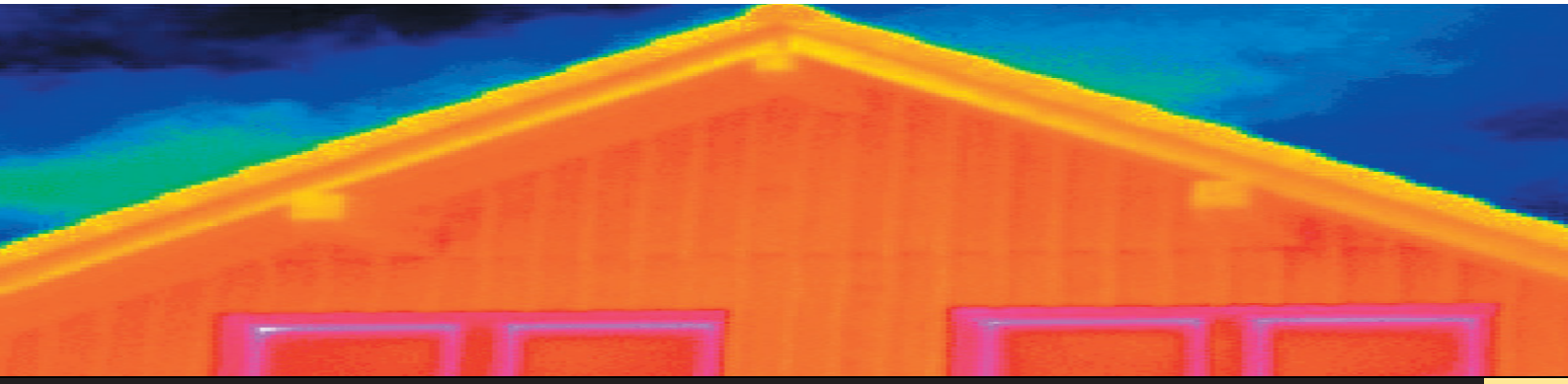
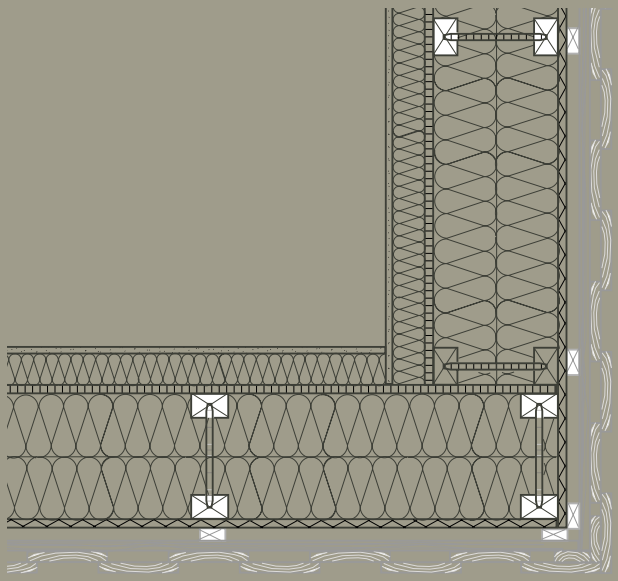
INFORMATIONSDIENST **HOLZ**



Wärmebrücken



holzbau handbuch REIHE 3 I TEIL 2 I FOLGE 7

Inhalt

Seite 4 _ **Einführung**

5 **1** _ **Wärmebrücken – Allgemein**
6 1.1 _ Kenngrößen für Wärmebrücken
6 1.2 _ Normative Randbedingungen
7 1.2.1 _ EnEV Energieeinsparverordnung
10 1.2.2 _ DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“
19 1.2.3 _ DIN EN ISO 6946
21 1.2.4 _ DIN EN ISO 10211 – Wärmebrücken im Hochbau
23 1.2.5 _ Berechnungsbeispiele

25 **2** _ **Feuchtetechnische Bedeutung von Wärmebrücken**

28 **3** _ **Energetische Bedeutung von Wärmebrücken**
28 3.1 _ Konsequenzen der Wärmebrückenerfassung auf die übrige Gebäudeausführung
30 3.2 _ Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung (ΔU_{WB})

34 **4** _ **Der Wärmebrückenkatalog mit Holzbaudetails**
34 4.1 _ Die Programm-Oberfläche
34 4.2 _ Die Menüstruktur
35 4.3 _ Das Übersichtsfenster
36 4.4 _ Inhalte des Wärmebrückenkatalogs
36 4.4.1 _ Der Bereich „Detail“
36 4.4.2 _ Der Bereich „Wärmeverluste“
37 4.4.3 _ Der Bereich „Oberflächentemperatur“
38 4.4.4 _ Arbeiten mit dem Wärmebrückenkatalog

Seite 40 **5** _ **Wärmebrücken im Holzbau**
40 5.1 _ Einflüsse wesentlicher konstruktiver Bestandteile eines Regelquerschnitts auf die Wärmebrückeneffekte
40 5.1.1 _ Erläuterungen
41 5.1.2 _ Durchführung der Parameterstudie
43 5.1.3 _ Ergebnisse
49 5.1.4 _ Zusammenfassung
50 5.2 _ Allgemeine Planungsgrundlagen und -empfehlungen – abgeleitet aus einzelnen Anschlussdetails des Wärmebrückenkatalogs

54 **6** _ **Abbildungsverzeichnis**

55 **7** _ **Tabellenverzeichnis**

56 **8** _ **Literaturverzeichnis**

58 _ **Impressum**

Einführung

Guter baulicher Wärmeschutz ist Voraussetzung für thermische Behaglichkeit in Räumen und ist somit für gesundes Wohnen bzw. Arbeiten unabdingbar. Bei bauphysikalisch richtiger Anwendung ermöglicht er eine Senkung des Bauschadenrisikos und vermindert den Heizenergieverbrauch. Die daraus resultierende Senkung der Betriebskosten vermindert die Abhängigkeit von Öl- und Gasimporten und hat ebenfalls positive Auswirkungen bezüglich deutlich geminderter Schadstoffemissionen.

Der Wärmeschutz von Wohngebäuden wird generell geregelt durch das Energieeinsparungsgesetz [1] und seine Konkretisierung in der „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung-EnEV, derzeit gültige Fassung [2])“. Die Verordnung bewertet die bauliche Güte des baulichen Wärmeschutzes und die Anlagentechnik in einem gemeinsamen Bilanzierungsverfahren und lässt dem Planer somit einen gewissen Spielraum bei der Umsetzung.

Bei der Bewertung des baulichen Wärmeschutzes muss mit Einführung der EnEV 2002 erstmalig auch der Einfluss von Wärmebrücken berücksichtigt werden. Der rechnerische Anteil der Wärmebrückenverluste am Transmissionswärmeverlust, der vor Einführung der EnEV nicht berücksichtigt wurde, kann je nach Ausführungsgüte und Konstruktionsart 30%, in sehr ungünstigen Fällen auch darüber, betragen. Bei guter Planung des Gebäudeentwurfs und der Anschlussdetails ist es aber auch möglich, diesen Anteil auf 0% zu reduzieren.

Die Minimierung des Bauschadenrisikos infolge von Wärmebrückeneinflüssen wird in der DIN 4108-2 [3] geregelt. Hier werden Grenzwerte für minimale innere Oberflächentemperaturen festgelegt, die zum einen dem gesundheitlichen Schutz der Bewohner und zum anderen dem Schutz der Bausubstanz dienen.

Diese Folge des holzbau handbuchs soll den Nutzer in die Lage versetzen, die Wärmebrückenproblematik, speziell für den Holzbau, besser verstehen und bewerten sowie den Wärmebrückenkatalog-Holz gezielt einsetzen zu können.

1 _ Wärmebrücken – Allgemein

Bauteile von Gebäuden setzen sich vielfach aus Materialien mit unterschiedlichen Wärmedämmeigenschaften zusammen. Dadurch können sich thermische Schwachstellen in der Gebäudehülle ausbilden, bei denen örtlich – zum Beispiel durch einen Materialwechsel – mehr Wärme als bei den benachbarten Bauteilen abfließt. Die Folgen sind einerseits ein erhöhter Wärmeverlust und vielfach auch eine punktuelle Absenkung der raumseitigen Oberflächentemperatur der Bauteile. Diese Wärmebrückenart wird als „materialbedingte" oder „stofflich bedingte" Wärmebrücke bezeichnet (Abb. 1.1).

Übliche Wand- oder Dachkonstruktionen im Holzbau sind so genannte Tafel-, Skelett- oder Fachwerkbauweisen. Hier findet man in den Querschnitten einzelne, regelmäßig auftretende tragende Elemente (Holzstiele) und Ausfachungsmaterialien aus unterschiedlichen Dämmstoffen. Die bestimmende Größe für den Wärmebrückeneinfluss ist bei Holzkonstruktionen somit der Konstruktionsholzanteil in den Bauteilen. Auf spezielle Effekte bezüglich Materialeigenschaft und Konstruktionsprinzip wird im Kapitel 5 näher eingegangen.

Eine weitere Wärmebrückenart ist die „geometriebedingte" Wärmebrücke (Abb. 1.2). Bei diesen Wärmebrücken wirken sich z.B. der Effekt der vergrößerten äußeren Oberfläche von z.B. Außenecken, der Wechsel von Bauteildicken sowie Fehlstellen in der Wärmedämmschicht negativ auf den Wärmeschutz aus. Diese Effekte gelten gleichermaßen für den Holz- sowie den Massivbau. Optimierungsmaßnahmen, welche auf die Minimierung solcher geometriebedingten Wärmebrückeneffekte abzielen, (Verrundung vom Gebäudeecken, abschrägen von Fensterlaibungen usw.) bringen jedoch nur geringen Ertrag. Der konstruktive Aufwand, der speziell im Holzbau getrieben werden müsste, ist in den meisten Fällen nicht zielführend.

In der Regel liegt immer eine Überlagerung dieser beiden zuvor beschriebenen Wärmebrückenarten vor (Abb. 1.3).

Eine weitere Art stellen massestrombedingte Wärmebrücken dar. Sie treten dort auf, wo eine erhöhte Wärmeabfuhr über ein strömendes Medium erfolgt, also z.B. eine in der Außenwand verlegte Wasserleitung. Aber auch die

Grundsätzliches:
Je stärker sich die Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Baustoffe unterscheiden, desto größer sind auch die sich einstellenden Wärmebrückeneffekte.

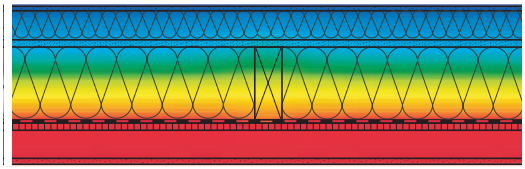


Abbildung 1.1: materialbedingte Wärmebrücke

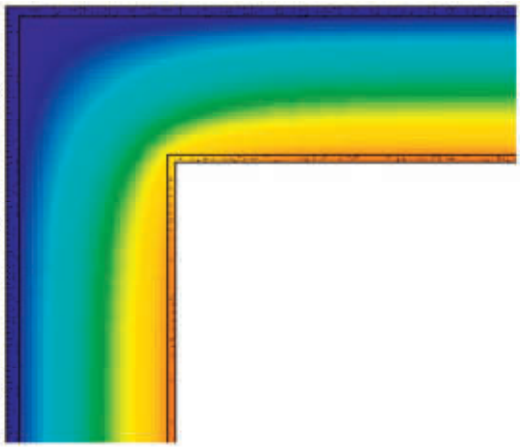


Abbildung 1.2: geometriebedingte Wärmebrücke

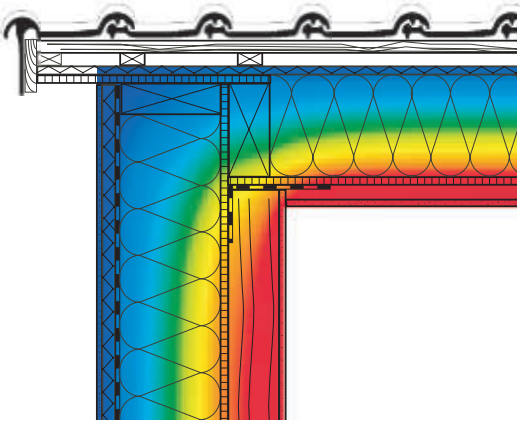


Abbildung 1.3: Überlagerung der geometrie- und materialbedingten Wärmebrückeneinflüsse

Luftströmung in einem Abwasserfallrohr mit Dachentlüftung sowie die Zufuhr kalter Außenluft durch Leckagen in der luftdichten Gebäudehülle, die zu einer Auskühlung angrenzender Bauteile führen, lassen sich in diese Kategorie einordnen. Massestrombedingte Einflüsse durch Wasser- und Abwasserrohre werden bisher normativ nicht berücksichtigt und spielen auch in der Praxis für normale Wohngebäude keine große Rolle. Dieser Teil des Holzbau-Handbuchs behandelt im Folgenden nur geometrie- und materialbedingte Wärmebrücken.

