Michael Gierga
Erik Fischer

DOI: 10.1002/dama.201200543

Bewertung von Wärmebrücken im Lichte der zukünftigen Energieeinsparverordnung und in Verbindung mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik

Die energetische Bewertung zusätzlicher Wärmebrückenverluste der Gebäudehülle ist Gegenstand der Energieeinsparverordnung (EnEV) seit dem Jahr 2001. Die Berücksichtigung erfolgt durch pauschale Zuschläge auf den Transmissionswärmeverlust der wärmeübertragenden Außenbauteile oder alternativ durch die Berechnung der individuellen Wärmedurchgangskoeffizienten der wesentlichen Wärmebrückenanschlüsse. Dazu ist DIN 4108 Beiblatt 2 heranzuziehen, in dem seit 1998 entsprechende Planungsbeispiele dargestellt sind. Es muss die Frage geklärt werden, inwieweit dieses Regelwerk in seiner jetzigen Form, der Ausgabe 2006, den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht und für die Planung und Nachweisführung hocheffizienter Gebäude angewendet werden kann. Neben dem Beiblatt 2 wurden in der Zwischenzeit hochwertige Wärmebrückenkataloge entwickelt, die dessen Inhalte quantitativ und qualitativ übertreffen. Es müssen daher Vorschläge gemacht werden, wie Wärmebrückendetails nach den Erfordernissen des effizienten Bauens auch in Zukunft sachgerecht bewertet werden können.

Estimation of thermal bridges concerning the prospective Energy Saving Order and concerning the common accepted technical rules. *The estimation of additional energy consumption of thermal bridges in building skins is part of the Energy Saving Order (EnEV) since 2001. The consideration occurs with an overall supplement to the heat transmission losses of the entire heat transfer covering surface or alternative with calculation of individual heat transmission coefficients of the essential thermal bridges. For this calculation the DIN 4108 Supplementary Sheet 2, which illustrates planning examples since the year 1998, will be used. The question is, to what extend these latest regulations, released in 2006, are in accordance with the common accepted technical rules and can be used for planning and confirmation of highly efficient buildings. Meanwhile catalogues of thermal bridges that exceed the substance of the Supplementary Sheet 2 in quantity and quality have developed additionally. Suggestions how to evaluate examples of thermal bridges according energy efficient buildings in the future therefore become necessary.*

1 Wärmebrücken in der Gebäudehülle

Mit den steigenden Anforderungen an Energieeffizienz und Wohnqualität haben die Wärmebrücken eine stetig wachsende Bedeutung erlangt. Einerseits kann der Beitrag der Wärmebrücken an den Transmissionswärmeverlusten von Gebäuden heute bis zu 20 % betragen, so dass sie bei energiesparenden Wärmedämm-Maßnahmen im Neubau und insbesondere auch in sanierten Altbauten bei den Bemühungen um eine Reduzierung der Transmissionswärmeverluste nicht ignoriert werden können. Dabei stehen die linearen Wärmebrücken im Fokus, der Wärmeverlust punktueller Wärmebrücken ist in der Regel zu vernachlässigen oder ist im Wärmedurchgangskoeffizient der flächigen Bauteile enthalten.

Andererseits bestimmen die Wärmebrücken maßgeblich die niedrigsten raumseitigen Oberflächentemperaturen beheizter Räume. Dabei spielen wiederum die linearen Wärmebrücken so gut wie gar keine Rolle, denn die geringsten Oberflächentemperaturen treten konstruktionsbedingt stets in Raumecken auf. Dort sind die Schnittpunkte von linearen Wärmebrücken.

Wärmebrücken sind daher zu unterscheiden in stoffliche Wärmebrückentypen (nachfolgend Typ 1 genannt) und geometrische Wärmebrücken (Typ 2).

Unter einer stofflichen Wärmebrücke kann man z. B. Dübel oder Fassadenanker verstehen (Bild 1), die eine Dämmschicht durchdringen. Solche stofflichen Wärmebrücken werden dem flächigen Bauteil über einen Wärmebrückenzuschlag direkt zugerechnet und im Wärmedurchgangskoeffizient des entsprechenden Bauteils gemäß DIN EN ISO 6946 [1] berücksichtigt. Gleiches gilt auch für zusammengesetzte Bauteile wie z. B. Holzsparren in Dachkonstruktionen, die ebenfalls dem Typ 1 zuzuordnen sind. Es handelt sich im Grunde um lineare Wärmebrücken. Bei Holzbauteilen kann das vereinfachte Verfahren nach DIN EN ISO 6946 verwendet werden, weil der Unterschied der Wärmeleitfähigkeiten von Holz und üblichen Dämmstoffen mit etwa 5 zu 1 nicht sehr groß ist.

Bei Konstruktionen, für die die genannten vereinfachten Berechnungsregeln nicht angewandt werden können, wie z. B. bei Stahlkassettenwänden, ist der Planer in der Regel auf Tabellenangaben der Hersteller angewiesen, wenn er sich nicht die Mühe einer sehr exakt durchzuführenden mehrdimensionalen Wärmebrückenberechnung machen will. Solche Konstruktionen liegen vor, wenn die wärmetransmittierenden Teilflächen durch extrem unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Baustoffe gekennzeichnet sind (z. B. Mineralwolle und Stahl, Verhältnis der Wärmeleitfähigkeiten über 1 : 1000) und wenn Verhältnisse vorliegen, bei denen die innen und außen angeschlossenen Baustoffe (z. B. Blechtafeln) wie

Bild 1. Punktförmige Wärmebrücken von Fassadenankern in einer Außenwandkonstruktion (Typ 1)
Fig. 1. Punctual thermal bridge of facade ties in an external wall

Wärmeverteiler wirken. Bezogen auf die reine Dämmschichtdicke solcher Konstruktionen muss man mit Wärmebrückenzuschlägen von zum Teil über 100 % rechnen.

2 Rechnerische Bewertung von Wärmebrückeneffekten

Die Bewertung der Wärmebrücken im Baugeschehen erfolgt zum einen hinsichtlich des Mindestwärmeschutzes zur Vermeidung unzulässig niedriger raumseitiger Oberflächentemperaturen, zum anderen zur Minimierung von zusätzlichen Wärmeverlusten durch eben diese Bauteilkomponenten. Die stetig ansteigenden Wärmeschutzanforderungen zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste führen in der Regel auch zu höheren Oberflächentemperaturen an den Schnittkanten der Bauteile, wenngleich nicht in jedem Fall.

