

Beim baulichen Wärmeschutz rücken infolge der Einführung der Energieeinsparverordnung Wärmebrücken in der Wärme tauschenden Hüllfläche und die Luftdichtheit der Gebäudehülle vehement in den Vordergrund. Durch die Einbeziehung beider Phänomene in das Rechenverfahren zur Bestimmung der wesentlichen Anforderungsgrößen der Energieeinsparverordnung, dem Jahres-Primärenergiebedarf, werden Wärmebrücken und Luftdichtheit zu wesentlichen Planungs- und Ausführungskriterien. Die KS-Industrie bietet zu beiden Aufgaben Hilfsmittel an:

- CAD-Details

von zahlreichen Anschlussdetails aus dem Mauerwerksbau [1] mit Darstellungen der Maßnahmen zur Erlangung einer ausreichenden Luftdichtheit und zur Integration in andere CAD-Software und ein

- KS-Wärmebrückenkatalog

mit detailliert vermaßten Bauteilanschlüssen und quantifizierten Wärmebrückenwirkungen.

Für die leichtere Handhabung dieser Planungsinstrumente werden zunächst die Phänomene, ihre Kennzeichnung und die Art ihrer Berücksichtigung in der Energieeinsparverordnung beschrieben.

1 PHÄNOMEN WÄRMEBRÜCKEN

Als Wärmebrücke bezeichnet man Bereiche in der Wärme tauschenden Hüllfläche eines Gebäudes, bei denen aufgrund

- von Materialwechseln in der Bauteilebene (nebeneinander liegende Bereiche) bzw.

- der Bauteilgeometrie

während der Heizperiode gegenüber dem ungestörten Bauteil erhöhte Wärmeabflüsse und tiefere innere Oberflächentemperaturen auftreten. Man spricht von stoff- oder geometriebedingten Wärmebrücken. Häufig liegt eine Überlagerung der Phänomene durch das Auftreten beider Ursachen vor.

Durch die während der letzten Jahre erfolgten Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes ist die Bedeutung von Wärmebrücken im Hinblick auf die Wärmeverluste erheblich gewachsen. Die inneren Oberflächentemperaturen hingegen steigen

mit verstärktem Wärmeschutz in der Regel an. Ausnahmen bilden partiell angebrachte Innendämmungen.

2 BERECHNUNG UND KENNZEICHNUNG DER WÄRMEBRÜCKENWIRKUNGEN

2.1 Zusätzliche Wärmeverluste

Die infolge von Wärmebrücken zusätzlich auftretenden Transmissionswärmeverluste können gekennzeichnet werden durch Wärmebrückenverlustkoeffizienten, welche die Wärmebrückenverluste bei linienförmigen Wärmebrücken pro laufendem Meter mit ψ und bei punktförmigen Wärmebrücken je Wärmebrücke mit χ , bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz, angeben. Die Einheit ist $W/(m \cdot K)$ bzw. W/K .

Die Transmissionswärmeverluste der Wärme tauschenden Hüllfläche eines Gebäudes betragen pro K Temperaturdifferenz

$$H_T = \sum_i F_i \cdot U_i \cdot A_i + \sum_j F_j \cdot \psi_j \cdot \lambda_j + \sum_k F_k \cdot \chi_k$$

mit

- F Temperaturkorrekturfaktor des Bauteils oder der Wärmebrücke
- U Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils [$W/(m^2 \cdot K)$]
- A Fläche des Bauteils [m^2]
- l Länge der linearen Wärmebrücke [m]
- y längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient [$W/(m \cdot K)$]
- c punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/K]

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (bislang k-Wert) errechnet sich aus

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}}$$

mit

- h_i Wärmeübergangskoeffizient innen [$W/(m^2 \cdot K)$]
- h_e Wärmeübergangskoeffizient außen [$W/(m^2 \cdot K)$]
- d Dicke der Schicht j [m]
- l Wärmeleitfähigkeit der Schicht j [$W/(m \cdot K)$]

Die Wärmeübergangskoeffizienten werden im Zuge der europäischen Normung mit h bezeichnet – früher α – und können Tafel 2 entnommen werden.