1.1 _ Kenngrößen für Wärmebrücken

Die zusätzlichen Transmissionswärmeverluste, die durch Wärmebrücken verursacht werden, beschreibt man durch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizient ψ, die Einheit ist W/mK. Punktförmige Wärmebrücken (einzelne Durchdringungen, Verbindungsmittel etc.) werden als punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient χ mit der Einheit W/K gekennzeichnet (in älteren Normen werden längen- und punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten auch als Wärmebrückenverlustkoeffizienten WBV bezeichnet).

Eine weitere wichtige Größe ist die sich durch den Wärmebrückeneinfluss einstellende innere Oberflächentemperatur. Zur Kennzeichnung wird der Temperaturfaktor f_{Rsi} verwendet. Er beschreibt die Differenz zwischen der Temperatur der Innenoberfläche und der Außenlufttemperatur, geteilt durch die Differenz zwischen der Innen- und Außenlufttemperatur, berechnet mit einem Wärmeübergangswiderstand R_{si} an der Innenoberfläche des betrachteten Bauteils (nähere Erläuterungen hierzu in Abschnitt 1.2.2.1). Dies hat den Vorteil für nachfolgende Berechnungen, daraus Oberflächentemperaturen für beliebige Innen- und Außentemperaturen abzuleiten. Wärmebrücken erzeugen in Bauteilen in der Regel zwei bzw. dreidimensionale Wärmeströme, die nur mit spezieller Software berechnet werden können. Da jedoch der Aufwand für solche Berechnungen recht hoch ist, werden für Standarddetails in zahlreichen Publikationen (Wärmebrückenkatalogen, Wärmebrücken-Atlanten) die entsprechenden Kennwerte zur Verfügung gestellt.

1.2 _ Normative Randbedingungen

Nachdem in den letzten Jahren der Wärmeschutz der Bauteile immer mehr verbessert wurde, spielen mittlerweile die Anschlüsse dieser Bauteile aber auch Durchdringungen durch diese Bauteile und dergleichen eine immer größere Rolle. Es ist mittlerweile verhältnismäßig einfach, Außenbauteile mit relativ kleinen Wärmedurchgangskoeffizienten zu realisieren. Die Vermeidung von Wärmebrücken bzw. die Minderung von deren Wirkung wird daher immer wichtiger und stellt eine Herausforderung dar. Der Entwurf bzw. die Konstruktion von wärme- und feuchtetechnisch optimierten Bauteilanschlüssen sollte daher auch ein wesentlicher Bestandteil von Planungsleistung sein. Der durch Wärmebrücken verursachte zusätzliche Wärmeverlust am gesamten Transmissionswärmeverlust kann in ungünstigen Fällen ca. 20% und mehr betragen. Deshalb werden mit Einführung der EnEV 2002 diese Einflüsse berücksichtigt.

Die maßgeblichen Normen und Verordnungen, die Aussagen bezüglich Wärmebrücken treffen, sind:

- EnEV Energieeinsparverordnung 2002 / 2004 [2] / 2006 [4]
- Normenreihe DIN 4108
- DIN EN ISO 6946 [5]
- DIN EN ISO 10211 [6]

Nachfolgend wird auf die wichtigsten, die Wärmebrückenproblematik betreffenden Einzelheiten der jeweiligen Norm oder Verordnung eingegangen.

1.2.1 _ EnEV Energieeinsparverordnung

1.2.1.1 _ Erläuterungen zur Bilanzierung nach EnEV 2002 / 2004

Das Thema Energieeinsparverordnung und Holzbau wird in einer eigenen Folge [7] des holzbau handbuchs beschrieben. Im Folgenden werden daher nur die wesentlichen Aussagen und Inhalte der EnEV wiedergegeben, die eine Einordnung der Wärmebrückenthematik in die Bilanzierungsweise der EnEV erlauben sollen.

Mit der Einführung der Energieeinsparverordnung 2002 [2] erfolgte erstmals eine Erweiterung der Bilanzgrenzen hinsichtlich der Erfassung der Transmissionswärmeverluste, die sich im Bereich von Wärmebrücken einstellen. Als Anteil am Gesamt-Transmissionswärmeverlust fließt der Wärmebrückenanteil seitdem in die Berechnung des Heizwärmebedarfs ein.

Der Jahres-Heizenergiebedarf oder auch Endenergiebedarf ergibt sich schließlich aus der Summation des Heizwärmebedarfs, des Warmwasserwärmebedarfs und der Verluste und Hilfsenergien der Anlagentechnik.

Der Primärenergiebedarf, berücksichtigt über den Endenergiebedarf des Gebäudes hinaus auch die Verluste, die bei Erzeugung und Transport eines Energieträgers entstehen. Die Zusammenhänge verdeutlicht Abb. 1.4.

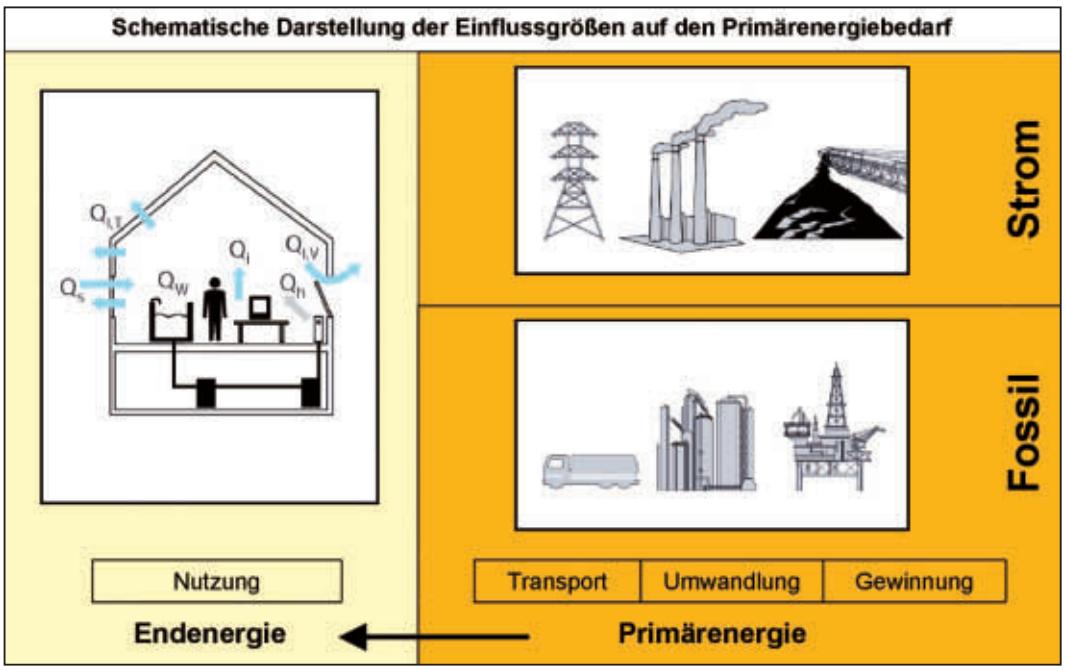


Abbildung 1.4: Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf, nach [8]

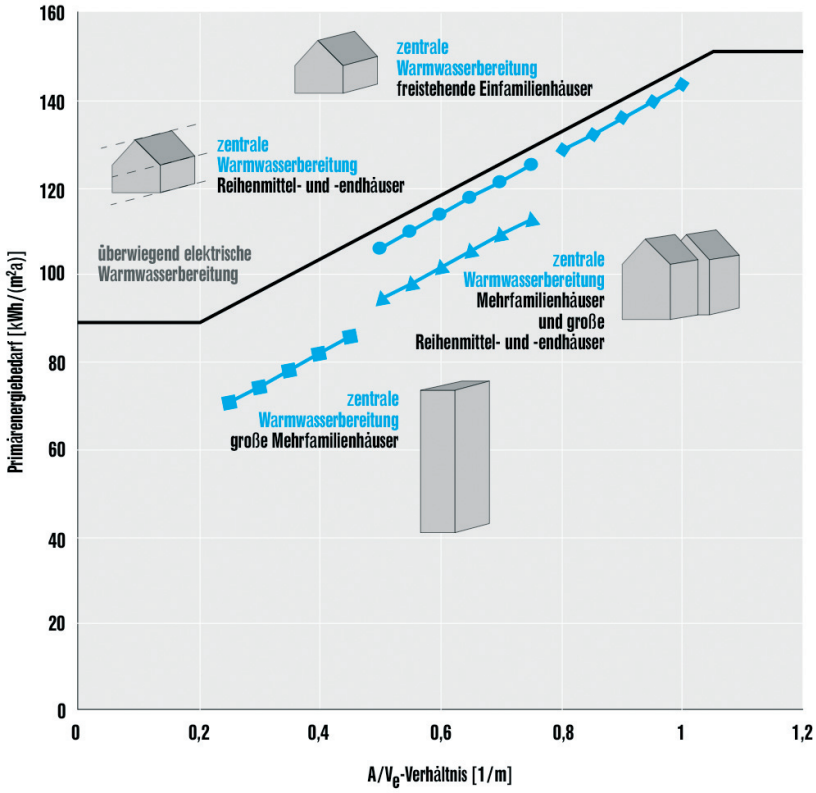


Abbildung 1.5: Abhängigkeit des Primärenergiebedarfs vom A/V-Verhältnis für Wohngebäude mit unterschiedlicher Warmwasserbereitung [8]

Die maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfswerte werden in Abhängigkeit von der Warmwasserbereitung des zu bewertenden Gebäudes formuliert und stellen die Hauptanforderungsgröße der EnEV dar.

Wird die Warmwasserbereitung mit in die Bilanzierung einbezogen – dieser Ansatz ist für Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung generell vorgesehen – ergeben sich die Maximalwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs in Abhängigkeit von der Art der Anlagentechnik in kWh/(m²K), wie in Abb. 1.5 dokumentiert. Es wird hierbei zwischen zentraler und dezentraler Warmwasserbereitung unterschieden.

Die Ausgangsbasis zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs stellt der Jahres-Heizwärmebedarf dar, der auf der Grundlage von DIN EN 832 [10] nach DIN 4108-6 „Berechnung des Jahres-Heizwärme- und des Jahres-Heizenergiebedarfs“ [11] zu ermitteln ist. Neben der Monatsbilanzierung, die einen EDV-Einsatz bedingt, findet ein Heizperiodenbilanzverfahren Verwendung, das für einfache Anwendungen herangezogen werden kann. Hierbei werden jedoch einige Einschränkungen (z.B. Fensterflächenanteil ≤ 30%, Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)) für die zu bewertenden Gebäude gemacht.