Bei hochwärmedämmenden Außenbauteilen mit sehr geringen Transmissionswärmeverlusten können die zusätzlichen Wärmebrückenverluste an Bauteilanschlüssen aber sowohl absolut als auch relativ zu den Verlusten der flächigen Bauteile einen bedeutenden Anteil der Gesamtverluste ausmachen. Aus diesem Grund werden die Wärmebrücken mit längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten, den sog. Ψ-Werten, energetisch beurteilt und in einer Heizenergiebilanz berücksichtigt. Die zahlenmäßige Anrechnung dieser zusätzlichen Verluste ist, wie eingangs erwähnt, im öffentlich rechtlichen Nachweis der Energieeinsparverordnung 2001 [3] erstmalig erfolgt.

2.1 Oberflächentemperaturen an Wärmebrücken

Steigende Anforderungen an die Luftdichtheit, geänderte Heizkonzepte und steigende Energiepreise haben zu wesentlichen Veränderungen des Wohnraumklimas geführt, so dass nach der energetischen Optimierung der Gebäudehülle der erwartete positive Effekt der Schimmelvermeidung viel zu häufig nicht eintritt. Im Gegenteil, bei falscher Konzeption energiesparender Maßnahmen werden Feuchteschäden vor allem in Bestandsgebäuden nicht selten erst gefördert. Oft werden z. B. Fenster getauscht, ohne sich um das Lüftungsregime zu sorgen oder die Dämmung der Wände zu verbessern.

Die Bewertung der Wärmebrücken im Baugeschehen muss besonders bei der Altbausanierung hinsichtlich des Mindestwärmeschutzes zur Vermeidung unzulässiger raumseitiger Oberflächentemperaturen erfolgen. Die Norm DIN 4108-2 stellt im Grunde recht klare Anforderungen an den Wärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken, zumindest für Wohnbauten und für nichttransparente Massivbauteile. Danach ist die einzuhaltende Oberflächentemperatur über den sogenannten Temperaturfaktor f_{Rsi} nachzuweisen. Dieser darf 0,7 nicht unterschreiten und ist aus einer raumseitigen Mindestoberflächentemperatur von 12,6 °C für Wohnnutzungen und den stationären Randbedingungen einer Außenlufttemperatur von –5 °C und einer Raumtemperatur von 20 °C abgeleitet worden.

Im Beiblatt 2 DIN 4108:2006 [4] wird vorausgesetzt, dass alle dort enthaltenen Details diesen minimalen Temperaturfaktor zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum einhalten. Hier liegt in mehrfacher Hinsicht für alle Akteure am Bau eine sehr problematische Situation vor. Einerseits erfüllen, wie nachfolgend gezeigt wird, die im Beiblatt 2 enthaltenen Details unter Umständen die Anforderungen in der Raumkante nicht, andererseits ist der derzeitige Bezug der Anforderungen auf die Situation in der Raumkante zu hinterfragen.

2.1.1 Temperaturfaktor in Raumkanten

In dem zuvor genannten Zusammenhang wird das in Bild 2 dargestellte Anschlussdetail des aktuellen Beiblatts 2 der Ausgabe 2006 herangezogen. Die Dämmstoffdicke der Bodenplattendämmung inklusive Estrichdämmung ist in einem Gültigkeitsbereich zwischen 60 und 100 mm festgelegt. Die Wanddicke der einschaligen Außenwand darf in einem Bereich zwischen 240 und 375 mm liegen.

Wird dieser Bauteilanschluss mit den im Beiblatt 2 angegebenen minimalen Bauteilabmessungen und sowohl mit vorgegebenen (in Tabelle 1 fett dargestellten) als auch mit selbst gewählten Wärmeleitfähigkeiten einer zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung mit den Randbedingungen des Abschnitts 7 von Beiblatt 2 unterzogen, ergibt sich für die in Tabelle 1 aufgeführten Bedingungen das in Bild 3 dargestellte Temperaturprofil im Bauteilquerschnitt. Dabei ist bezüglich der Wärmedämmqualität des Mauerwerks der Hinweis erforderlich, dass Beiblatt 2 zwar eine Obergrenze der Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk ohne Zusatzdämmung mit λ = 0,21 W/(m K) definiert, nicht

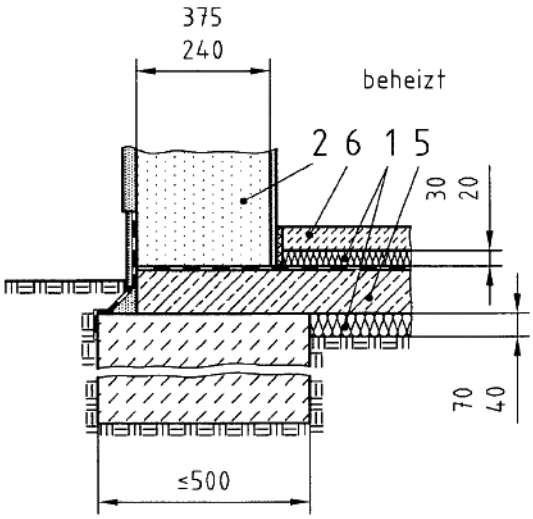

Bild 2. Detail einer Außenwand mit unter- und innenseitig gedämmter Bodenplatte – Bild 11 DIN 4108 Beiblatt 2:2006
Fig. 2. Detail of an external wall with an internal and external insulated floor section – Fig. 11 DIN 4108 Beiblatt 2:2006