Die Definition der Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ (zum Teil auch lineare Wär-

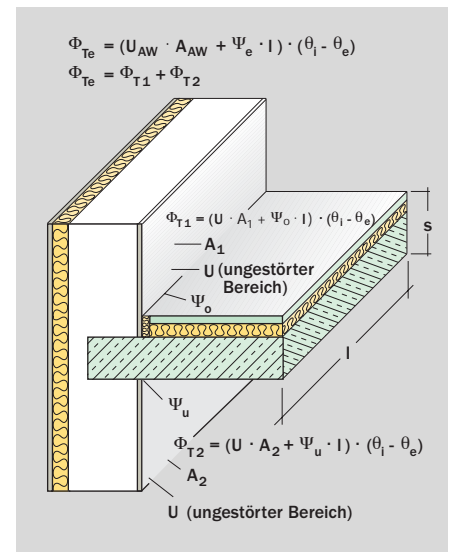


Bild 1: Definition der Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ

medurchgangskoeffizienten genannt) sowie deren Umrechnung von Innen- auf Außenmaßbezug geht aus Bild 1 hervor.

Regelmäßig auftretende punktförmige Wärmebrücken können auch über einen Zuschlag ΔU zum Wärmedurchgangskoeffizienten erfasst werden, um die Wirkung anschaulicher zu machen

2.2 Raumseitige Oberflächentemperaturen

Die Darstellung der Temperaturverteilung innerhalb eines Bauteils und auf den Bauteiloberflächen erfolgt am anschaulichsten farbige, wobei der Farbe rot üblicherweise hohe, der Farbe blau tiefe Temperaturen zugeordnet werden. In eine mathematische Schreibweise übertragen beinhaltet dies die Verwendung eines dimensionslosen Temperaturdifferenzverhältnisses Θ [2, 3, 4] in [5] mit Temperaturfaktor f bezeichnet, gemäß folgender Definition

$$\Theta = f = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

mit

- θ_{si} Oberflächentemperatur innen [$^{\circ}C$]
- θ_e Lufttemperatur außen [$^{\circ}C$]
- θ_i Lufttemperatur innen [$^{\circ}C$]

Eine eventuelle Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperatur in $^{\circ}C$ kann gemäß folgender Gleichung erfolgen

$$\theta_{si} = f \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e$$

Ein f-Wert von 0,7 entspricht somit bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C und einer Außenlufttemperatur von -5 °C einer Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Für eindimensionale Fälle kann f über folgende Gleichung

$$f = 1 - U/h_i$$

berechnet werden.

2.3 Raumecken

In den Ecken eines Raumes treffen drei zweidimensionale Wärmebrücken zusammen und es entstehen dreidimensionale Temperaturfelder. Während der Heizperiode stellen sich in diesen Ecken tiefere innere Oberflächentemperaturen ein als in den Bereichen der zweidimensionalen Wärmebrücken, den Kanten. Somit liegt dort ein erhöhtes Risiko einer Schimmelpilzbildung oder gar Tauwasserbildung vor.

Eine rechnerische Abschätzung des Temperaturfaktors f_{Rsi}^{3D} in diesem dreidimensionalen Bereich, die zu Ergebnissen führt, die auf der sicheren Seite liegen, kann gemäß DIN EN ISO 10211-2 [6] über folgende Gleichung erfolgen (die U-Werte der einzelnen Bauteile dürfen sich dabei um nicht mehr als den Faktor 1,5 unterscheiden):

$$f_{Rsi}^{3D} = \frac{1}{\frac{1}{f_{Rsi}^{2D,x}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,y}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,z}} - \frac{2}{f_{Rsi}^{1D}}}$$

Dabei sind

- $f_{Rsi}^{2D,x}$ die minimalen Temperaturfaktoren der linienförmigen Wärmebrücken längs der x-Achse (gleich für y- bzw. z-Achse)
- f_{Rsi}^{1D} der arithmetische Mittelwert der Temperaturfaktoren der wärmetechnisch homogenen Teile neben den linienförmigen Wärmebrücken

Zur Veranschaulichung enthält Bild 2 eine dreidimensionale Raumecke mit den Temperaturfaktoren der ungestörten Bauteilbereiche (eindimensionaler Fall), der Kanten (zweidimensionaler Fall) und der Ecke (dreidimensionaler Fall). Die obige Näherungsformel ergibt statt des exakten Wertes von 0,73 den Wert von 0,69.