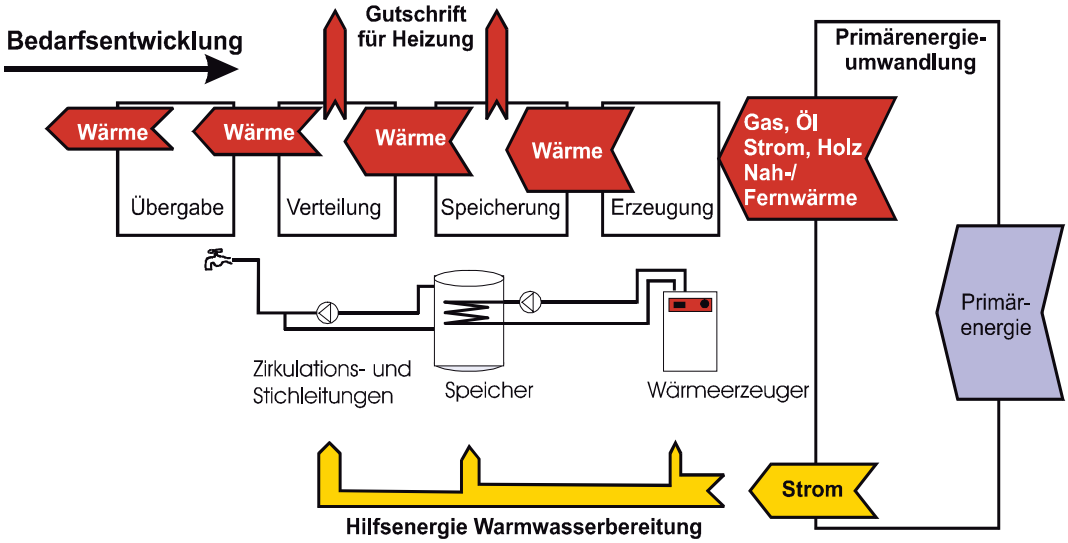


Abbildung 1.6: Bedarfsentwicklung zum Primärenergiebedarf

Die Rechenvorschriften im Rahmen von DIN V 4701-10 „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen" [12] sehen vor, dass die Beschreibung der energetischen Effizienz des Gesamtanlagensystems über Aufwandzahlen erfolgt. Die Aufwandzahl stellt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen dar und ist somit der Kehrwert des Nutzungsgrades, der bislang in der Anlagentechnik hauptsächlich Verwendung fand:

η = Nutzen/Aufwand = 1/*e*

Unter Berücksichtigung von Primärenergiefaktoren wird je nach Anlagentechnik und eingesetztem Energieträger eine Primärenergieaufwandzahl gebildet. Multipliziert mit der Summe aus Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf resultiert die Zielgröße, Jahres-Primärenergiebedarf Q_P.

$$Q_P = (Q_h + Q_W) \cdot e_p \qquad \text{(Gl. 1)}$$

1.2.1.2 _ Konsequenzen der Anforderungsmethodik

Wesentliche, praktische Konsequenzen der EnEV laufen darauf hinaus, dass in einem frühen Stadium die Abstimmung zwischen den Planern des baulichen Wärmeschutzes und der Anlagentechnik erfolgt. Über „Bonusanreize", die eine gute Detailplanung – und natürlich auch eine gute Detailausführung – belohnen, wird eine verbesserte Qualität der Baukonstruktion erreicht. Darüber hinaus wird in dem Nachweisverfahren der Verordnung die Effizienz einer guten Gebäudeanlagentechnik deutlich herausgestellt und es resultieren Anreize für den Einsatz optimierter Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme.

1.2.1.3 _ Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung in der Energieeinsparverordnung

Im Bilanzierungsverfahren der EnEV 2002 für den Primärenergiebedarf werden auch Wärmebrückeneffekte erstmals vom Verordnungsgeber berücksichtigt. Die Thematik Wärmebrücken erlangt hierdurch gegenüber dem Stand früherer Verordnungen einen deutlich höheren Stellenwert.

Gemäß §6, Abs.2 der Energieeinsparverordnung [2] sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass der Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und den im Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird. Der verbleibende Einfluss der Wärmebrücken ist bei der Ermittlung des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts und des Jahres-Primärenergiebedarfs zu berücksichtigen [2].

Die zusätzlichen Wärmeverluste infolge der Wärmebrückenwirkung sind sowohl bei den Gebäuden mit normalen Innentemperaturen als auch bei den Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen jeweils mit zu erfassen und auszuweisen.

Die relevanten Berechnungsalgorithmen werden von der DIN V 4108, Teil 6 bereitgestellt und in Abschnitt 1.2.2.2 erläutert.

1.2.1.4 _ Die novellierte EnEV 2007

Die weitere Entwicklung energetischer Gebäudestandards ist in der EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden" (Richtlinie 2002/91/EG) [13] beschrieben. Die Richtlinie ist am 4. Januar 2003 in Kraft getreten, mit der Maßgabe, dass sie innerhalb von drei Jahren in den einzelnen Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen ist. In Deutschland geschieht dies im Rahmen der Novellierung der EnEV, die ursprünglich bis zum Januar 2006 in Kraft treten sollte. Am 26. Juli 2007 wurde die Verordnung im Bundesgesetzblatt veröffentlicht und trat am 1. Oktober 2007 in Kraft. Mit Einführung der Novelle sind Energiepässe in bestimmten Fällen auch für Bestandsgebäude Pflicht. Während die Berechnungsgrundlage für Wohngebäude mit der aktuellen DIN 4108-6 und der DIN 4701-10 beibehalten wird und sich im Wohnungsbau damit nur geringfügige Änderungen ergaben, wurde für Nichtwohngebäude eine neue Berechnungsgrundlage erarbeitet, die es ermöglicht, auch den Energiebedarf für Kunstlicht und Raumklimatisierung in die Bilanz zu integrieren. Das neue Berechnungsverfahren liegt seit Juli 2005 mit der Vornormenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden" [14] vor.

Die Methodik zur pauschalen Bilanzierung von Wärmebrücken bleibt unverändert, wird aber hinsichtlich überwiegend innengedämmter Gebäude erweitert.

Im Einzelnen betragen die pauschalen Ansätze für

- innengedämmte Gebäude (50% der Außenwand) 0,15 $W/m^2 \cdot K$
- wenn Anschlussdetails nicht dem Bblt. 2 entsprechen 0,10 $W/m^2 \cdot K$
- wenn Anschlussdetails konform sind 0,05 $W/m^2 \cdot K$

Wenn der Einzelnachweis über alle Anschlussdetails mit Hilfe von ψ-Werten und mit den zugehörigen Einflusslängen erbracht wird, kann der exakte Wert ΔU_{WB}-Wert in Ansatz gebracht werden.

1.2.2 _ DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden"

1.2.2.1 _ DIN 4108, Teil 2

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz an Bauteile sind in DIN 4108-2 [3] festgelegt. Der Geltungsbereich der Norm erstreckt sich über die Planung und Ausführung von Aufenthaltsräumen in Hochbauten, die ihrer Bestimmung nach auf normale Innentemperaturen (> 19 °C) beheizt werden sowie auf Aufenthaltsräume mit Innentemperaturen über 12 °C und unter 19 °C. Nebenräume, die zu Aufenthaltsräumen gehören, sind dabei wie Aufenthaltsräume zu behandeln. Die Norm wurde mehrfach überarbeitet (neuste Ausgabe: 2003-07) und durch die Energieeinsparverordnung in Bezug genommen.

In der Norm werden Mindestanforderungen

- an die Wärmedämmung von Bauteilen,
- an Wärmebrücken in der Gebäudehülle,
- an die Luftdichtheit von Bauteilen und
- an den sommerlichen Wärmeschutz

festgelegt.

Die wesentlichen Ziele, die im Vordergrund stehen, sind zum einen für die Bewohner ein hygienisches Raumklima sicher zu stellen und zum anderen die Bausubstanz selbst vor klimabedingten Feuchteeinwirkungen und deren Folgeschäden zu schützen. Ein weiteres Ziel ist die Sicherstellung eines energetischen Mindeststandards zur Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten. In dieser Hinsicht wird jedoch über eine Nebenanforderung der EnEV ein Höchstwert des spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts H_T' vorgeschrieben. Diese Anforderung an die energetische Qualität der Gebäudehülle ist im Vergleich zu den Mindestanforderungen der DIN 4108-2 deutlich schärfer, sodass im Neubausektor im Allgemeinen davon ausgegangen werden kann, dass über die Anforderungen der Energieeinsparverordnung immer Bauteile zum Einsatz kommen, die deutlich über den Anforderungen des Mindestwärmschutzes liegen. Da es sich bei dieser Anforderung der EnEV aber um eine ganzheitliche Forderung handelt und nur die Summe der energetischen Verluste über die Gebäudehülle begrenzt werden, könnte es im Einzelfall demnach vorkommen, dass zwar die ganzheitliche energetische Anforderung an H_T' erfüllt ist, einzelne Bauteile oder Bauteilanschlüsse das Mindestwärmeschutzniveau nach DIN 4108-2 aber unterschreiten. Daher gilt zusätzlich zu der Anforderung an H_T' auch von Seiten der EnEV grundsätzlich als Mindestanforderung an jedes Bauteil das Mindestwärmeschutzniveau nach den anerkannten Regeln der Technik, also nach der DIN 4108-2.

Es wird leider nicht immer sofort klar, welche Hauptanforderung die Grundlage einzelner Grenzwerte der DIN 4108-2 ist. So sind z.B. die Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand R für Geschossdecken gegen Außenluft höher als die an Außenwände; die Begründung steckt in einer Fußnote: „Erhöhter Wärmedurchlasswiderstand wegen Fußkälte“.

Bei Einhaltung der Mindestanforderungen wird bei einer ausreichenden Beheizung (20 °C) und Lüftung (Luftwechsel $n = 0{,}5\ h^{-1}$) der Räume davon ausgegangen, dass hygienisch unbedenkliche Verhältnisse sichergestellt sind. Der Wärmedurchlasswiderstand von Außenwänden darf z.B. den Wert von 1,20 m^2K/W nicht unterschreiten. Bei Decken gegen Außenluft nach oben beträgt der Grenzwert ebenfalls 1,20 m^2K/W und bei Decken gegen Außenluft nach unten 1,75 m^2K/W. Beim unteren Abschluss nicht unterkellerter Aufenthaltsräume ist wenigstens ein Wert von 0,90 m^2K/W einzuhalten. Die geringere Anforderung leitet sich hier aus der höheren Temperatur des Erdreichs im Vergleich zur Außenluft ab. Darüber hinaus sind bei Außenwänden und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Dächern mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse unter 100 kg/m^2 erhöhte Wärmedurchlasswiderstände mit einem Mindestwert von 1,75 m^2K/W vorzusehen – die höheren Anforderungen gegenüber Außenwänden resultieren hier aus dem instationären Heizbetrieb und dem sommerlichen Wärmeverhalten. Bei Rahmen- und Skelettbauarten gelten diese erhöhten Anforderungen nur für den Gefachbereich, wobei im Mittel bei derartigen Konstruktionen ein Wärmedurchlasswiderstand von 1,0 m^2K/W einzuhalten ist.

DIN 4108-2 fordert zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung die Sicherstellung minimaler raumseitiger Oberflächentemperaturen. Die Oberflächentemperatur wird sinnvollerweise nicht in Grad Celsius angegeben, da diese nur für definierte Randbedingungen, d.h. vorgegebene Raum- und Außenlufttemperaturen Gültigkeit hätte. Zur Kennzeichnung dient vielmehr der in DIN EN ISO 10211 angegebene Temperaturfaktor f_{Rsi} (in der Literatur ist auch noch die Bezeichnung Temperaturdifferenzen-Quotient Θ zu finden), der folgendermaßen definiert ist:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \qquad \text{(Gl. 2)}$$

mit

θ_{si}	[°C]	raumseitige Oberflächentemperatur
θ_i	[°C]	Raumlufttemperatur
θ_e	[°C]	Außenlufttemperatur
f = 1	[–]	entspricht der Raumlufttemperatur
f = 0	[–]	entspricht der Außenlufttemperatur

Als Mindestanforderung nennt DIN 4108-2 die Einhaltung eines Temperaturfaktors an der ungünstigsten Stelle der Konstruktion (Wärmebrücke) von $f_{Rsi} \geq 0{,}7$. Bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C und eine Außenlufttemperatur von –5 °C entspricht dies einer raumseitigen Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Unter diesen Randbedingungen ist davon auszugehen, dass keine Schäden durch Schimmelpilzbildung auftreten. Fenster – d.h. Verglasung und Rahmen – sind allerdings von dieser Anforderung ausgenommen. Eine quantitative Einordnung der normativ angesetzten Temperaturen, insbesondere in Hinblick auf den Zusammenhang zwischen zulässiger Raumluftfeuchte bei unterschiedlichen Raumtemperaturen in Abhängigkeit von dem Temperaturfaktor geht aus Abb. 2.2 in Kapitel 2 hervor.

