine ökonomisch sinnvolle Bauplanung auf diesem Wege sicherlich nicht möglich. Ein verantwortungsbewusster Planer wird daher diese Variante in aller Regel unbeachtet lassen.
- 2) Eine pauschale Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile der Gebäudehülle um  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Diese günstigere, weil geringere, pauschale Erhöhung darf nur angesetzt werden, wenn die Bauteilanschlüsse gemäß den Planungsbeispielen nach Beiblatt 2 ausgeführt werden. Sobald also mindestens ein Anschlussdetail nicht in Beiblatt 2 geplant und/oder ausgeführt wird oder werden kann (z.B. weil ein entsprechendes Detail nicht in Beiblatt 2 aufgenommen wurde), kommt unter Berücksichtigung der zu Variante 2 getroffenen Aussage nur eine detaillierte Berechnung gemäß Variante 4 in Frage. In diesem Zusammenhang sei auch noch einmal darauf hingewiesen, dass bei Anwendung des Periodenbilanzverfahrens (vereinfachtes Verfahren) nach EnEV eine Ausführung der Bauteilanschlüsse gemäß Beiblatt 2 geschuldet wird. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Anwendung dieses vereinfachten Verfahrens unzulässig ist, sobald auch nur ein Detail von den Planungsbeispielen nach Beiblatt 2 abweicht (bzw. kein Gleichwertigkeitsnachweis erbracht worden ist).
- 3) Der genaue rechnerische Nachweis der Wärmebrücken mit spezifischen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$ . Bei sorgfältiger Planung lässt sich auf diesem Wege der rechnerische Transmissionswärmeverlust erheblich reduzieren, da der Wärmebrückenanteil dann weitgehend eliminiert wird.

Bei Anwendung dieser Variante sind für jeden Wärmebrückenanschluss der längenbezogene  $\psi$ -Wert und dessen wirksame Länge zu ermitteln. Aufgrund

des Außenmaßbezuges bei der Ermittlung der Transmissionswärmeverluste der Hüllfläche, können sich für die  $\psi$ -Werte auch negative Werte ergeben. Diese können im Zuge einer detaillierten Aufstellung angesetzt werden. Tab. 2-1 zeigt eine solche Aufstellung und den resultierenden Wärmebrückenverlust für ein ausgewähltes Beispiel auf.

Tabelle 2-1: Beispielhafte Ermittlung des Wärmebrückenzuschlages im Zuge einer detaillierten Berechnung der Wärmebrückenverluste

|   | Wärmebrücke           | Anzahl | Länge $l$<br>[m] | Gesamtlänge $l$ | $\psi$ -Wert<br>[W/(mK)]                         | $\psi \cdot l$<br>[W/K] |
|---|-----------------------|--------|------------------|-----------------|--|-------------------------|
| 1 | Außenecke             | 4      | 4,48             | 17,92           | -0,074   | -1,33                   |
| 2 | Außenecke im Erdreich | 4      | 2,81             | 11,24           | -0,045   | -0,51                   |
| 3 | Traufe                | 2      | 11,17            | 22,33           | -0,036   | -0,80                   |
| 4 | Ortgang               | 4      | 6,60             | 26,40           | 0,020  | 0,53                    |
| 5 | Fenster-Brüstung      | 1      | 26,35            | 26,35           | -0,008   | -0,21                   |
| 6 | Fenster-Laibung       | 1      | 79,22            | 79,22           | -0,009   | -0,71                   |
| 7 | Fenster-Sturz         | 1      | 26,35            | 26,35           | -0,015   | -0,40                   |
| 8 | Bodenplatte           | 1      | 40,73            | 40,73           | -0,038   | -1,55                   |
|   |                       |        |                  |                 | $H_{T,WB} =$                                     | -4,98                   |
|   |                       |        |                  |                 | $\Delta U_{WB} = H_{T,WB} / A = -2,0 / 588,23 =$ | -0,0085                 |

## 2.4 Führung eines Gleichwertigkeitsnachweises

Soll die bereits erwähnte reduzierte pauschale Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile der Gebäudehülle um  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  beim EnEV-Nachweis angewendet werden, sind die Bauteilanschlüsse gemäß den Planungsbeispielen in Beiblatt 2 auszuführen. Um einzuschätzen, ob ein zur Ausführung gelangendes Detail gleichwertig zur Ausführung nach Beiblatt 2 ist, stehen drei mögliche Wege für den Nachweis der Gleichwertigkeit zur Verfügung. Demnach ist die Gleichwertigkeit gegeben, wenn:

- 1) eine eindeutige Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips sowie der Materialabmessungen und Wärmeleitfähigkeiten zu einem in Beiblatt 2 dargestellten Details möglich ist, oder
- 2) eine eindeutige Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips zu einem in Beiblatt 2 dargestellten Detail möglich ist und bei Schichten mit abweichender Wärmeleitfähigkeit durch eine Anpassung der Schichtdicke ein äquivalenter Wärmedurchlasswiderstand erreicht wird, oder
- 3) mit Hilfe einer numerischen Berechnung nach DIN EN ISO 10211 [2] unter Verwendung der Randbedingungen aus Beiblatt 2 der bei dem korrespondierenden Ausführungsbeispiel gemäß Beiblatt 2 genannte Referenz- $\psi$ -Wert eingehalten oder unterschritten wird. Zusätzlich ist zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum im ungünstigsten Punkt die Einhaltung eines Temperaturfaktors  $f_{Rsi} \geq 0,7$  notwendig, so wie dies auch bei allen in Beiblatt 2 dargestellten Detaillösungen der Fall ist (zumindest im zweidimensionalen Fall).

Alternativ zur numerischen Berechnung der  $\psi$ -Werte können Ergebnisse aus Wärmebrückenkatalogen bzw. -atlanten oder produktspezifischen Detailkatalogen verwendet werden, deren Berechnungen auf den in Beiblatt 2 festgelegten Randbedingungen basieren. Der vorliegende Atlas erfüllt diese Forderung.

### 3 Grundlagen der Berechnung von Wärmebrückenanschlüssen

Die bei den Berechnungen dieses Atlases angesetzten Randbedingungen wurden der DIN EN ISO 10211 [2] entnommen. Sie stellt die grundlegende Norm für die Berechnung von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrückenanschlüssen dar und legt die folgenden Spezifikationen für die Berechnung fest:

- die geometrischen Randbedingungen,
- die Unterteilungen des Modells (Schnittebenen etc.),
- die wärmetechnischen Randbedingungen und
- die zu verwendenden wärmeschutztechnischen Kennwerte und Beziehungen.

Bei allen Berechnungen wurden die Materialkenngrößen so gewählt, dass stets die ungünstigsten Werte ( $\psi$  und  $\theta$ ) zu erwarten waren.

Die Berechnungen erfolgten in Form von Computersimulationen auf Grundlage der Finiten-Elemente-Methode.

#### 3.1 Wärmeschutztechnischen Kennwerte

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe sind DIN EN 12524 [7] entnommen. Die Wärmeleitfähigkeit des Bodens wurde nach [1] bzw. [3] zu 2,0 W/(m·K) angesetzt. Für die Leitfähigkeit der Schaumglasschüttung wurden zwei Stützwerte nach [10] angesetzt. Es wurden die Wärmeleitfähigkeiten nach Tab. 4-1 angesetzt.

Tabelle 4-1: Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen nach [1], [7] und [10]

| Material                                    | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/(m·K)] |
|---|---------------------------------|
| Außenputz- und Sockelputzsystem             | 0,87                            |
| Dämmung (Trittschall-)                      | 0,04                            |
| Dämmung (Außenwand-)                        | 0,040 • 0,035                   |
| Stb.-Bodenplatte                            | 2,30                            |
| Innenputz                                   | 0,70                            |
| Estrich auf Trennlage                       | 1,4                             |
| Randdämmstreifen                            | 0,04                            |
| Schaumglasschüttungen                       | 0,08 (0,14)                     |
| Geotextil / Filtervlies                     | -                               |
| Boden /Verfüllmaterial teilweise verdichtet | 2,00                            |
| Abdichtung nach DIN 18195                   | -                               |

### 3.2 Thermische Randbedingungen

Für die Berechnungen wurden die Temperaturen nach Tab. 4.2-1 und die Wärmeübergangswiderstände nach Tab. 4.2-2 angesetzt.

Tabelle 4.2-1: Temperaturrandbedingungen nach [2]

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Lufttemperatur innen | 20 °C |
| Lufttemperatur außen | -5 °C |

Tabelle 4.2-2: Wärmeübergangswiderstände nach [4]

|                                     | Richtung des Wärmestroms |            |         |
|-------------------------------------|--------------------------|------------|---------|
|                                     | Abwärts                  | Horizontal | Abwärts |
| $R_{si}$<br>[(m <sup>2</sup> ·K)/W] | 0,10                     | 0,13       | 0,17    |
| $R_{se}$                            | 0,04                     |            |         |

ANMERKUNG: Die Wärmeübergangswiderstände beziehen sich auf Oberflächen, die mit der Luft in Berührung stehen. Der Wärmeübergangswiderstand ist nicht anwendbar, wenn die Oberfläche ein anderes Material berührt.

## 4 Berechnungswerte und Variationen

Die dargestellten Modelle wurden stets in einer großen Variationsbreite berechnet. Eingangswerte und die zu jeder Variation ermittelten Ausgangswerte sind Tab. 5-1 und Tab. 5-2 zu entnehmen.