3 BERÜCKSICHTIGUNG DER WÄRMEBRÜCKENWIRKUNG IN DER ENERGIEEINSPARVERORDNUNG

Gemäß DIN EN 832 [7] bzw. EN ISO 13789 [8] sind im Rahmen der Ermittlung des Transmissionswärmebedarfs $Q_{i,T}$ Wärmebrückeneffekte bei der Monatsbilanzierung über H_T (vgl. 2.1) und bei der Heizperiodenbilanzierung nach folgender Gleichung zu erfassen:

$$Q_{i,T} = F_{Gt} \cdot \left(\sum_i F_i \cdot U_i \cdot A_i + \sum_j F_j \cdot \psi_j \cdot \lambda_j + \sum_k F_k \cdot \chi_k \right)$$

- mit
- F_{Gt} Faktor zur Berücksichtigung der Heizgradtagzahl
- F Temperatur-Korrekturfaktor
- U Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) [W/(m²·K)]
- A Bauteilfläche [m²]
- l Länge der Wärmebrücke [m]
- ψ längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(m·K)]
- c punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/K]

Wenngleich für viele Details ψ - und χ -Werte aus entsprechenden Katalogen und Atlanten [2, 3, 9, 10] entnommen werden können, erscheint diese Vorgehensweise für gewöhnliche Nachweise zu aufwendig. Deshalb wurde bereits in [11] ein Pauschalierungsansatz nach folgender Definition vorgeschlagen:

$$Q_{i,T} = F_{Gt} \cdot \left(\sum_i F_i \cdot U_i \cdot A_i + \Delta U_{WB} \cdot A_{ges} \right)$$

Die Bestimmung des Transmissionswärmebedarfs kann hiernach unter Berücksichtigung aller Bauteile der Wärme übertragenden Umfassungsfläche und der Wärmebrückeneffekte wie folgt vorgenommen werden:

$$Q_{i,T} = F_{Gt} \cdot (U_{AW} \cdot A_{AW} + U_W \cdot A_W + F_D \cdot U_D \cdot A_D + F_G \cdot U_G \cdot A_G + U_{DL} \cdot A_{DL} + F_{AB} \cdot U_{AB} \cdot A_{AB} + \Delta U_{WB} \cdot A_{ges})$$

- mit
- U Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) [W/(m²·K)]
- A Bauteilfläche [m²]
- F Temperaturkorrekturfaktor
- Indices: AW Außenwand
- W Fenster
- D Dach
- G gegen Erdreich
- DL Decke nach unten gegen Außenluft
- AB gegen unbeheizte Räume

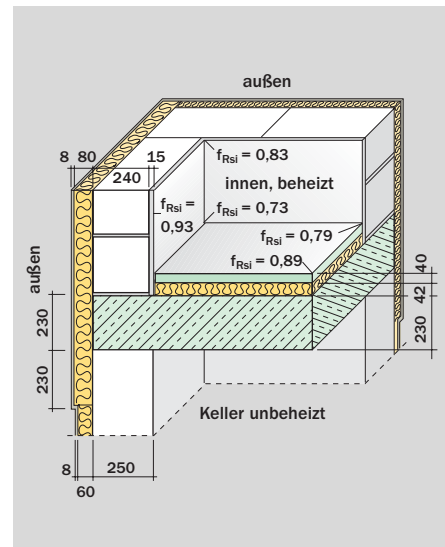


Bild 2: Dreidimensionale Raumecke mit Angabe der Temperaturfaktoren f

WB	Wärmebrücke
ges	gesamte Wärme übertragende Hüllfläche

Als ΔU_{WB} -Wert wird 0,10 W/(m²·K) vorgesehen, es sei denn, die Regelkonstruktionen entsprechen den in DIN 4108, Beiblatt 2 [12] dargestellten Musterlösungen. Für diesen Fall darf ΔU_{WB} zu 0,05 W/(m²·K) angesetzt werden. Unbenommen bleibt der detaillierte Nachweis über die einzelnen ψ -Werte z.B. aus Wärmebrücken-Atlanten.