Für übliche Verbindungsmittel, wie z.B. Nägel, Schrauben und Drahtanker braucht in Bezug auf Schimmelpilz- bzw. Tauwasserfreiheit kein Nachweis geführt zu werden.

1.2.2.2 _ DIN 4108, Teil 6

Die exakte Ermittlung des Transmissionswärmebedarfs Q_T erfolgt gem. folgender Gleichung:

$$Q_T = F_{Gt}\left(\sum_i F_i U_i A_i + \sum_j F_j \psi_j \ell_j + \sum_k F_k \chi_k\right) \qquad \text{(Gl. 3)}$$

mit:

Q_T	[kWh/a]	Transmissionswärmeverlust
F_{Gt}	[–]	Faktor Heizgradtagzahl
F	[–]	Temperaturfaktor, allg.
U	[W/(m²K)]	Wärmedurchgangskoeffizient
A	[m²]	Bauteilfläche
ψ	[W/(mK)]	Längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient
ℓ	[m]	Länge der Wärmebrücke
χ	[W/(K)]	Punktbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient

Wenngleich für viele Details ψ- und χ-Werte aus entsprechenden Katalogen und Atlanten, beispielsweise [15]–[21], entnommen werden können, erschien diese Vorgehensweise für gewöhnliche Nachweise wenig praktikabel, da ohne Hilfsmittel zu aufwändig. Deshalb wurde bereits in [23] ein Pauschalierungsansatz gem. folgender Definition vorgeschlagen:

$$Q_T = F_{Gt}\left(\sum_i F_i U_i A_i + \Delta U_{WB} A_{ges}\right) \qquad \text{(Gl. 4)}$$

mit:

ΔU_{WB}	[W/(m²K)]	pauschaler Wärmebrückenzuschlag
A_{ges}	[m²]	Gebäudehüllfläche

Die Bestimmung des Transmissionswärmebedarfs kann unter Berücksichtigung aller Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche und der Wärmebrückeneffekte bei Verwendung von ΔU_{WB} wie folgt vorgenommen werden:

$$Q_T = F_{Gt}\left(U_{AW}A_{AW} + U_W A_W + F_D U_D A_D + F_G U_G A_G + U_{DL} A_{DL} + F_{AB} U_{AB} A_{AB} + \Delta U_{WB} A_{ges}\right) \qquad \text{(Gl. 5)}$$

Index	Bedeutung
Gt	Gradtagszahl
AW	Außenwand
W	Fenster
D	Dach
G	gegen Erdreich
DL	Decke gegen Außenluft
AB	Angrenzende Bauteile
WB	Wärmebrücke
ges	gesamt

Ohne genauere Betrachtung der Wärmebrückenproblematik kann nach EnEV / DIN 4108-6 für den ΔU_{WB}-Wert immer ΔU_{WB} = 0,1 W/(m² · K) bzw. 0,15 W/(m² · K) bei überwiegend innengedämmten Außenwänden gewählt werden. Der Nachweis der Schimmelpilzfreiheit nach DIN 4108, Teil 2 ($f_{R,si} \geq 0{,}7$) ist dann jedoch für jedes Anschlussdetail zu erbringen!

Entsprechen die Regelkonstruktionen und Anschlussdetails im Sinne einer Vergleichbarkeit den in DIN 4108, Beiblatt 2 [22], dargestellten Musterlösungen darf nach EnEV mit ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K) gerechnet werden.

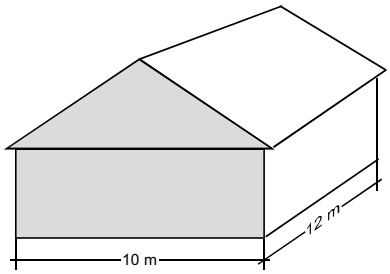
Als dritte Möglichkeit bleibt der detaillierte Nachweis des tatsächlich vorhandenen ΔU_{WB}-Wertes. Der Vergleich von (Gl. 3) und (Gl. 4) führt bei Vernachlässigung der punktuellen Wärmebrücken unmittelbar zur Bestimmungsgleichung für den ΔU_{WB}-Wert:

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum_j F_j \psi_j \ell_j}{A_{ges}} \qquad \text{(Gl. 6)}$$

Für die Berechnung müssen auch hier die ψ-Werte der relevanten Anschlussdetails bekannt sein, was den Aufwand für den Nachweis natürlich erhöht. In vielen Fällen kann sich dieser Aufwand jedoch auszahlen, weil kleinere und damit für die Energiebilanz günstigere ΔU_{WB}-Werte nachgewiesen werden können. ΔU_{WB}-Werte gleich oder nahe Null sind im Holzbau häufig ohne erheblichen konstruktiven Mehraufwand erreichbar (vgl. [7]).

Die größenordnungsmäßige Einordnung dieses Einflusses auf den Primärenergiebedarf ist in Abb. 1.7 dargestellt. Würde man beispielsweise bei der Nachweisführung für ein Haus mit einem Primärenergiebedarf ≤ 60 KWh/m²a den pauschalen Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} von 0,1 W/m²K in Ansatz bringen, so entfiele bereits ein Drittel des zulässigen Höchstwertes

Abbildung 1.7: Wärmebrückenanteile pauschal, beiblattkonform und detailliert



Volumen V = 700m³
Hüllfläche A = 500m²
Nutzfläche A_N = 165m²
Aufwandszahl $e_{P,H+W}$ = 1,0

Anteil Wärmebrücken:
ΔU_{WB} = 0,1W/m²K

$$q_{p,WB} = \frac{(500\ m^2 \cdot 0{,}1\ w/m^2K \cdot 66)}{165\ m^2} \cdot 1{,}0$$

$q_{p,WB}$ = 20 kWh/m²a

Anteil Wärmebrücken:
ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K

$$q_{p,WB} = \frac{(500\ m^2 \cdot 0{,}05\ w/m^2K \cdot 66)}{165\ m^2} \cdot 1{,}0$$

$q_{p,WB}$ = 10 kWh/m²a

Anteil Wärmebrücken:
ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K

$$q_{p,WB} = \frac{(500\ m^2 \cdot 0{,}02\ w/m^2K \cdot 66)}{165\ m^2} \cdot 1{,}0$$

$q_{p,WB}$ = 4 kWh/m²a

Tabelle 1.1: Wärmebrückenverlust und Dämmniveau

H_T' (W/m²K)								
	0,30			0,40			0,50	
ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}	ΔU_{WB}
0,10	0,05	0,02	0,10	0,05	0,02	0,10	0,05	0,02
33%	17%	7%	25%	12,5%	5%	20%	10%	4%

für den Primärenergiebedarf auf den Wärmebrückenanteil. Bei Ausführung der Anschlussdetails gemäß Beiblatt 2 reduziert sich dieser Anteil bereits auf ca. 17%. Erst ein Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung, in diesem Beispiel mit 0,02 W/m²K geführt, bringt eine akzeptable Größenordnung bezüglich des zu bilanzierenden Wärmebrückenanteils in Höhe von ca. 7%.

Noch deutlicher wird diese Abhängigkeit, wenn man den pauschalen Wärmebrückenzuschlag dem Wärmetransferkoeffizient H_T' („mittlerer U-Wert des Gebäudes") gegenüberstellt. Hier wird ersichtlich, dass mit steigendem Wärmedämmniveau der Wärmebrückenanteil immer stärker zu Buche schlägt.

1.2.2.3 _ Das Beiblatt 2 der DIN 4108

Das Beiblatt 2 zur DIN 4108 bietet Hilfestellung und Empfehlungen bei der Konstruktion von Detaillösungen, wodurch auch in Anschlussbereichen eine Einhaltung der durch die DIN 4108-2 formulierten Mindestanforderungen sichergestellt werden kann.

Das ursprünglich für die beschriebene Einordnung der Wärmebrücken heranzuziehende Beiblatt 2 stammt aus dem Jahre 1998 und wurde erstmalig im Januar 2004 weitgehend überarbeitet, indem einerseits der Umfang der dargestellten Details erheblich erweitert wurde und andererseits für die Nachweisführung der Gleichwertigkeit anderer Konstruktionen maximale längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten ψ (in älteren Normen als Wärmebrückenverlustkoeffizienten bezeichnet) aufgeführt werden. Eine erneute Überarbeitung erfolgte im Jahr 2005. Die aktuelle Fassung des Beiblatts 2 ist die Ausgabe März 2006, die für den öffentlich-rechtlichen Nachweis mit Veröffentlichung der Energieeinsparverordnung (2007/07) verbindlich ist.

Die Einhaltung der im Beiblatt 2 empfohlenen Konstruktionsprinzipien gewährleistet einen ausreichenden Wärmeschutz zum einen hinsichtlich der zu erwartenden Oberflächentemperaturen und zum enderen hinsichtlich der energetischen Verluste im Bereich von Wärmebrücken. Besonders im Rahmen der öffentlich-rechtlichen Nachweisführung ist das Beiblatt 2 relevant, da bei Einhaltung der dort empfohlenen Konstruktionsprinzipien gewisse Vereinfachungen in Ansatz gebracht werden können, welche die Nachweisführung erheblich erleichtern bzw. den nötigen Aufwand reduzieren.

Bei der Verwendung dieser Musterlösungen darf ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K anstelle von ΔU_{WB} = 0,10 W/m²K im EnEV-Nachweis angesetzt werden. Außerdem entfällt für diese Anschlussdetails der Nachweis der Schimmelpilzfreiheit.

Aufgrund der großen Bandbreite an möglichen Erscheinungsformen einzelner Anschlussdetails, die verständlicherweise nicht durch das Beiblatt 2 abgedeckt werden können, muss für nicht dargestellte bzw. stark konstruktiv/stofflich abweichende Anschlussdetails ein so genannter Gleichwertigkeitsnachweis geführt werden. Hierbei wird für das entsprechende Anschlussdetail eine Wärmebrückenberechnung unter Verwendung der im Beiblatt angegebenen Randbedingungen durchgeführt. Der so ermittelte ψ-Wert des zu bewertenden Anschlussdetails muss kleiner oder gleich dem im Beiblatt 2 angegebenen Referenzwert sein. Der ermittelte $f_{R,si}$-Wert zum Nachweis der Schimmelpilzfreiheit muss gleich oder größer 0,7 sein.

Im Einzelnen werden hinsichtlich der Führung des Gleichwertigkeitsnachweises folgende Festlegungen getroffen

- Bei der Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips und bei Vorliegen der Übereinstimmung der beschriebenen Bauteilabmessungen und Baustoffeigenschaften ist eine Gleichwertigkeit gegeben.
- Bei Materialien mit abweichender Wärmeleitfähigkeit erfolgt der Nachweis der Gleichwertigkeit über den Wärmedurchlasswiderstand der jeweiligen Schicht.
- Ist auf diesem Wege keine Übereinstimmung zu erzielen, so sollte die Gleichwertigkeit des entsprechenden Anschlussdetails mit einer Wärmebrückenberechnung nach dem in DIN EN ISO 10211 beschriebenen Verfahren unter Verwendung der im Beiblatt angegebenen Randbedingungen vorgenommen werden.
- Ebenso können ψ-Werte Veröffentlichungen oder Herstellernachweisen entnommen werden, die auf den im Beiblatt festgelegten Randbedingungen basieren (z.B.: [15]–[21]).

Darüber hinaus sind Festlegungen getroffen, in welchen Fällen auf eine Berücksichtigung der Wärmebrücken verzichtet werden darf (Bagatellregelung).