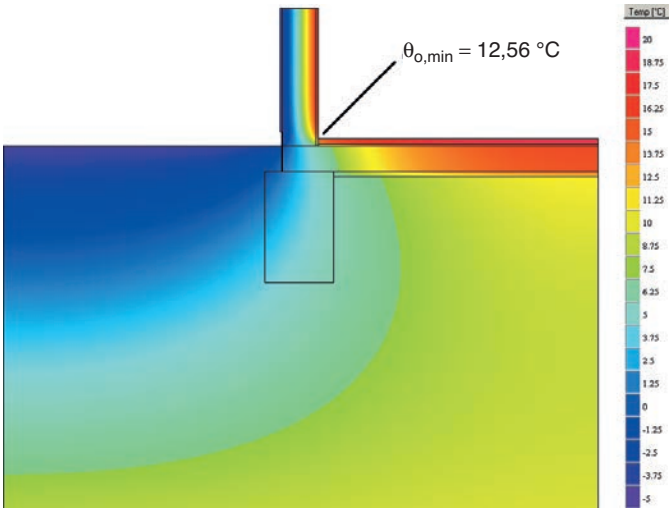

Bild 3. Verlauf der Bauteiltemperaturen zur Ermittlung der minimalen Oberflächentemperaturen am Bauteilanschluss gemäß Bild 2
Fig. 3. Profile of internal construction temperatures to calculate the minimum surface temperature of the detail from Fig. 2

Tabelle 1. Für die Berechnung zugrunde gelegte Materialien und Schichtdicken des Details gemäß Bild 2
Table 1. Materials and thickness of the construction to be calculated in Fig. 2

Bauteilschicht	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)]	U-Wert [W/(m² K)]
Mauerwerk*	**240**	**0,14**	
Kalkgipsputz innen	15	0,70	
Sockelputz außen	10	1,0	
Leichtputz Regelquerschnitt	20	0,56	
		Außenwand	0,44
Bodenplatte	180	2,30	
Anhydrit-Estrich	40	1,20	
Estrichdämmung	**20**	**0,04**	
Erdreichdämmung	**40**	**0,04**	
Fundament	**500**	1,65	
		Bodenplatte	0,56

* gemäß Fußnote b Tabelle 3 DIN 4108 Beiblatt 2:2006

aber eine Untergrenze. Der in Fußnote b der Tabelle 3 des Beiblatts 2 enthaltene Hinweis, die Wärmeleitfähigkeit von 240 mm dicken monolithischen Außenwänden sollte aus Gründen des Mindestwärmeschutzes nicht über λ = 0,14 W/(m K) liegen, trägt in keiner Weise den heutigen Wärmedämmstandards Rechnung. Derzeit stellt diese Wärmeleitfähigkeit die Obergrenze bei wärmedämmendem Mauerwerk normal beheizter Gebäude dar. Die geringsten in der Praxis vorzufindenden Wärmeleitfähigkeiten von Mauerwerk liegen bei λ = 0,07 W/(m K).

Die raumseitige Oberflächentemperatur in der zweidimensionalen Kante unterschreitet 12,6 °C knapp. Dies bedeutet, dass unter den Temperatur- und Rechenrandbedingungen der DIN 4108-2 der Temperaturfaktor f_{Rsi} in der Raumkante nicht eingehalten ist. Dabei muss angemerkt werden, dass die dargestellte Konstruktion zwar im Sinne der DIN 4108 Beiblatt 2 „wärmebrückenarm“ ist, zumindest im Wohnungsbau aber aufgrund der geringen Wärmedämmeigenschaften nur noch eine geringe baupraktische Bedeutung hat.

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ, ermittelt mit den Randbedingungen des Beiblatts 2 Abschnitt 7, beträgt 0,13 W/(m K) und liegt damit erwartungsgemäß erheblich unter dem für dieses Detail angegebenen Referenzwert von 0,20 W/(m K). Energetisch ist der Bauteilanschluss also besonders günstig in Relation zum Referenzwert, die niedrigen Oberflächentemperaturen liegen allerdings an der Grenze des Zulässigen und bergen ein hohes Schimmelrisiko besonders bei ungünstiger Möblierung!

Dieses Beispiel soll deutlich machen, dass die in diesem Fall angegeben Maßspannen sowie die im Beiblatt 2 fehlenden Angaben der einzelnen Wärmeleitfähigkeiten und Dickenkombinationen hinsichtlich der minimal zulässigen Oberflächentemperaturen zu kritischen Ergebnissen führen können.

Das Detail gemäß Bilder 2 und 3 in einer Außenecke eines Schlafzimmers umgesetzt, muss mit statistisch hoher Wahrscheinlichkeit zu Schimmelproblemen führen, weil in solchen Situationen bei heutigen Wohnungsgrundrissen regelmäßig auch noch eine Möblierung erwartet werden kann, deren Einfluss durch den normativ festgelegten raumseitigen Wärmeübergangswiderstand nicht abgedeckt ist.

Bereits in der Ausgabe von 1998 wurden z. B. an erdreichberührten Bauteilen lediglich 60 mm Wärmedämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 angesetzt (Bild 4), die Wanddicke einer monolithischen Außenwand ohne Zusatzdämmung mit 365 mm zugrunde gelegt. Dieses Bild zeigt, dass das entsprechende modifizierte Anschlussdetail der Ausgabe 2006 keine wärmetechnische Verbesserung darstellt (vgl. Bild 2).

Damit erfüllt das aktuelle Beiblatt 2 nicht nur in dem zuvor aufgezeigten Beispiel die heutigen baupraktischen Anforderungen bei weitem nicht. Der unerfahrene Anwen-

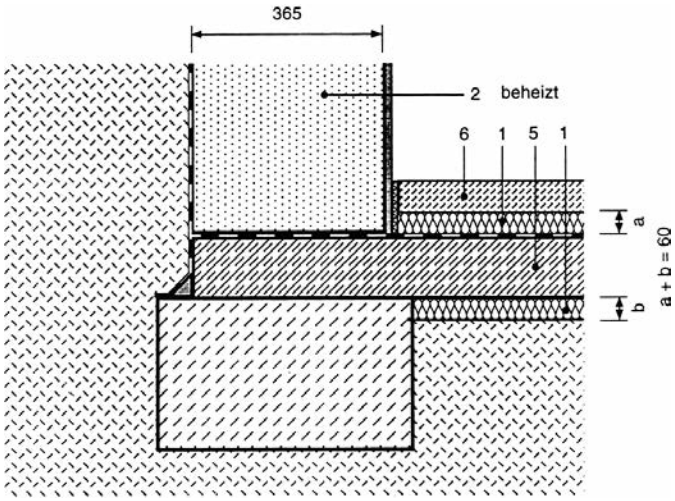

Bild 4. Wärmebrückendetail eines Außenwand-Bodenanschlusses – Bild B1 Beiblatt 2 DIN 4108:1998
Fig. 4. Thermal bridge detail of an external wall-floor section – Figure B1 DIN 4108 Beiblatt 2:2006

der des Beiblatts 2 gerät hier aufs Glatteis. Die Norm suggeriert eine korrekte Planungsvorlage, tatsächlich ist sie aber im zivilrechtlichen Sinn als mangelhaft zu bezeichnen. Die Gebrauchstauglichkeit ist nicht gegeben, da die linienförmige Wärmebrücke regelmäßig in einer Gebäudeecke endet, deren Mindestwärmeschutz den in der bauaufsichtlich eingeführten Norm formulierten Anforderungen gar nicht entsprechen kann.