Hierdurch wird es möglich, den detaillierten Nachweis relativ rasch zu führen und bei guten Anschlussausführungen zu kostengünstigen Ausbildungen des Gesamtwärmeschutzes zu gelangen. Die Wirkung einer Veränderung des ΔU_{WB} -Wertes von 0,05 auf 0,01 W/(m²·K) geht für ein Einfamilienhaus aus Tafel 1 und für ein Mehrfamilienhaus aus Tafel 2 hervor. Der Wechsel von einem Niedertemperatur- auf einen Brennwertkessel führt beim baulichen Wärmeschutz zu den gleichen Erleichterungen wie eine ΔU_{WB} -Minderung um 0,04 W/(m²·K). Es ist zu vermuten, dass in zahlreichen Fällen der detaillierte Nachweis gewählt werden wird, um mit möglichst geringen baulichen Investitionskosten die geforderten Anforderungen einzuhalten.

Tafel 1: Mögliche wärmeschutztechnische Ausbildung von Außenbauteilen, um die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung '95 [13] und der Energieeinsparverordnung [14] bei einem frei stehenden Einfamilienhaus einzuhalten (NT – Niedertemperatursystem $e_p = 1,66$ (WSVO) bzw. $e_p = 1,62$ (EnEV); BW – Brennwertsystem $e_p = 1,50$).

Bauteilfläche [m ²]	WSVO		EnEV						
	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	n = 0,6; $\Delta U_{WB} = 0,05$; NT		n = 0,6; $\Delta U_{WB} = 0,05$; BW		n = 0,6; $\Delta U_{WB} = 0,01$; NT		
			U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	
Fenster N	5,5	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Fenster S	12,5	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Fenster O	6,6	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Fenster W	6,6	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Außenwand N	30,3	0,42		0,3		0,35		0,35	
Außenwand S	23,2	0,42		0,3		0,35		0,35	
Außenwand O	24,3	0,42		0,3		0,35		0,35	
Außenwand W	26,4	0,42		0,3		0,35		0,35	
Dach O	42,5	0,24		0,21		0,22		0,22	
Dach W	42,5	0,24		0,21		0,22		0,22	
Kehlbalkendecke	36	0,27		0,21		0,22		0,22	
Kellerdecke	84	0,43		0,35		0,36		0,36	
Haustür O	2,1	1,8		1,8		1,8		1,8	
Bodenplatte	12	0,56		0,56		0,56		0,56	
Wand zu Erdreich	10	0,53		0,53		0,53		0,53	
Kellerinnenwand	20,5	0,92		0,63		0,92		0,63	
Kellerinnentür	4,2	1,6		1,6		1,6		1,6	
mittlerer U-Wert		0,43		0,32		0,36		0,36	

Tafel 2: Mögliche wärmeschutztechnische Ausbildung von Außenbauteilen, um die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung '95 [13] und der Energieeinsparverordnung [14] bei einem frei stehenden Mehrfamilienhaus einzuhalten (NT – Niedertemperatursystem $e_p = 1,41$ (WSVO) bzw. $e_p = 1,46$ (EnEV); BW – Brennwertsystem $e_p = 1,35$).

Bauteilfläche [m ²]	WSVO		EnEV						
	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	n = 0,6; $\Delta U_{WB} = 0,05$; NT		n = 0,6; $\Delta U_{WB} = 0,05$; BW		n = 0,6; $\Delta U_{WB} = 0,01$; NT		
			U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]	
Fenster N	86,63	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Fenster S	86,63	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Fenster O	24,75	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Fenster W	24,75	1,7	0,72	1,4	0,58	1,4	0,58	1,4	0,58
Außenwand N	259,88	0,53		0,3		0,35		0,35	
Außenwand S	259,88	0,53		0,3		0,35		0,35	
Außenwand O	74,25	0,53		0,3		0,35		0,35	
Außenwand W	74,25	0,53		0,3		0,35		0,35	
Flachdach horiz.	504	0,27		0,27		0,33		0,33	
Kellerdecke	504	0,49		0,43		0,55		0,49	
Haustür O	8,4	1,8		1,8		1,8		1,8	
mittlerer U-Wert		0,51		0,41		0,45		0,45	