Danach dürfen bei der energetischen Betrachtung folgende Details vernachlässigt werden:

- Anschluss Außenwand/Außenwand (Außen- und Innenecke)
- Anschluss Innenwand an durchlaufende Außenwand oder obere oder untere Außenbauteile, die nicht durchstoßen werden bzw. eine durchlaufende Dämmschicht mit einer Dicke $\geq$ 100 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(mK) aufweisen.
- Anschluss Geschossdecke (zwischen beheizten Geschossen) an Außenwand, bei der eine durchlaufende Dämmschicht mit einer Dicke $\geq$ 100 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(mK) vorliegt.
- Einzeln auftretende Türanschlüsse von Wohngebäuden in der wärmeübertragenden Hüllfläche (Haustür, Kellerabgangstür, Kelleraußentür, Türen zum unbeheizten Dachraum).
- kleinflächige Querschnittsänderungen in der wärmeübertragenden Hüllfläche z.B. durch Steckdosen und Leitungsschlitze
- Anschlüsse außenbelüfteter kleinflächiger Bauteile wie z.B. Unterzüge und untere Abschlüsse von Erkern mit außen liegenden Wärmedämmschichten mit R $\geq$ 2,5 (m^2K)/W

Abb. 1.8 und Abb. 1.9 zeigen jeweils Beispiele aus Beiblatt 2, DIN 4108, März 2006.

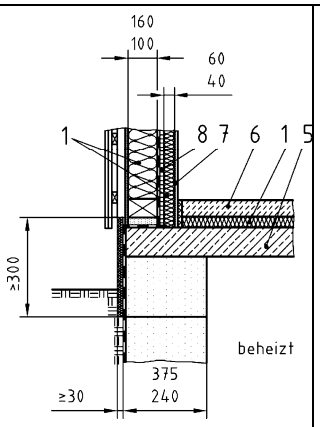
Kellerdecke				
37	Holzbauart mit Hinterlüftung – beheizter Keller		—	$\Psi \leq$ 0,24 W/(m · K)

Abbildung 1.8:
Detail Kellerdecke,
Beiblatt 2, DIN 4108

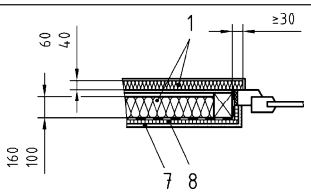
53	Holzbauart		Die Fuge zwischen Blendrahmen und Baukörper ist mit Dämmstoff (≥ 10 mm) ausgefüllt.	≤ 0,03 W/(m · K)

Abbildung 1.9:
Detail Fensterlaibung,
Beiblatt 2, DIN 4108

Im Folgenden wird erläutert, wie das Beiblatt bestimmungsgemäß eingesetzt werden kann, um die Vorteile hinsichtlich der Nachweisführung zu nutzen, die sich bei Einhaltung der dort empfohlenen Konstruktionsprinzipien ergeben.

Feuchtebedingter Wärmeschutz

Für die sog. Regelquerschnitte gelten nach DIN 4108-2 Mindestwerte für den Wärmedurchlasswiderstand einzelner Bauteile, durch die gewährleistet wird, dass das Risiko der Schimmelpilzbildung durch ein ausreichend hohes Niveau der raumseitigen Oberflächentemperaturen ausgeschlossen wird. Zumindest für die Oberflächen der Regelquerschnitte wird auf diese Weise ein Ansteigen der relativen Feuchte auf den Bauteiloberflächen über 80 Prozent und damit die wichtigste Bedingung für Schimmelpilzbildung ausgeschlossen.

Bekanntermaßen sind die niedrigsten Oberflächentemperaturen im Bereich von Außenbauteile üblicherweise aber nicht in der Fläche zu finden, sondern vorwiegend im Bereich von Ecken und Kanten oder dort, wo innerhalb eines Bauteils ein Materialwechsel auftritt. An Stellen, wo sich geometrisch- und/oder materialbedingt mehrdimensionale Wärmetransportmechanismen ergeben und infolgedessen zu reduzierten Oberflächentemperaturen führen, stellt die DIN 4108-2 gesonderte Anforderungen. Im Bereich von Wärmebrücken muss an der ungünstigsten Stelle die Mindestanforderung $f_{Rsi} \geq 0{,}7$ eingehalten werden. Dieser Temperaturfaktor f_{Rsi} kann nach DIN EN ISO 10211-2 gemäß (Gl. 2), bei bekannter minimaler innerer Oberflächentemperatur, bestimmt werden.

Für die monolithischen Ecken von Außenbauteilen gilt diese Anforderung an den Temperaturfaktor als erfüllt, wenn die einzelnen Bauteilkomponenten die Anforderungen an den Wärmedurchgangswiderstand aus der DIN 4108-2 erfüllen. Für alle anderen Bauteilanschlüsse muss die Einhaltung dieses Temperaturfaktors nachgewiesen werden. Da eine derartige Nachweisführung für alle betroffenen Bauteilanschlüsse aber nur unter sehr hohem Zeit- und damit verbundenen Kostenaufwand möglich wäre, gibt die DIN 4108 über das Beiblatt 2 Konstruktionsempfehlungen für übliche Bauteilanschlüsse, für die die Einhaltung dieser Anforderung bereits nachgewiesen ist. Falls die dort aufgeführten Konstruktionsempfehlungen im konkreten Fall vorliegen oder eine Gleichwertigkeit vorhandener oder geplanter Bauteilanschlüsse nachgewiesen werden kann, braucht für diese Anschlüsse kein gesonderter Nachweis über die Einhaltung des Temperaturfaktors geführt zu werden.

Folglich stellt sich die Frage, wie im konkreten Fall eine solche Gleichwertigkeit nachgewiesen werden kann. Gemäß DIN 4108, Beiblatt 2, Abschnitt 3.5 bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten, eine solche Gleichwertigkeit nachzuweisen. Einerseits ist diese gegeben, wenn eine eindeutige Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips bei Übereinstimmung der beschriebenen Bauteilabmessungen und Baustoffeigenschaften möglich ist. Kommen bei der Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips Materialien mit abweichender Wärmeleitfähigkeit zum Einsatz, so erfolgt die Nachweisführung über die Gleichwertigkeit des Wärmedurchlasswiderstandes der jeweiligen Schicht.

Wenn auf diese Weise keine Übereinstimmung der vorliegenden Konstruktion mit im Beiblatt aufgeführten Anschlüssen zu finden ist, muss die Einhaltung von $f_{Rsi} \geq 0{,}7$ mit einer Wärmebrückenberechnung nach den in DIN EN ISO 10211-1 beschriebenen Verfahren nachgewiesen werden.

Energetischer Wärmeschutz

Mit den einzelnen wärmetechnisch relevanten Verordnungen der letzten Jahrzehnte ist das Wärmedämmniveau unserer Wohngebäude allgemein gestiegen. Durch diesen Anstieg fällt die Bedeutung des Transmissionswärmeverlusts im Bereich von Wärmebrücken immer mehr ins Gewicht, da die Einsparungen durch Anheben des Wärmedämmniveaus im Bereich von flächigen Bauteilen verhältnismäßig höher sind als die Einsparungen im Bereich von Wärmebrücken. Es ist daher notwendig, dass diesen Bereichen während der Planung und bei der Ausführung besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Aus diesem Grund wird mit Einführung der EnEV 2002 erstmals eine Berücksichtigung der energetischen Verluste im Bereich von Wärmebrücken bei der Bilanzierung der Wärmeverluste gefordert.

Hinsichtlich der energetischen Bilanzierung von Wohngebäuden werden die zu verwendenden Algorithmen von der DIN V 4108-6, Juni 2003 bereitgestellt und von der Energieeinsparverordnung in Bezug genommen. Zur Berücksichtigung des Transmissionswärmeverlusts im Bereich von Wärmebrücken gibt es prinzipiell drei verschiedene Möglichkeiten. Ohne besonderen Nachweis der Detailausbildung muss der Wärmebrückenanteil am Transmissionswärmeverlust über eine Quasi-Verschlechterung eines jeden U-Wertes durch einen pauschalen Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0{,}10$ W/(m²K) berücksichtigt werden.

Wenn allerdings für alle Anschlussdetails im konkreten Fall eine Gleichwertigkeit zu im Beiblatt aufgeführten Anschlussdetails gemäß der auf Seite 15 beschriebenen Bedingungen nachgewiesen werden kann, so darf eine Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses durch einen pauschalen Wärmebrückenzuschlag in Höhe von nur $\Delta U_{WB} = 0{,}05$ W/(m²K) erfolgen.

Für den Fall, dass nicht für alle Anschlussdetails eine Gleichwertigkeit durch Übereinstimmung des konstruktiven Grundprinzips bzw. Wärmedurchlasswiderstandes einzelner Schichten bei abweichenden Materialien nachgewiesen werden kann, muss rechnerisch für die betroffenen Anschlüsse eine Einhaltung des im Beiblatt explizit und nur zu diesem Zweck angegebenen Referenz-ψ-Wertes nachgewiesen werden. Kann dieser Nachweis erbracht werden, darf jedoch der reduzierte pauschale Wärmebrückenzuschlag in Höhe von $\Delta U_{WB} = 0{,}05$ W/(m²K) in Ansatz gebracht werden. Die in Beiblatt 2 angegebenen Referenz-ψ-Werte sind keinesfalls dazu gedacht, mit ihnen einen detaillierten Einzelnachweis für alle Anschlussdetails zu führen.

Tabelle 1.2: Normative Berücksichtigung von Transmissionswärmeverlusten infolge Wärmebrücken

	Verfahren	Transmissionswärmeverlust
1	vereinfachtes Verfahren pauschaler Wärmebrückenzuschlag **ΔU_{WB} = 0,10 W/(m²K)** ohne besonderen Nachweis	$H_T = \sum_i (F_{x,i} * A_i * U_i) + \sum_i A_i * \Delta U_{WB}$
2	vereinfachtes Verfahren pauschaler Wärmebrückenzuschlag **ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)** mit Nachweis der Gleichwertigkeit zu Beiblatt 2 – Details	
3	detailliertes Verfahren Einzelnachweis $\Delta U_{WB} = \frac{\sum_i F_{x,i}\, \ell_i \psi_i}{A_{ges}}$	$H_T = \sum_i (F_{x,i} * A_i * U_i) + \sum_i (F_{x,i} * \ell_i * \psi_i)$

mit	H_T	[W/K]	Transmissionswärmeverlust
	F	[–]	Temperaturfaktor, allg.
	U	[W/(m²K)]	Wärmedurchgangskoeffizient
	A	[m²]	Bauteilfläche
	ψ	[W/(mK)]	Längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient
	ℓ	[m]	Länge der Wärmebrücke

Diese Art der Berücksichtigung des Transmissionswärmeverlusts infolge von Wärmebrücken durch einen pauschalen Wärmebrückenzuschlag lässt sich sehr einfach durchführen, da lediglich das Produkt aus der ohnehin zu ermittelnden wärmeübertragenden Hüllfläche mit dem anzusetzenden ΔU_{WB}-Wert gebildet werden muss und so in die Bilanz als Anteil am Transmissionswärmeverlust einfließt.

Gerade für den Holzbau ergeben sich aber nach diesem vereinfachten Verfahren, selbst unter Ansatz des reduzierten pauschalen Wärmebrückenzuschlags von ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K) rechnerisch deutlich höhere Verluste im Vergleich zu der aufwendigeren Ermittlung nach dem detaillierten Einzelnachweisverfahren gemäß DIN V 4108-6, März 2003, Abschnitt 6.1.2.

Hiernach müssen in die Ermittlung des Transmissionswärmeverlusts infolge Wärmebrücken folgende Anschlussdetails berücksichtigt werden:

- Gebäudekanten
- bei Fenstern und Türen: Laibungen (umlaufend)
- Decken- und Wandeinbindungen
- Deckenauflager
- wärmetechnisch entkoppelte Balkonplatten

Nach diesem detaillierten Verfahren werden alle tatsächlichen Einflusslängen der zuvor aufgeführten Anschlussdetails multipliziert mit zugehörigen berechneten oder aus Tabellenwerken entnommenen ψ-Werten in die Bilanzierung übernommen. Diese ψ-Werte können in einigen Fällen auch Herstellerangaben entnommen werden.