2.1.2 Temperaturfaktor in Raumecken

Alle im Beiblatt 2 zugrunde gelegten Temperaturfaktoren beziehen sich auf Raumkanten. Die kritischen Oberflächentemperaturen in Wohnräumen treten aber nicht in Raumkanten, sondern stets zuerst in Raumecken auf. Es liegt auf der Hand, dass die Temperaturfaktoren in den Ecken, also am Schnittpunkt dreier Raumkanten, erheblich unter f_{Rsi} = 0,7 liegen müssen, wenn die Raumkanten diesen Wert nur knapp einhalten.

Diese unglückliche Situation führt in der Baupraxis und vor allem in der Rechtspflege zu erheblichen Problemen. Der Normtext der DIN 4108-2 ist im Grunde eindeutig. Danach ist der Mindestwärmeschutz „eine Maßnahme, die an jeder Stelle der Innenoberfläche der Systemgrenze bei ausreichender Beheizung und Lüftung unter Zugrundelegung üblicher Nutzung ein hygienisches Raumklima sicherstellt, so dass Tauwasserfreiheit und Schimmelpilzfreiheit an Innenoberflächen von Außenbauteilen im Ganzen und in Ecken gegeben ist.“

Die Gefährdung einer Wohnung durch Schimmelpilzwachstum ist bekanntermaßen von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängig und wurde z. B. auch im sog. Fachbericht „Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden“ [5] umfänglich abgehandelt, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

Bauteile des Mauerwerkbaus mit kapillarporösen Baustoffen kennen den sogenannten Effekt der Kapillarkondensation, d. h. bereits bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % über der Oberfläche beginnt eine Feuchtezunahme der Baustoffe, die ein Schimmelwachstum begünstigen kann. Daher ist das physikalische Kriterium der DIN 4108-2 und in DIN EN ISO 13788 [6] so bemessen, dass eine relative Luftfeuchtigkeit von 80 % in der oberflächennahen Grenzschicht nicht so lange überschritten werden soll, dass die Gefahr einer Schimmelpilzbildung entsteht. Diese Erkenntnis ist Grundlage der minimalen zulässigen Oberflächentemperatur von 12,6 °C und führt wie weiter oben ausgeführt zum Temperaurfaktor $f_{Rsi} \leq 0{,}7$ bei Berechnung unter Norm-Randbedingungen.

Das Beiblatt 2 enthält in seiner Einleitung Ausführungen zur Vermeidung von Tauwasser und suggeriert dadurch, dass die Einhaltung der Kriterien eine regelkonforme, und damit mutmaßlich mängelfreie Ausführung sicherstellt:

„Tauwasserbildung setzt überall dort ein, wo die örtliche Oberflächentemperatur die Taupunkttemperatur des jeweiligen Wasserdampfdruckes unterschreitet. Tauwasserschäden treten deshalb in der Regel zuerst im Bereich von Wärmebrücken auf. Schimmelpilzbildung kann bereits bei Luftfeuchten erfolgen, die noch keine Tauwasserbildung zur Folge haben. Je nach Oberflächenmaterial kann bei relativen Luftfeuchten über etwa 80 %, entsprechend der dazugehörigen Oberflächentemperatur, auf dem Wege der Kapillarkondensation Feuchte aufgenommen werden und bei entsprechender Dauer zur Schimmelpilzbildung führen.“

Unter Abschnitt 3.1 des Beiblatts 2 folgt dann:
„Dieses Beiblatt enthält Beispiele für Anschlussausbildungen um
- Konstruktionsempfehlungen auszusprechen und
- ein Referenzniveau für die Güte einer Anschlussausbildung festzulegen.

Es werden ausschließlich zweidimensionale Anschlussausbildungen dargestellt, bei denen der Temperaturfaktor f_{Rsi} unter den dargestellten Randbedingungen den in DIN 4108-2:2003-07 geforderten Grenzwert von 0,70 einhält.“

Das bedeutet aber: Wer sich auf die Formulierung in Abschnitt 3.1 verlässt und die raumumschließenden Bauteile so dimensioniert, dass die Temperaturfaktoren f_{Rsi} gerade den Anforderungen entsprechen und die entsprechenden Regelausführungen aus dem Beiblatt 2 wählt, kann mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass er damit einem Bauschaden Vorschub leistet. Es muss mit allem Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass zur Einhaltung des Schimmelkriteriums in Raumecken die knappe Einhaltung des Kanten-Kriteriums f_{Rsi} = 0,7 bei weitem nicht ausreicht.

Die dreidimensionale Berechnung der minimalen Oberflächentemperaturen und die Bestimmung der dazu gehörenden Temperaturfaktoren ist aufwändig. Zur Abschätzung kann das in DIN EN 10211-2:2001 [7] im Anhang B aufgeführte überschlägige Rechenverfahren zur Bestimmung von f_{Rsi} einer Ecke aus den Werten der zugehörigen Kanten und dem Mittelwert der flächigen Regelquerschnitte genutzt werden:

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

Leider ist das Verfahren aus Anhang B in der Nachfolgenorm Ausgabe 2008-04 ersatzlos gestrichen worden.