Tabelle 5-1: Variierte Eingangswerte der Modelle

|             | Beschreibung   | Untersuchte Varianten                                |
|-------------|--|--|
| $d_1$       | Dicke der Wärmedämmung der Außenwand in [m]  | 0,10 • 0,12 • 0,14 •<br>0,16 • 0,20 • 0,30           |
| $d_2$       | Dicke der Schaumglasschüttung SGS in [m]   | 0,15 • 0,20 • 0,25 •<br>0,30 • 0,40 • 0,70           |
| $\lambda_1$ | Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung der Außenwand in [W/(m·K)]                             | 0,040 • 0,035  |
| $\lambda_2$ | Wärmeleitfähigkeit SGS-Schicht unter der Bodenplatte (Mindestdicke) in [W/(m·K)] nach [10] | Schaumglasschüttung 0,08<br>Schaumglasschüttung 0,14 |
| <b>D</b>    | Bei nicht durchlaufender Dämmung die Länge der „horizontalen Randdämmung“                  | 2,0 • 3,0 • 4,0 • 5,0                                |

Tabelle 5-2: Ausgangswerte der variierten Modelle

|                 | Beschreibung   |
|-----------------|--|
| $\psi$          | längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Anschlusses der Außenwand an die Bodenplatte nach DIN EN ISO 10211 |
| $\theta_{\min}$ | Minimale Oberflächentemperatur auf der Fußbodenoberfläche  |

## 5 Fazit und Ausschlussklausel

Die in diesem Atlas abgebildeten Details sind als gleichwertige Lösungen in Bezug auf die in Beiblatt 2 aufgezeigten Beispielen anzusehen. Es sei darauf hingewiesen, dass die hier aufgeführten Konstruktionen den Planer nicht von seiner Pflicht entbinden, die Konstruktionen nach dem aktuellen Stand der Technik den örtlichen Gegebenheiten z.B. hinsichtlich des Feuchte, Brand- und des Schallschutzes sowie den statischen Erfordernissen anzupassen.

## 6 Literatur

- [1] DIN EN ISO 13789 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren“, Beuth-Verlag, April 2008
- [2] DIN EN ISO 10211 „Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen“, Beuth-Verlag, April 2008
- [3] DIN EN ISO 13370 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren“, Beuth-Verlag, April 2008
- [4] DIN EN ISO 6946 „Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren“, Beuth-Verlag, April 2008
- [5] DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“, Beuth-Verlag, Juni 2003
- [6] DIN 4108, Beiblatt 2 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele“, Beuth-Verlag, März 2006
- [7] DIN EN 12524 „Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften, Tabellierte Bemessungswerte, Beuth-Verlag, Juli 2000
- [8] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), 24. Juli 2007
- [9] DIN V 18599-2 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen“, Beuth-Verlag, Juli 2005.

# Wärmeübertragung über das Erdreich nach DIN EN ISO 13370

## Vorbemerkungen zum Berechnungsprogramm der Wärmeübertragung über das Erdreich nach DIN EN ISO 13370

### I. Allgemeines zum Berechnungsprogramm

Mit dem vorliegenden Programm wird die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$ , des stationären thermischen Leitwertes  $L_s$  und des äußeren harmonischen thermischen Leitwertes  $L_{pe}$  für die Wärmeübertragung aus einer beheizten Zone über das Erdreich an die Außenluft wiedergegeben. Dabei zielt der stationäre thermische Leitwert auf feste, d.h. stationäre Klimarandbedingungen ab, wohingegen im äußeren harmonischen thermischen Leitwert instationäre Außentemperaturen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) und damit verbunden die Wärmespeicherfähigkeit und die Phasenverschiebung bei der Wärmeübertragung über das Erdreich berücksichtigt werden. Die Wärmeströme über erdberührte Bauteile werden für die verschiedenen betrachteten Varianten jeweils zahlenmäßig und graphisch dargestellt.

Die Angabe der Wärmeübergangskoeffizienten ( $U$ -Werte) erfolgt primär unter dem Aspekt, dem Programmierer einen bekannten Vergleichswert zur Einstufung der wärmedämmtechnischen Qualität

erdberührter Bauteile zu liefern.

Der  $U$ -Wert geht darüber hinaus nach der Gleichung  $L_s = U \cdot A$  in die Berechnung des stationären thermischen Leitwertes ein.

Berücksichtigung findet der stationäre thermische Leitwert  $L_s$  im Rahmen der Energieeinsparverordnung bei der Berechnung der spezifischen Transmissionswärmeverluste  $H_T$  für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen.

Der äußere harmonische thermische Leitwert  $L_{pe}$  kann bei der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs  $Q_h$  in der EnEV alternativ zur Verwendung der Reduktionsfaktoren  $F_{x,i}$  erdberührter Bauteile verwendet werden. Damit ist eine genauere Erfassung der Wärmeübertragung über das Erdreich, insbesondere der Speicherfähigkeit des Erdreiches und der damit verbundenen zeitlichen Verzögerung der Temperaturveränderung von Bauteilen die im Kontakt zum Erdreich stehen, möglich.