Tabelle 1.2 führt nochmals die drei Möglichkeiten auf, nach denen der Transmissionswärmeverlust einschließlich des Wärmebrückenanteils bestimmt werden kann.

1.2.3 _ DIN EN ISO 6946

Die DIN EN ISO 6946 [5] hat bereits 1996 den entsprechenden Teil der 4108 zur Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstands und des Wärmedurchgangskoeffizienten abgelöst. Sie legt im Einzelnen eine neue, europäisch harmonisierte Nomenklatur fest und befasst sich im Abschnitt 5 mit der Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstands von homogenen Schichten, im Abschnitt 6 um Bauteile aus homogenen und inhomogenen Schichten.

Die Anhänge A–D – jeweils normativ – stellen Berechnungsansätze zur Behandlung

- des Wärmeübergangswiderstands
- des Wärmedurchlasswiderstands von unbelüfteten Lufträumen
- des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen und keilförmigen Schichten
- von Korrekturen von Wärmedurchgangskoeffizienten

zur Verfügung.

Nachfolgend wird jedoch nur der zentrale Punkt der Norm, die Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstands, behandelt.

1.2.3.1 _ Wärmedurchlasswiderstand R

Eine zentrale Größe bei der Beschreibung der wärmeschutztechnischen Wirkung ebener Bauteile ist der Wärmedurchlasswiderstand, der mit einem R gekennzeichnet wird. Er errechnet sich wie folgt:

$$R = \frac{d}{\lambda} \qquad \text{(Gl. 7)}$$

mit

d [m]	Schichtdicke
λ [W/(mK)]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Wärmedurchgangswiderstand mehrschichtiger Bauteile:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{se} \qquad \text{(Gl. 8)}$$

mit

R_{si} [m²K/W]	innerer Wärmeübergangswiderstand
R_i [m²K/W]	Bemessungswerte des Wärmedurchlasswiderstands jeder Schicht
R_{se} [m²K/W]	äußerer Wärmeübergangswiderstand

Handelt es sich um zusammengesetzte Querschnitte, wie sie bei Holzbauteilen üblich sind, so kann die Ermittlung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten gemäß dem in DIN EN ISO 6946 angegebenen Näherungsverfahren erfolgen. Der seitliche Einfluss von Konstruktionshölzern auf den Wärmestrom findet bei dem Verfahren sowohl durch die Bildung einer mittleren Wärmeleitfähigkeit als auch durch den mittleren Wärmedurchlasswiderstand der einzelnen Schichten Berücksichtigung.

Hierbei wird ein unterer Grenzwert (R_T'') und ein oberer Grenzwert (R_T') für den Wärmedurchgangswiderstand berechnet. Zum besseren Verständnis der folgenden Gleichungen sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich die

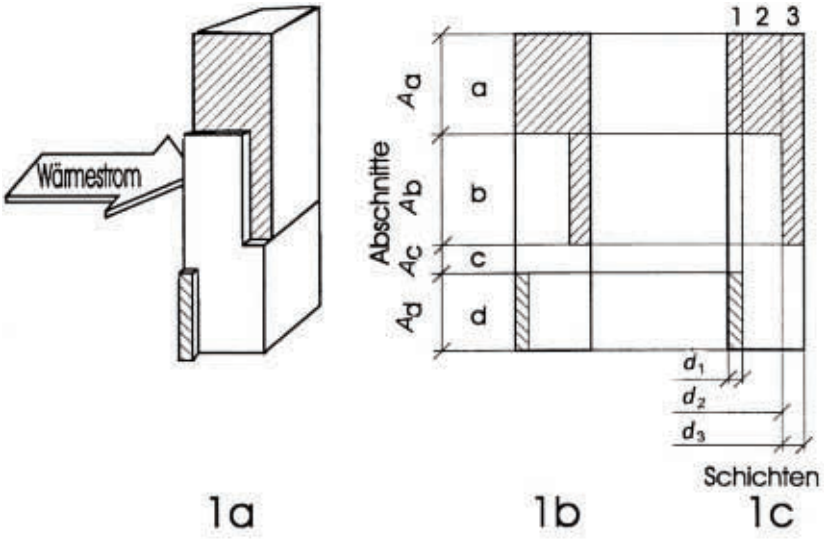


Abbildung 1.10: Abschnitte und Schichten eines thermisch inhomogenen Bauteiles, Skizze aus DIN EN ISO 6946 [5]

Berechnung des unteren Grenzwertes R_T'' auf die Teilwiderstände der Schichten R_j parallel zur Oberfläche bezieht, während sich die Berechnung des oberen Grenzwertes R_T' auf die Teilwiderstände der Schichten senkrecht zur Oberfläche bezieht. Zur Verdeutlichung einzelner Parameter und der Vorgehensweise zeigt Abb. 1.10 die entsprechende Skizze aus DIN EN ISO 6946 [5].

Beginnend mit der Berechnung des unteren Grenzwerts R_T'' ist zunächst der mittlere Wärmedurchlasswiderstand der Schichten parallel zur Oberfläche folgendermaßen zu bestimmen:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{a,j}} + \frac{f_b}{R_{b,j}} + \ldots + \frac{f_q}{R_{q,j}} \qquad \text{(Gl. 9)}$$

mit

$R_{a,j}$ Wärmedurchgangwiderstand des Teilbereichs a, der Schicht j;

j 1, 2, 3, …, n (Nummerierung der Schichten)

$f_a, f_b, \ldots, f_q$ Teilflächen jedes Abschnitts

Die Ergebnisse aus (Gl. 9) werden zur Berechnung des unteren Grenzwerts des Wärmedurchlasswiderstands R_T'' in (Gl. 10) eingesetzt.

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \ldots + R_{se} \qquad \text{(Gl. 10)}$$

mit

R_{si} innerer Wärmeübergangswiderstand

$R_1, R_2, \ldots, R_n$ Wärmedurchlasswiderstände jeder Schicht aus (Gl. 9)

R_{se} äußerer Wärmeübergangswiderstand

Der so ermittelte Wert wird kurz als unterer Wärmedurchlasswiderstand R_T'' bezeichnet. Der unter Annahme eines eindimensionalen Wärmetransports durch ein Bauteil flächengemittelte Wärmedurchlasswiderstand wird als oberer Wärmedurchgangswiderstand R_T' bezeichnet.

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \ldots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \qquad \text{(Gl. 11)}$$

mit

$R_{Ta}, R_{Tb}, \ldots, R_{Tq}$ die Wärmedurchgangwiderstände von Bereich zu Bereich für jeden Abschnitt, berechnet nach (Gl. 8)

Der resultierende Wärmedurchgangswiderstand R_T ist der arithmetische Mittelwert aus oberem und unterem Wärmedurchgangswiderstand.

$$R_T = \frac{(R_T' + R_T'')}{2} \qquad \text{(Gl. 12)}$$

mit

R_T' oberer Grenzwert des Wärmedurchgangwiderstandes;

R_T'' unterer Grenzwert des Wärmedurchgangwiderstandes.

Der durch die europäische Normung entstandene erhöhte Rechenaufwand bewirkt jedoch nur geringe Unterschiede zum alten, flächenanteiligen Ansatz. Dieser so ermittelte R-Wert darf jedoch nur, wie auch der „alte" flächenan-

teilig gemittelte R_m-Wert nur zur energetischen Bewertung herangezogen werden. Für die Berechnung von Oberflächentemperaturen muss dann jeweils wieder mit R_{Gefach} bzw. R_{Stiel} gerechnet werden.

1.2.3.2 _ Wärmdurchgangskoeffizient U

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (W/(m²K)) errechnet sich bei homogenen Schichten aus dem Wärmedurchlasswiderstand gemäß (Gl. 8) und bei inhomogenen Schichten gemäß (Gl. 12) zu

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad \text{(Gl. 13)}$$

1.2.4 _ DIN EN ISO 10211 – Wärmebrücken im Hochbau

Die DIN EN ISO 10211, ursprünglich, aus zwei Teilen (DIN EN ISO 10211-1: 1995-11 und DIN EN ISO 10211-2: 2001-06) bestehende Norm liegt seit Juni 2005 als DIN EN ISO 10211: 2005-06 als Entwurfsfassung vor.

Diese Norm legt die Grundlagen und Randbedingungen für die Berechnung von Wärmebrücken zur Bestimmung

- von Wärmeströmen zur Abschätzung der Gesamtwärmeverluste eines Gebäudes oder Gebäudeteils;
- der niedrigsten Oberflächentemperaturen zur Abschätzung des Risikos einer Schimmelpilz- bzw. Tauwasserbildung

fest.

Es werden Festlegungen bezüglich der geometrischen Modellgrenzen, der Unterteilungen des Modells, der wärmetechnischen Grenzen und der zu verwendenden wärmetechnischen Kennwerte und Beziehungen getroffen.

Die Norm beruht auf folgenden Annahmen:

- Verwendung stationärer Bedingungen;
- die physikalischen Eigenschaften von Baustoffen sind temperaturunabhängig;
- Bauteile besitzen keine Wärmequellen.

Sie darf auch für die Ermittlung von längenbezogenen und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten und Oberflächentemperaturkennzahlen angewendet werden.

Die Norm definiert eine Wärmebrücke folgendermaßen:

„Teil der Gebäudehülle, wo der ansonsten gleichförmige Wärmedurchlasswiderstand signifikant verändert wird

durch:

- eine vollständige oder teilweise Durchdringung der Gebäudehülle durch Baustoffe mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit und/oder
- eine Änderung der Dicke der Bauteile und/oder
- eine unterschiedlich große Differenz zwischen Innen- und Außenfläche, wie sie bei Wand-, Fußböden- und Deckenanschlüssen

auftritt."

Zur Beschreibung der Berechnungsverfahren führt DIN EN ISO 10211 folgendes aus:

„... Berechnungsverfahren sind als numerische Verfahren (z.B. finites Element-, finites Differenz-, Wärmebilanzverfahren) bekannt. Diese numerischen Verfahren erfordern eine Diskretisierung des betrachteten Objekts. Das Verfahren besteht aus einer Reihe von Regeln zur Aufstellung eines Systems von Gleichungen, deren Anzahl proportional zur Anzahl der Unterteilungen ist. Das Gleichungssystem wird entweder

iterativ oder mittels eines direkten Lösungsverfahrens gelöst. Aus der Lösung des Gleichungssystems können üblicherweise die Temperaturen an bestimmten Punkten sowie an jedem beliebigen Punkt des betrachteten Objekts (durch Interpolation) abgeleitet werden; außerdem können die Wärmeströme durch bestimmte Oberflächen abgeleitet werden."

Der vollständige Berechnungsansatz der zur Beschreibung des thermischen Gesamtleitwertes *L* der Gebäudehülle notwendig ist, stellt sich folgendermaßen dar

$$L_{i,j} = \sum_{n=1}^{N} \chi_{n(i,j)} + \sum_{m=1}^{M} \psi_{m(i,j)} \cdot \ell_m + \sum_{k=1}^{K} U_{k(i,j)} \cdot A_k \quad [W/K] \qquad \text{(Gl. 14)}$$

mit:

$\chi_{n(i,j)}$	[W/K]	punktbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient des Teils n des Raumes oder Gebäudes;
$\psi_{m(i,j)}$	[W/mK]	längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient des Teils m des Raumes oder Gebäudes;
ℓ_m	[m]	die Länge, über die der $\psi_{m(i,j)}$-Wert gilt;
$U_{k(i,j)}$	[W/m²K]	der Wärmedurchgangskoeffizient von Teil k des Raumes oder Gebäudes;
A_k	[m²]	die Gesamtoberfläche des Bereichs einer Gebäudehülle, für den der Wert $U_{k(i,j)}$ gilt;
N	[–]	die Anzahl der punktbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten;
M	[–]	die Anzahl der längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten;
K	[–]	die Anzahl der Wärmedurchgangskoeffizienten;

Der den wärmetechnischen Einfluss der jeweiligen Wärmebrücke beschreibende ψ-Wert ergibt sich zu

$$\psi = L^{2D} - \sum_{j=1}^{J} U_j \cdot \ell_j \quad [W/mK] \qquad \text{(Gl. 15)}$$

mit:

L^{2D}	[W/K]	der längenbezogene thermische Leitwert aus einer 2-D-Berechnung des Teils, der die jeweiligen beiden Räume trennt;
U_j	[W/m²K]	der Wärmedurchgangskoeffizient des 1-D-Teils j, der die jeweiligen beiden Räume trennt;
ℓ_j	[m]	die Länge, über die der U_j gilt;

Anhand dieser Gleichung kann nun auch erläutert werden, – was vielfach schwer verständlich ist – warum bei bestimmten Anschlussdetails auch negative ψ-Werte auftreten können.