Um f_{Rsi} = 0,7 in der Ecke sicher einhalten zu können, muss die Raumkante meist einen Temperaturfaktor von f_{Rsi} = 0,8 oder darüber aufweisen. Liegt f_{Rsi} in der Raumkante gerade bei 0,7 oder sogar darunter, was bei einigen Beiblatt-2-Konstruktionen der Fall sein kann, muss in den Ecken mit erheblich geringeren Werten gerechnet werden.

2.2 Zusätzliche Transmissionswärmeverluste

Das Verfahren zum Nachweis der Wärmeverluste nach DIN V 4108-6 [8], der DIN V 18599-2 [9] bzw. der Energieeinsparverordnung [10] sieht eine Berücksichtigung der linearen Wärmebrücken vor. Dabei handelt es sich nicht um die oben genannten Wärmebrücken des Typs 1, sondern um die sogenannten geometrischen, linearen Wärmebrücken des Typs 2. Diese entstehen an Übergängen zwischen zwei verschiedenen Bauteilen (z. B. Wand – Fensterrahmen oder Deckenstirnseiten). Aber auch Kanten in einer ansonsten homogenen Struktur (wie z. B. der Gebäudeecke in einem Mauerwerksbau) stellt im Sinne der Energieeinsparverordnung eine Wärmebrücke dar.

Die Berücksichtigung zusätzlicher Wärmebrückenverluste umfasst maßgebliche Bauteilanschlüsse eines Gebäudes, die in DIN V 4108-6 bzw. DIN V 18599-2 gleichlautend zu berücksichtigen sind:

- Gebäudekanten
- bei Fenstern und Türen: Laibungen (umlaufend)
- Wand- und Deckeneinbindungen
- Deckenauflager
- wärmetechnisch entkoppelte Balkonplatten.

Die Energieeinsparverordnung 2001 unterstellte bereits, dass die zusätzlichen Transmissionswärmeverluste die gesamten durch die wärmetauschende Gebäudehüllfläche entstehenden Wärmeverluste um 0,05 W/(m^2 K) bezogen auf 1 m^2 Hüllfläche erhöhen, wenn sie den Ausführungen des Beiblatts 2 entsprechen. Diese Annahme gilt auch heute noch unverändert, ist allerdings für viele Fälle außerhalb des Standardwohnungsbaus anzuzweifeln. Besonders der Umstand, dass einige wichtige Typen von Wärmebrücken im Beiblatt gar nicht aufgeführt sind (z. B. Unterzugsdecken gegen Außenluft) und daher auch im Nachweis gar keine Berücksichtigung zu finden brauchen, gibt Anlass, an der Richtigkeit obiger Annahmen zu zweifeln.

Um ein realistisches Abbild von den tatsächlichen zusätzlichen Transmissionswärmeverlusten über diese Wärmebrücken zu erhalten, müssten sie im Grunde sämtlich mit längenbezogenem Wärmedurchgangskoeffizienten und der Anschlusslänge erfasst werden. Es ist leicht auszudenken, dass dies eine erhebliche Mehrung des Aufwandes gegenüber dem vereinfachten Verfahren mit dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} bedeutet. Für eine vollständige Erfassung sind nämlich mindestens zu berücksichtigen:

- sämtliche Außenkanten (die günstigenfalls negative Vorzeichen annehmen können, weil der Außenmaßbezug, den das Rechenverfahren bedingt, zu einer Überbewertung der Verluste an Außenkanten führt). Das sind also die Perimeterkante, alle vertikalen Gebäudekanten, Kanten an Vor- und Rücksprüngen, Traufen, Ortgänge, Grate, Firste …
- sämtliche Übergänge zwischen unterschiedlichen Bauteilen. Allein für ein Fenster ergeben sich mindestens drei Typen, nämlich die seitlichen Fensterleibungen, den Fensterbankanschluss und den Sturz (dem neuerdings häufig auch der Rollladenkasten als linearer Wärmebrückenzuschlag zugerechnet wird).
- sämtliche sonstigen geometrischen Auffälligkeiten wie z. B.
  - Unterzüge (besonders bei Tiefgaragendecken)
  - ein- und durchbindende Innenwände (insbesondere auf Bodenplatten, Tiefgaragen- oder Kellerdecken mit schwimmendem Estrich)
  - einbindende Decken in Massivwände (auch mit Deckenstirndämmung)
  - Kragplatten wie Balkonplatten, Lisenen und andere Anbauteile wie Attiken, soweit sie nicht bereits bei den Außenkanten berücksichtigt wurden

Bei Gebäuden mit unterschiedlichen Konstruktionskombinationen entstehen sehr viele Details, die jeweils für sich berechnet werden müssten. Es ergibt sich ein Dilemma: Mit steigenden Anforderungen an das energiesparende Bauen, das mit öffentlichen Geldern auch gefördert wird, explodiert der Planungsaufwand. Eine sachgerechte Planung ist ohne Hinzuziehung ausgewiesener Fachleute oft nicht mehr möglich. In der Praxis ist festzustellen, dass im ungünstigen Fall ein guter Teil der Förderzuwendungen allein durch die aufwändige Nachweisführung aufgebraucht wird.

Unglücklicherweise besteht wenig Anreiz zur genaueren Berechnung, denn man stellt fest, dass die exakte Nachrechnung sämtlicher Wärmebrückenverluste zuletzt einen höheren Gesamtverlust ausweisen kann als bei Anwendung eines pauschalen Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB} von 0,05 W/(m^2 K).

Der pauschalierte Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} ist eine Annahme zu einfachen Wohngebäuden, der stark von der gewählten Konstruktionsart und selbstverständlich auch erheblich von der Bauwerksgröße abhängt. Für große Gebäude ist ΔU_{WB} erfahrungsgemäß zu hoch angenommen, bei kleinen Gebäuden mit vielen Ecken und Kanten, z. B. Unterzugsdecken über Außenluft, kann der Zuschlag aber zu knapp bemessen sein.

In der Praxis führt der Umgang mit dem Beiblatt 2 in Verbindung mit den Berechnungen zusätzlicher Wärmeverluste zu weiteren Irritationen. Es ist bis heute nirgends zusammenfassend und klar definiert worden, welche Wärmebrücken eigentlich im Nachweis zu berücksichtigen sind. Insbesondere fehlen wie bereits erwähnt die Spezifikationen oder Vergleichswerte bei Fußböden gegen Außenluft, die in der Praxis mit nennenswerten zusätzlichen Wärmeverlusten einher gehen, weil in der Regel eine ganze Reihe unvermeidlicher, statisch begründeter Wärmebrücken existieren.