4 PHÄNOMEN LUFTDICHTHEIT

Die Luftdichtheit ist aus verschiedenen Gründen zu fordern:

- Zugerscheinungen

Infolge von Undichtheiten in der Gebäudehülle treten bei hohen Windgeschwindigkeiten im Gebäudeinneren Zugbelastungen auf, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit führen.

- Bauschäden

Durch Undichtheiten in der Gebäudehülle kann bei einem Überdruck im Gebäude-

inneren feuchtwarme Luft in die Konstruktion einströmen und bei ausreichender Verweildauer in der Konstruktion relativ große Mengen Wasserdampf an die Konstruktion abgeben. Hieraus resultieren erhebliche Bauschäden, da der Transportmechanismus der Konvektion um ein Vielfaches mächtiger ist als der Diffusionstransport. Insbesondere Durchfeuchtungsschäden von Dachkonstruktionen resultieren in den meisten Fällen aus Konvektions- und nicht wie häufig geglaubt aus Diffusionsvorgängen. Bei Unterdruck im Gebäudeinneren entstehen keine Schäden, jedoch schwanken Über- und Unterdruckverhältnisse permanent.

- Energieverbrauch

Infolge von Undichtheiten entstehen unkontrollierbare, dem Bedarf nicht angepasste Lüftungsvorgänge und damit Energieverluste. Nicht der Bedarf des Gebäudenutzers entscheidet bei Undichtheiten über den Luftaustausch sondern die Meteorologie in Form der Anströmungsverhältnisse, so dass häufig ein unnötiger und damit energieverbrauchssteigernder Luftaustausch erfolgt.

5 BESTIMMUNG UND KENNZEICHNUNG DER LUFTDICHTHEIT

Die Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden wird über das so genannte Blowerdoor-Verfahren durchgeführt. Hierbei wird in eine Öffnung in der Gebäudehülle, z.B. in die Haustür, ein Ventilator eingesetzt, der so eingestellt wird, dass er eine Druckdifferenz von 50 Pascal Über- oder Unterdruck in dem Gebäude erzeugt. Der bei dieser Druckdifferenz durch den Ventilator anfallende Volumenstrom bietet ein Maß für die Luftdichtheit des gesamten Gebäudes als integralen Wert. Dieser Volumenstrom wird alternativ auf das Gebäudevolumen oder die Nettogrundfläche des Gebäudes bezogen und wie folgt gekennzeichnet:

$$\text{Volumenbezug: } n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{VL_{\text{Geb.}}}$$

$$\text{Flächenbezug: } NBV_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_N}$$

Gemäß DIN 4108-7:2001-08 [15] gelten folgende Anforderungen:

- Gebäude ohne raumluftechnische Anlagen $n_{50} < 3,0 \text{ h}^{-1}$ bzw. $NBV_{50} < 7,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen (auch Abluftanlagen) $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ bzw. $NBV_{50} < 3,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

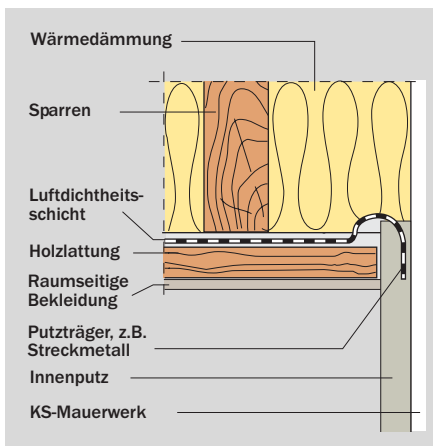


Bild 3: Beispielhafte Ausführung des Anschlusses einer Luftdichtheitschicht an eine Wand aus verputztem Mauerwerk [DIN 4108-7:2001-08]

„Beim Mauerwerk ist es in der Regel zum Herstellen einer ausreichenden Luftdichtheit erforderlich, eine Putzlage aufzubringen“, wie DIN 4108-7 ausführt. Diese Putzschicht sollte nach Möglichkeit bis zur Oberkante der Rohdecke geführt werden, um den Anschluss weiterer Luftdichtheitschichten zu erleichtern.