Aus Vereinfachungsgründen wird bei der Beschreibung der Gebäudegeometrie (Außenmaßbezug) in einigen Fällen „großzügig/pragmatisch" vorgegangen und dadurch ein höherer Wärmeverlust beschrieben, als er physikalisch tatsächlich vorhanden ist.

Die Summe der Produkte aus $U_j \cdot \ell_j$ ist dann größer als der thermische Leitwert der sich aus einer exakten Wärmebrückenberechnung ergibt, da die einzelnen Bauteilabmessungen bzw. festgelegten Maßbezüge vereinfacht angesetzt werden. Negative ψ-Werte können auch in Fällen auftreten, in denen z.B. aus konstruktiven Gründen bessere physikalische Zustände vorliegen, als sie durch den U-Wert des jeweiligen Regelquerschnitts beschrieben werden.

An Abb. 1.11 wird deutlich, dass die tatsächliche thermische Situation (durch die Überdeckung des Blendrahmens mit Wärmedämmstoff) besser sein kann, als sie durch die normativ richtige Beschreibung von U-Wert und festgelegtem

Maßbezug beschrieben wird. Durch die Breite des Überdeckungsbereich X des Blendrahmens kann, je nach Detailausführung der Wärmebrückeneinfluss dieser Anschlusssituation ausgeglichen (ψ = 0), ja sogar überkompensiert (ψ-Wert negativ) werden.

Im Anhang der Norm werden außerdem Beispiele zur Überprüfung von Rechenprogrammen oder zur Absicherung eigener Ergebnisse aufgeführt.

Der Anwender von Wärmerückenkatalogen muss sich normalerweise nicht mit diesen Dingen auseinander setzen.

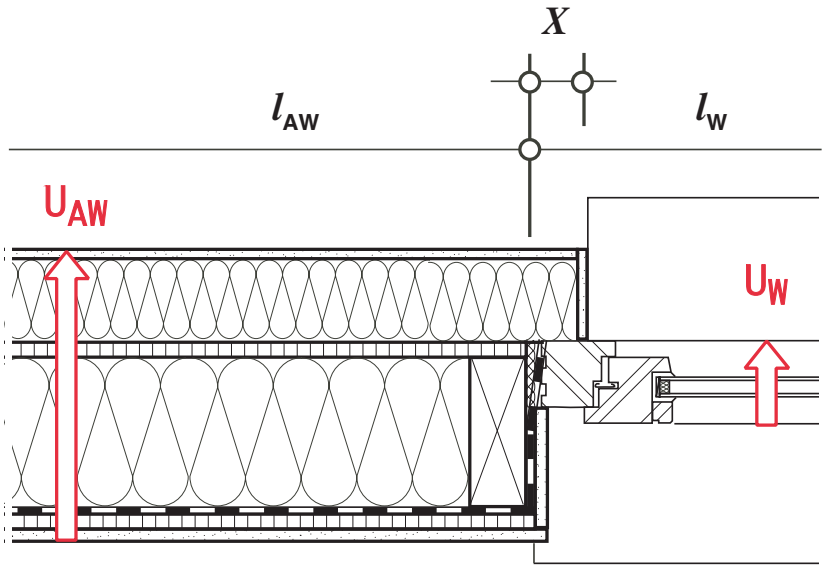


Abbildung 1.11: Fensteranschluss mit Darstellung der Maßbezüge

1.2.5 _ Berechnungsbeispiele

Die Berechnungsverfahren der DIN EN ISO 6946 [5] und die genaue Berechnungsmethode mit Hilfe von ψ-Werten und zugehörigen Achsabständen werden im Folgenden anhand eines Konstruktionsbeispiels einer Außenwand dargestellt. Für die Berechnungsbeispiele werden die Materialdaten der DIN V 4108-4 [25] und der DIN EN 12524 [26] herangezogen.

Tabelle 1.3: Bauteilquerschnitt, Materialdaten und Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände

Baustoff	**d [mm]**	**λ [W/(m K]**	**R [m²K/W]**		
Gipsplatte	12,5	0,25	0,05		
Luftschicht			0,18		
OSB-Platte	13	0,13	0,1		
Wärmedämmstoff	160	0,04	4		
MDF, paraffiniert	15	0,14	0,107		
Wärmedämmstoff	60	0,04	1,5	Flächenanteile	
Kunstharzputz, armiert	8	0,70	0,011	f_{Gefach}	f_{Stiel}
Summe	268,5		5,949	0,904	0,096

Tabelle 1.4: Berechnungsbeispiel gemäß DIN EN ISO 6946

Oberer Grenzwert R_T'

– flächenanteilige Mittelung der Wärmedurchgangswiderstände aller Schichten

gem. (Gl. 8) für Gefach:

$R'_{T,\,Gefach} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se}$

$R'_{T,\,Gefach} = 0{,}04 + 0{,}05 + 0{,}18 + 0{,}115 + 4{,}0 + 0{,}107 + 1{,}5 + 0{,}011 + 0{,}13 = 6{,}132\ m^2 \cdot K/W$

gem. (Gl. 8) für Stiel:

$R'_{T,\,Stiel} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se}$

$R'_{T,\,Stiel} = 0{,}04 + 0{,}05 + 0{,}18 + 0{,}115 + 1{,}231 + 0{,}107 + 1{,}5 + 0{,}011 + 0{,}13 = 3{,}364\ m^2 \cdot K/W$

gem. (Gl. 11):

$1/R'_T = f_{Gefach} / R'_{T,\,Gefach} + f_{Stiel} / R'_{T,\,Stiel}$

$1/R'_T = 0{,}904 / 6{,}132 + 0{,}096 / 3{,}364 = 0{,}176\ W/(m^2 \cdot K)$

$R'_T = 5{,}683\ m^2 \cdot K/W$

Unterer Grenzwert R_T''

– flächenteilige Mittelung der Wärmedurchgangswiderstände jeder einzelnen Schicht

homogene Schicht, deshalb Wert aus Tabelle $R_1 = 0{,}05\ m^2 \cdot K/W$

homogene Schicht, deshalb Wert aus Tabelle $R_2 = 0{,}18\ m^2 \cdot K/W$

homogene Schicht, deshalb Wert aus Tabelle $R_2 = 0{,}115\ m^2 \cdot K/W$

gem. (Gl. 11) für Schicht 3:

$1/R_3 = f_{Gefach} / R_{Gefach} + f_{Stiel} / f_{Stiel}$

$1/R_3 = 0{,}904 / 4{,}00 + 0{,}096 / 1{,}231 = 0{,}304$ $R_3 = 3{,}29\ m^2 \cdot K/W$

homogene Schicht, deshalb Wert aus Tabelle $R_4 = 0{,}107\ m^2 \cdot K/W$

homogene Schicht, deshalb Wert aus Tabelle $R_5 = 1{,}5\ m^2 \cdot K/W$

homogene Schicht, deshalb Wert aus Tabelle $R_6 = 0{,}011\ m^2 \cdot K/W$

gem. (Gl. 10):

$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se}$

$R''_T = 0{,}04 + 0{,}05 + 0{,}18 + 0{,}115 + 3{,}29 + 0{,}107 + 1{,}5 + 0{,}011 + 0{,}13 = 5{,}423\ m^2 \cdot K/W$

gem. Gleichung (6):

$R_T = (R'_T + R''_T) / 2$

$R_T = (5{,}683 + 5{,}423) / 2 = 5{,}553\ m^2 \cdot K/W$

gem. (Gl. 13):

$U = 1 / R_T$

$U_{6946} = 0{,}180\ W/(m^2 \cdot K)$

Tabelle 1.5: Berechnungsbeispiel gemäß Näherungsverfahren $U_{Gefach} + \psi / e$

$U_{Gefach} = 1 / (5{,}949 + 0{,}13 + 0{,}04) = 0{,}163\ W/(m^2K)$

$U = U_{Gefach} + (\psi / e)$

$U = 0{,}163 + (0{,}011 / 0{,}625) = 0{,}181\ W/(m^2K)$

2 _ Feuchtetechnische Bedeutung von Wärmebrücken

In der allgemeinen Diskussion über Baumängel haben Schimmelpilzschäden einen großen Stellenwert. Hauptursache dieser Schäden ist die sich auf Bauteilen und in oberflächennahen Bereichen ansammelnde Feuchte. Ursache dieser Feuchtigkeitsansammlung ist das Zusammentreffen von hoher relativer Raumluftfeuchte und niedrigen Temperaturen der Bauteiloberflächen. Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge muss hierzu der Begriff „relative Luftfeuchte" näher erläutert werden.

In Abb. 2.1 ist beispielhaft für einen Raum die Entwicklung der relativen Luftfeuchtigkeit dargestellt. Fall A beschreibt die Ausgangssituation der Raumluftkonditionen mit 25 °C Lufttemperatur und einer relativen Feuchte von ca. 55%. Der Wassergehalt der Raumluft beträgt unter diesen Randbedingungen 12,8 g/m³, die Luft könnte bis zum Erreichen der Sättigungsgrenze (23,1 g/m³) noch 10,3 g/m³ Wasser aufnehmen. Sinkt nun (Fall B) die Temperatur auf 20 °C (der absolute Wassergehalt der Luft bleibt dabei gleich), so steigt die relative Luftfeuchtigkeit auf 74% an und die freie Speicherkapazität der Raumluft hat sich auf nur noch 4,5 g/m³ verringert. Im Fall C, die Raumluft beträgt nur noch 15 °C, erreicht die Luft ihre Sättigungsgrenze und hat nun keine „Reserve" mehr. Die relative Luftfeuchte beträgt jetzt 100% – die Taupunkttemperatur ist erreicht –, mehr Feuchte kann die Luft nicht mehr aufnehmen. Da jedoch in Räumen die Oberflächentemperaturen von Bauteilen gegen Außenluft im Winter üblicherweise niedriger sind als die Raumluft, schlägt sich bei unterschreiten der Taupunkttemperatur, das „überschüssige" Wasser an diesen „kalten" Stellen nieder. Im Fall D, die „Oberflächen"-Temperatur beträgt in diesem Fall 5 °C, tritt ein Überschuss von 6,0 g/m³ Wasser auf, der sich dann in Form von "flüssigem" Wasser auf z.B. Fensterscheiben (Abb. 2.3) niederschlägt oder in oberflächennahen Bereichen von Baustoffen einlagert.