Bei Rollladenkästen herrscht inzwischen in der Nachweispraxis die Berücksichtigung über einen längenspezifischen Wärmebrückenzuschlag vor. Die Bauregelliste verweist aber nach wie vor auf die Rollladenkasten-Richtlinie, die als Nachweis für die Einhaltung baurechtlicher Mindestanforderungen eine U-Wert-Angabe vorsieht.

2.3 Referenzwerte der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten

Nachdem durch die Inbezugnahme des Beiblatts 2 zu DIN 4108 in der EnEV 2001 dieses Einzug in die Baupraxis hielt, mehrten sich sogleich die Stimmen zur Überarbeitung zur Ausweitung um weitere relevante Bauteilanschlüsse, Berücksichtigung höherer Dämmstoffdicken und leistungsfähigerer Wärmedämmqualitäten sowie eine mögliche Vollständigkeit im Hinblick auf die bauordnungsrechtlichen Nachweispflichten (vgl. Abschnitt 2.1.1). Weiterhin musste eine Lösung gefunden werden, von Beiblatt 2 abweichende Konstruktionen rechnerisch mit diesen vergleichen zu können, um eine Gleichwertigkeit zu bestätigen.

Vor dem Hintergrund der anstehenden EnEV-Novelle 2004 erfolgte eine Überarbeitung des Beiblatts 2. Die Festlegungen bezüglich der rechnerischen Berücksichtigung zusätzlicher Wärmebrückenverluste blieben dabei unverändert. Die Überarbeitung zu DIN 4108 Beiblatt 2 in der Ausgabe Januar 2004 [12] enthielt daraufhin neben einer Vielzahl von Ergänzungen die Angabe des längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ, der einen Vergleich zu von den Detailbildern abweichenden Anschlüssen hinsichtlich einer Gleichwertigkeitsbetrachtung ermöglichen sollte.

In einem neu geschaffenen Kapitel wurden Hinweise zur Berechnung von längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten angegeben, die zwar für die Beurteilung der im Beiblatt hinterlegten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten tauglich sind, nicht aber für die Beurteilung sämtlicher realer Wärmebrücken, da die Rechenrandbedingungen zum Teil im Widerspruch zu Festlegungen in europäischen Normen stehen. Zusätzlich galt ab diesem Zeitpunkt durch die EnEV 2004 [13] ein erweiterter Anwendungsbereich, nämlich neben dem Wohnbau auch die Anwendung im Nichtwohnungsbau. Spätestens jetzt wurde offensichtlich, dass das überarbeitete Beiblatt trotz insgesamt 96 Details keine vollständige Sammlung aller relevanten Anschlüsse darstellte und auch niemals darstellen kann.

Die Situation verbesserte sich auch durch die letzte Neuauflage des Beiblatts im Jahre 2006 nicht wesentlich, da hier nur geringfügige Ergänzungen von Details und redaktionelle Änderungen erfolgten. Auch in dieser Ausgabe konnte die Einschränkung der Anwendungsmöglichkeit des Beiblatts nicht ausgeräumt werden. Dies wurde als hinnehmbar im Sinne des Anwendungszweckes fachöffentlich festgestellt [14].

In der aktuellen DIN 4108 Beiblatt 2 sind wie zuvor angemerkt nunmehr Referenzwerte des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten aufgeführt, die ausdrücklich nur zu Vergleichsrechnungen herangezogen werden sollen und ausschließlich als Gleichwertigkeitskriterium für davon abweichende Ausführungen dienen können.

Für die verschiedenen Bauteilanschlüsse sind in der Regel mehrere, für unterschiedliche Bauweisen typische Anschlussvarianten und Schichtenfolgen aufgeführt. Das in Bild 2 dargestellte Detail kann ebenso mit einer innengedämmten Bodenplatte realisiert werden (Bild 5). Dann verringert sich der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient deutlich, der Referenzwert Ψ wird mit –0,05 W/(m K) angegeben. Beide Konstruktionen – sowohl die innengedämmte als auch die außengedämmte Lösung – sind im Sinne der EnEV als wärmebrückenarm einzustufen, obwohl sie in ihren Auswirkungen auf den Gesamtwärmebedarf sehr unterschiedlich sind.

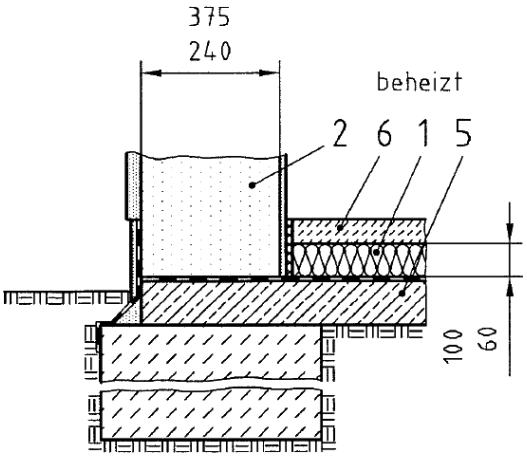

Bild 5. Bodenplatte gemäß Bild 10 Beiblatt 2:2006 ausschließlich mit Innendämmung im Gegensatz zum Detail in Bild 2
Fig. 5. Floor section according to figure 10 DIN 4108 Beiblatt 2:2006 exclusively with internal insulation compared to detail in Fig. 2

In der Praxis ergibt sich für den Anwender ein Problem, wenn allein z. B. für den Boden-Wand-Anschluss 15 verschiedene Konstruktionen und damit auch 15 verschiedene Referenzwerte angegeben werden. Für das Führen von Gleichwertigkeitsnachweisen ergibt sich dadurch die Frage, welcher Referenzwert für eine von sämtlichen Beispielen abweichende Konstruktion eigentlich angesetzt werden darf, damit weiterhin der pauschalierte reduzierte Wärmebrückenzuschlag verwendet werden kann. Immerhin reicht bei diesem Beispiel die Spanne von Ψ = –0,05 bis +0,34 W/(m K).