Im Mauerwerksbau haben sich das Einputzen (Bild 3) wie auch das Anklemmen (Bild 4) der Luftdichtheitschicht in Form einer Folie bewährt und können empfohlen werden.

6 BERÜCKSICHTIGUNG DER LUFTDICHTHEIT IN DER ENERGIEEINSPARVERORDNUNG

Die Berechnung der Lüftungsverluste erfolgt über den Luftwechsel n, der aussagt, wie häufig das Luftvolumen eines Gebäudes mit der Außenluft ausgetauscht wird. Allgemein wird dieser Luftwechsel zu 0,7 h⁻¹ angesetzt. Sobald jedoch mit der zuvor beschriebenen Blowerdoor-Technik der Nachweis erbracht wurde, dass der für das Gebäude mit natürlicher Lüftung genannte Grenzwert eingehalten wurde, darf der Luftwechsel auf 0,6 h⁻¹ abgesenkt werden. Falls Lüftungstechnik eingesetzt wird, darf ebenfalls mit abgesenkten Luftwechselraten gerechnet werden, wobei dann jedoch der Dichtigkeitstest obligatorisch ist.

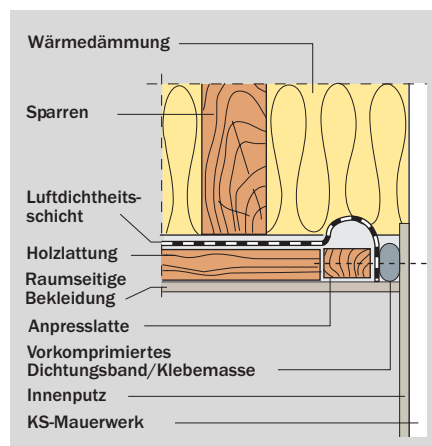


Bild 4: Anschluss der Dampfsperre an eine verputzte KS-Wand nach Beiblatt 2 zu DIN 4108

7 LITERATUR

- [1] Pohl, W.-H.; Horschler, S.; Pohl, R.: Wärmeschutz – Optimierte Details. Hrsg.: Kalksandstein-Information, GmbH + Co KG, Hannover, Januar 1997.
- [2] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag Wiesbaden, 3., durchgesehene Auflage (1996).
- [3] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau. Bauverlag Wiesbaden (1992).
- [4] Hauser, G.; Schulze, H.; Wolfseher, U.: Wärmebrücken im Holzbau. Bauphysik 5 (1983), H. 1, S. 17-21; H. 2, S. 42-51.
- [5] DIN EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren (November 1995).
- [6] DIN EN ISO 10211-2: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 2: Berechnungsverfahren für linienförmige Wärmebrücken (Schlußentwurf März 1999).
- [7] DIN EN 832 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wohngebäude“ (Dez. 1998).
- [8] EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient. Berechnungsverfahren (Oktober 1999).
- [9] Mainka, G.W.; Paschen, H.: Wärmebrücken-katalog. Teubner-Verlag, Stuttgart (1986).
- [10] Hauser, G.; Stiegel, H.: Quantitative Darstellung der Wirkung von Wärmebrücken. IRB-Verlag Bauforschung für die Praxis, Band: 31 Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffs Styropor (1997).
- [11] Hauser, G.; Stiegel, H.: Pauschalierte Erfassung der Wirkung von Wärmebrücken. Bauphysik 17 (1995), H. 3, S. 65-68.
- [12] DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken, Planungs- und Ausführungsbeispiele (August 1998).
- [13] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 16. August 1994, Bundesgesetzblatt Teil 1, Bonn, 24. August 1994, S. 2121-2123.
- [14] BMWi, BMVBW: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16. Nov. 2001. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 59, S. 3085-3102.
- [15] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. (Aug. 2001).