Die Spanne sämtlicher im Beiblatt ausgewiesener Referenzwerte der Details, die von der EnEV in Verbindung mit DIN 4108 Beiblatt 2:2006 als wärmebrückenarm eingestuft wird, beträgt $-0{,}06 \leq \Psi \leq +0{,}56$ W/(m K).

2.4 Nachweis der Gleichwertigkeit

Die Referenzwerte in DIN 4108 Beiblatt 2 stellen ausdrücklich keine Bemessungswerte dar und sind nur einer von verschiedenen Wegen, die Gleichwertigkeit einer individuellen Detailplanung zu den Details im Beiblatt 2 darzustellen. Grundsätzlich sind folgende Alternativen zum Nachweis genannt:

a) Bei der Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips und bei Vorliegen der Übereinstimmung der beschriebenen Bauteilabmessungen und Baustoffeigenschaften ist eine Gleichwertigkeit gegeben.
b) Bei Materialien mit abweichender Wärmeleitfähigkeit erfolgt der Nachweis der Gleichwertigkeit über den Wärmedurchlasswiderstand der jeweiligen Schicht.
c) Ist auf diesem Wege keine Übereinstimmung zu erzielen, so sollte die Gleichwertigkeit des entsprechenden Anschlussdetails mit einer Wärmebrückenberechnung nach den in DIN EN ISO 10211-1 beschriebenen Verfahren unter Verwendung der in Kapitel 7 angegebenen Randbedingungen vorgenommen werden.

d) Ebenso können Ψ-Werte Veröffentlichungen oder Herstellernachweisen entnommen werden, die auf den im Beiblatt festgelegten Randbedingungen basieren.
e) Für die Fälle a) und b) sind in den Detailbildern Schichtdicken und in den dazugehörigen Tabellen Wärmeleitfähigkeiten angegeben. Für die Fälle c) und d) sind die Referenzwerte Ψ zu verwenden.

Wird auf Möglichkeit c) zurückgegriffen, ergeben sich erhebliche Zusatzaufwendungen für Nachweisführende, da die errechneten Ψ-Werte u. U. nicht für die Verwendung nach d) zu gebrauchen sind: So wird z. B. in Abschnitt 3.4. des Beiblatts darauf hingewiesen, dass sich die angegebenen Referenzwerte bei Anschlüssen in Holzbauweise auf den U-Wert im Gefachbereich beziehen. Dies betrifft z. B. die Bewertung von geneigten Holzdächern, die in der Regel im Gefach einen sehr viel geringeren U-Wert aufweisen als derjenige des gesamten Daches aus Gefach- und Sparrenbereich. Damit widerspricht diese Festlegung dem Vorgehen nach DIN EN ISO 6946 [1], bevorzugt den gemeinsamen U-Wert von zusammengesetzten Bauteilen zu bestimmen und zu deklarieren. Daher ergeben sich sogleich weitere Probleme eines Vergleichs von Ψ-Werten sog. Wärmebrückenkataloge untereinander als auch mit den Referenzwerten des Beiblatts.

Darüber hinaus sind die im Beiblatt 2 enthaltenen Dämmstoffdicken und Schichtaufbauten weit vom aktuellen Baugeschehen mit EnEV-konformen Gebäuden und Effizienzhäusern entfernt. Das führt zu einem weiteren Problem: Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ steigen mit wachsenden Dämmstoffdicken oder bei Einsatz geringerer Wärmeleitfähigkeiten der Dämmstoffe gegenüber schlecht gedämmten Bauteilen häufig an. Auf dieses Phänomen hat die EnEV 2009 reagiert und in § 7 Absatz 3 zur Wärmebrückenbewertung folgende Formulierung aufgenommen: „… Soweit dabei Gleichwertigkeitsnachweise zu führen wären, ist dies für solche Wärmebrücken nicht erforderlich, bei denen die angrenzenden Bauteile kleinere Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen, als in den Musterlösungen der DIN 4108 Beiblatt 2: 2006-03 zugrunde gelegt sind.“

Mit dieser Formulierung wird die Bedeutung des Beiblatts 2 nicht gestärkt und der Nachweisführende in weitere Schwierigkeiten gebracht: Wie weiter oben dargestellt, werden für die Details im Beiblatt 2 eben nicht alle erforderlichen Schichtdicken und Wärmeleitfähigkeiten aufgeführt, so dass die Bestimmung der U-Werte der dargestellten Bauteilaufbauten und damit ein Vergleich zu individuellen Konstruktionen gar nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Die KfW-Bank ignoriert derzeit diese Problematik in Nachweisen für KfW-Effizienzhäuser und erschwert mit dem Verlangen nach Gleichwertigkeitsnachweisen selbst bei Inanspruchnahme eines pauschalen Wärmebrückenzuschlags damit u. U. erheblich die Nachweisführung zur öffentlichen Förderung derartiger Gebäude [15].

3 Bauteilausführungen und Wärmebrückendetails in der Praxis

Die gängigen Bauweisen des Massiv- und Leichtbaus unter Berücksichtigung der aktuellen Anforderungen der EnEV, der KfW-Förderprogramme etc. weisen die in Tabelle 2 gelisteten Spannen der Wärmedurchgangskoeffizienten und die damit verbundenen typischen Dämmstoffeigenschaften auf.

Werden die in Tabelle 2 aufgeführten Schichtdicken mit den Konstruktionen in DIN 4108 Beiblatt 2 verglichen, erkennt man sogleich die Diskrepanz der dort hinterlegten Bauteilaufbauten zu den aktuellen Anforderungen an energieeffiziente Gebäude. Eine weitergehende detailliertere Kommentierung dieser Thematik erübrigt sich daher.

Sicherlich muss an dieser Stelle konstatiert werden, dass DIN 4108 Beiblatt 2 niemals vollständig im Sinne einer allumfassenden Beispielsammlung wärmebrückenarmer Konstruktionen sein kann und wohl auch nicht gedacht war. Dazu ist die Vielfalt der Konstruktionen zu groß und auch viel zu starken zeitlichen Änderungen unterworfen.

Tabelle 2. Wärmedurchgangskoeffizienten heute üblicher Bauteilausführungen und Schichtdicken
Table 2. Heat transmission coefficients of actual constructions and material thickness

Bauteil	U-Wert [W/(m² K)]	Aufbau
Außenwand	0,2–0,35	Bauteildicke 33–52 cm
Fenster	0,8–1,3	3-fach Verglasung
Kellerdecke	0,2–0,4	Dämmstoffdicke 10–16 cm
Bodenplatte	0,2–0,4	Dämmstoffdicke > 10 cm
Dach	0,12–0,18	Dämmstoffdicke 18–30 cm

4 Notwendigkeit der Überarbeitung von DIN 4108 Beiblatt 2

Aus den zuvor aufgezeigten Unstimmigkeiten und Defiziten der DIN 4108 Beiblatt 2 ergibt sich aus Sicht der Verfasser Handlungsbedarf. Dieser wurde bereits von zahlreichen Stellen erkannt und durch die Veröffentlichung einer beachtlichen Anzahl von Wärmebrückenkatalogen und rechnergestützten Planungshilfen flankiert. Wegen dieser ambitionierten Lösungen steigt der öffentliche Druck zur Modifizierung des Beiblatts 2 zu DIN 4108, da dies von vielen Bauschaffenden durch wörtliche Inbezugnahme der EnEV immer noch als Regel der Technik angesehen wird.

Für eine weitere Überarbeitung ergibt sich eine Schwierigkeit: Die bereits existierenden Wärmebrückenkataloge weisen deutlich umfänglichere Lösungen unter Berücksichtigung aktueller Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz auf, als es ein normatives Regelwerk zu leisten im Stande wäre. Die Abstimmungsprozesse im Normungsverfahren sowie die berechtigte Berücksichtigung der beteiligten Verkehrskreise macht eine kurzfristige Erweiterung des Regelwerks nahezu unmöglich.

Es wäre daher aus Sicht der Verfasser geboten, die Inhalte des Beiblatts auf konstruktive Mindestanforderungen an Wärmebrückenanschlüsse zu reduzieren und die Vielfalt möglicher Lösungen den Bauausführenden oder den Planenden selbst zu überlassen. Hinsichtlich der Temperaturfaktoren muss eine Klarstellung erfolgen. Der Nach-

weis der Einhaltung eines Mindest-Temperaturfaktors an Raumkanten allein ist nicht zielführend.

Das ursprüngliche Ziel der Erstauflage des Beiblatts zum Ende der 90er Jahre war, die Thematik der Wärmebrücken bereits im Planungsprozess sichtbar zu machen und Lösungsansätze aufzuzeigen. Es wurden aber auch Widersprüche zu DIN 4108-2 geschaffen, die den Mindestwärmeschutz der dargestellten Wärmebrückendetails nicht immer sicher einhalten lassen. In den letzten Jahren konnte aber die Normung nicht mehr Schritt halten mit dem Angebot der Bauwirtschaft, die individuelle und bessere Lösungen abbildet. Die Verordnungsgebung der EnEV muss sich daher von der starren Inbezugnahme der DIN 4108 Beiblatt 2 lösen. Wärmebrückendetails werden bereits seit einigen Jahren sehr viel besser in der Baupraxis umgesetzt, als im aktuellen Beiblatt 2 dargestellt. Sicherlich findet der aufmerksame Leser auch immer wieder schlechtere Beispiele als dort dargestellt. Aber diese lassen sich auch mit der Existenz der besten Regelwerke nicht vermeiden.

Eine mögliche Verschlankung des Beiblatt 2 könnte wie folgt aussehen:

1. Reduzierung der Einzeldetails auf Gruppen typischer Anschlüsse wie z. B.
   Geschossdecken – Außenwände
   Kellerdecken – Außenwände
   Bodenplatten – Außenwände
   Fenster – Außenwände
   Dächer – Außenwände
   Decken/Dächer – Innenwände
   Tiefgaragenanschlüsse
2. allgemeine Konstruktionsprinzipien für Wärmebrücken unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen an den Mindestwärmeschutz in Ecken
3. Verzicht auf Referenzwerte Ψ
4. Angabe von Mindestdicken der Wärmedämmung
5. Angabe von Mindest-Wärmedurchlasswiderständen in Verbindung mit 4.

Erste konkrete Vorschläge haben die Verfasser dem Normungsausschuss unterbreitet.

Literatur

[1] DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, Ausgabe April 2008. Berlin: Beuth Verlag.

[2] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe Juli 2003. Berlin: Beuth Verlag.

[3] Bundesregierung: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16. November 2001 Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 59, S. 3085 ff., Bonn.

[4] DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, Ausgabe März 2006. Berlin: Beuth-Verlag.

[5] DIN-Fachbericht 4108-8:2010-09: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden, Ausgabe September 2010. Berlin: Beuth Verlag.

[6] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, Ausgabe November 2001. Berlin: Beuth Verlag.

[7] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 2 Linienförmige Wärmebrücken, Juni 2001. Berlin: Beuth Verlag.

[8] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs, Ausgabe Juni 2003. Berlin: Beuth Verlag.

[9] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-10, Februar 2007. Berlin: Beuth Verlag.

[10] Bundesregierung: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 29. April 2009 Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23, S. 954 ff., Bonn.

[11] DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, Ausgabe August 1998. Berlin: Beuth-Verlag.

[12] DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, Ausgabe Januar 2004. Berlin: Beuth-Verlag.

[13] Bundesregierung: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 2. Dezember 2004. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 64, S. 3146 ff., Bonn.

[14] *Spitzner, M.*: Dauerthema Wärmebrücken – Praxishinweise zur Anwendung von DIN 4108 Beiblatt 2 und zum energetischen Einfluss von Wärmebrücken. Bauphysik 27 (2005), H. 5, S. 246–252.

[15] KfW-Bank: Förderprogramm Energieeffizient Bauen (153), Bestätigung zum Kreditantrag, Formular 600 000 2249, Stand 04/2012, Berlin.

Autoren dieses Beitrages:
Dipl.-Ing. Michael Gierga, Kurz und Fischer GmbH,
Brückenstraße 3, 59519 Möhnesee
Dipl.-Ing. (FH) Erik Fischer, Kurz und Fischer GmbH,
Brückenstraße 9, 71364 Winnenden