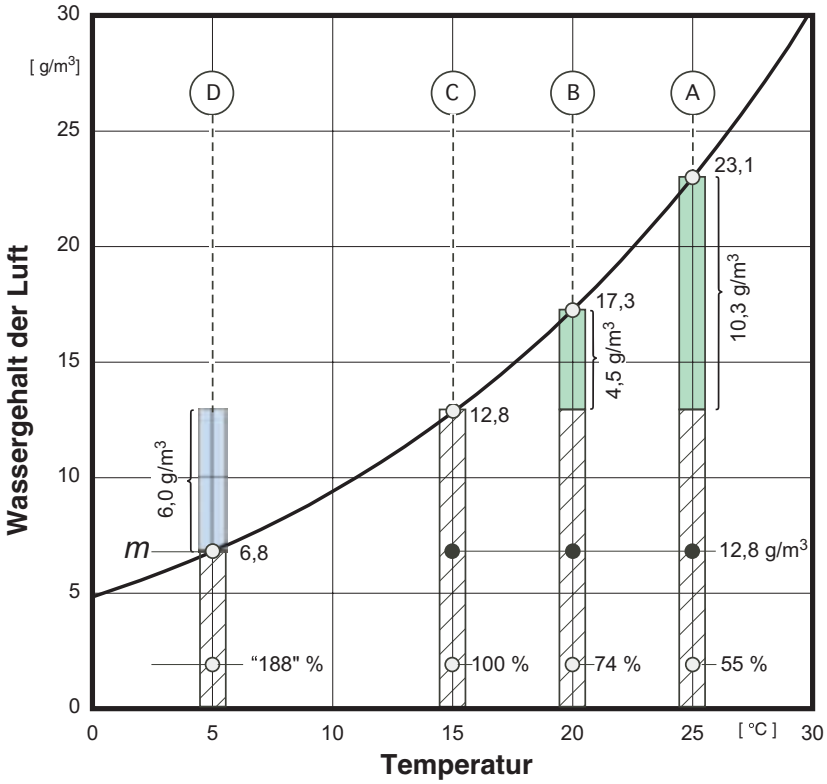


Abbildung 2.1: Relative Luftfeuchte: Wassergehalt der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

Für den Holzbau besteht jedoch für übliche Wand- und Dachkonstruktionen sowie für die überwiegende Anzahl der Anschlussdetails – unter normalen Nutzungsbedingungen – keine Gefahr der Tauwasserbildung. Die raumseitigen Oberflächentemperaturen von Bauteilen sind in der Regel ausreichend hoch, die Einhaltung der Mindestanforderung an den Wärmeschutz nach DIN 4108-2 stellt dies sicher.

Zieht man die Definition des Temperaturfaktors gemäß (Gl. 2) heran und wählt bestimmte Temperatur-Randbedingungen für Innen- und Außenlufttemperatur, so kann die in einem Raum zulässige relative Raumluftfeuchte bestimmt werden, bei der Tauwasser- bzw. Schimmelpilzfreiheit gewährleistet wird.

Die Bedingung für Tauwasserfreiheit lautet:

$$\varphi \leq \left(\frac{109{,}8 + f \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e}{109{,}8 + \theta_i}\right)^{8{,}02} \cdot 100\% \quad \text{(Gl. 16)}$$

mit

φ [%] relative Feuchte der Raumluft
θ_e [°C] Lufttemperatur außen
θ_i [°C] Lufttemperatur innen

Die für Schimmelpilzwachstum ausreichenden Mengen an Wasser entstehen nicht erst, wie oftmals vermutet, wenn an Bauteiloberflächen Tauwasserbildung stattfindet. Vielmehr reicht es bereits aus, wenn im Bereich der Bauteiloberfläche relative Luftfeuchten von ca. 80% auftreten.

Zur Vermeidung von Schimmelpilz muss folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\varphi \leq 0{,}8 \cdot \left(\frac{109{,}8 + f \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e}{109{,}8 + \theta_i}\right)^{8{,}02} \cdot 100\% \quad \text{(Gl. 17)}$$

In Abb. 2.2 sind die Zusammenhänge für f-Wert und zulässigen Raumluftfeuchten dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass bei kleinen Temperaturfaktoren, die im Bereich von Wärmebrücken auftreten können, mit Schimmelpilzbildung zu rechnen ist.

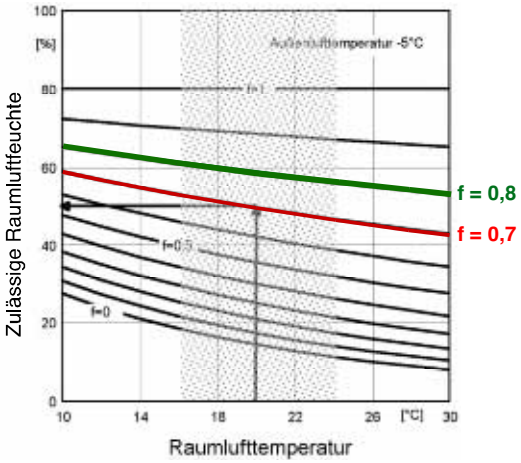


Abbildung 2.2: Maximal zulässige Raumluftfeuchte in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und f-Wert

Im Holzbau treten bei Regelquerschnitten und bei der überwiegenden Anzahl von Anschlussdetails praktisch keine f-Werte unterhalb 0,8 auf. Für den in Abb. 2.1 grau dargestellten Bereich von möglichen Raumlufttemperaturen kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass keine Schimmelpilzgefahr besteht. Wärmebrückenkataloge (z.B. [15]–[21]) bieten eine gute Möglichkeit, sich ein „Gefühl für die Empfindlichkeit" von Konstruktionsdetails zu verschaffen.

Zur besseren Einschätzung von f-Wert und Schimmelpilzrisiko ist in Abb. 2.3 Schimmelpilzbefall auf/in der Silikoneindichtung und Tauwasserbildung im Eckbereich der Fensterscheibe dargestellt. Hauptursache ist die mangelnde thermische Qualität des Glasrandverbunds durch die metallischen Abstandhalter – in diesem Bereich können sich Temperaturfaktoren f_{Rsi} um 0,5 einstellen – und eine Raumluftfeuchte von über 65%.

Nutzungsbedingte Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen laufen darauf hinaus, dass Gebäude ausreichend beheizt und gelüftet werden, um zu hohe Werte der relativen Raumluftfeuchte zu vermeiden. Modere Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad ≥ 75%, Stromverbrauch ≤ 0,50 Wh/m³) sind in der Lage diese notwendigen Raumluftkonditionen sicherzustellen und sind außerdem aus energetischen Gesichtspunkten sinnvoll.

In baulich/konstruktiver Hinsicht ist darauf zu achten, dass im Bereich von Anschlussdetails möglichst hohe raumseitige Oberflächentemperaturen vorliegen.

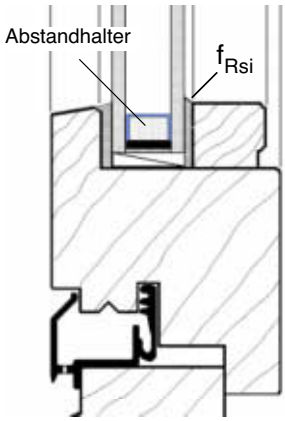


Abbildung 2.3:
Tauwasserbildung am Scheibenrand/Glaseinstand

Besondere Beachtung muss jedoch der Anbindung von Holzbauteilen an Massivbauteile geschenkt werden. Hier sind vor allem metallische Verbindungsmittel (Winkel, Dübel, Bandstahlanker usw.) als Schwachstellen bekannt. Speziell die freien Stirnseiten von Bodenplatten nicht unterkellerter Gebäude sollten mit einer ausreichenden Dämmung versehen werden (Abb. 2.4, Abb. 2.5).

Weiterführende Literatur zur Schimmelpilzproblematik findet sich unter anderem in [27] und [28].

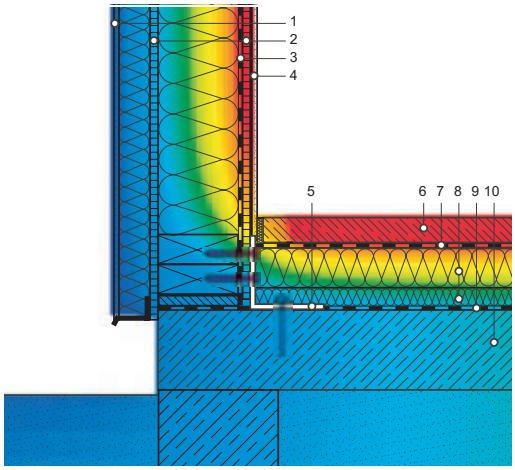


Abbildung 2.4:
Bodenplatte ohne Stirndämmung

Baustoffe (Abb. 2.4 und 2.5)

1 Außenputz
2 Holzwerkstoffplatte
3 Dampfbremse/Luftdichtheitsbahn
4 Gipskartonbauplatte
5 Befestigungswinkel, Stahl
6 Estrich
7 Trennlage
8 Wärmedämmstoff
9 Dampfsperre/Sperrschicht
10 Stahlbeton

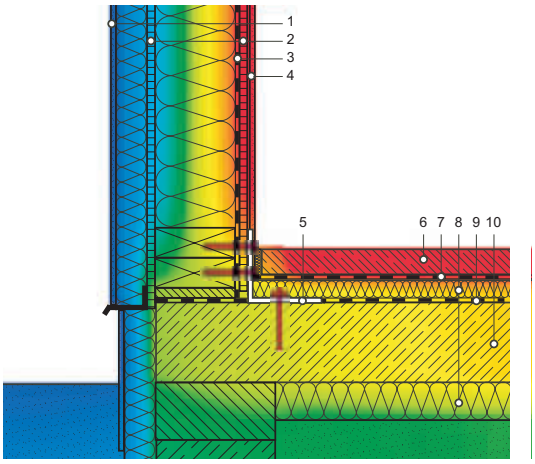


Abbildung 2.5:
Bodenplatte mit Stirndämmung

3 _ Energetische Bedeutung von Wärmebrücken

3.1 _ Konsequenzen der Wärmebrückenerfassung auf die übrige Gebäudeausführung

Für die Berücksichtigung der Transmissionswärmeverluste infolge Wärmebrücken bestehen normativ die in Tabelle 1.2 aufgeführten Möglichkeiten. Für ein Einfamilienhaus folgen Bilanzierungsbeispiele, wobei diese drei Ansätze

- mit Nachweis der Gleichwertigkeit zu im Beiblatt 2 der DIN 4108 aufgeführten Anschlüsse (Variante 0),
- ohne besondere Berücksichtigung der Bauteilanschlüsse (Variante 1) und
- mit Einzelnachweis

gegenübergestellt werden. Aus der Maßgabe, dass aus den drei Beispielrechnungen derselbe Primärenergiebedarf hervorgehen und sich an der Anlagentechnik nichts verändern soll, ergibt sich eine direkte Abhängigkeit des Primärenergiebedarfs von der energetischen Qualität der Gebäudehülle, also dem spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmetransferkoeffizienten H_T'.

Wird als Ausgangsfall (Variante 0) für das in Abb. 3.1 gezeigte Gebäude eine natürliche Lüftung mit Nachweis der Dichtheit, die Ausführung der Wärmebrücken gem. DIN 4108 Beiblatt 2, eine Zentralheizung mit Niedertemperaturkessel (55/45 °C) und eine kombinierte Trinkwassererwärmung zugrunde gelegt, ergibt sich hieraus ein Jahresprimärenergiebedarf in Höhe von 125,2 kWh/m²a, wenn die in Tabelle 3.1 (unten rechts) für Variante 0 angegebenen U-Werte eingehalten werden. Ebenfalls aus dieser Tabelle gehen die Anteile der jeweiligen Verlustelemente für diese (oben links) und die beiden Varianten 1 (oben rechts) und 2 (unten links) hervor.

Wird demgegenüber auf die Führung des Nachweises über das Beiblatt verzichtet und der pauschale Korrekturwert von 0,1 W/(m²K) in Ansatz gebracht (Variante 1), müssen deutlich kleinere Wärmedurchgangskoeffizienten bei den übrigen Bauteilen realisiert werden, um denselben H_T'-Wert einzuhalten. Im Vergleich zu der energetischen Qualität der Bauteile im Ausgangsfall muss in diesem Fall z.B. der U-Wert

Abbildung 3.1: Kennzeichnung des betrachteten Einfamilienhauses

Gebäudedaten:

freistehendes Einfamilienhaus
Fensterflächenanteil Fassade
Nord 15%, Süd 35%, Ost/West 20%
natürliche Lüftung (Fensterlüftung) mit Nachweis der Dichtheit
Ausführung der Wärmebrücken gemäß DIN 4108, Beiblatt 2

Gebäudegeometrie:

V_e = 459 m³, A/V_e = 0,85 m⁻¹,
A_N = 147 m²

Anlagentechnik:

Zentralheizung (Niedertemperaturkessel 55/45 °C) mit kombinierter Trinkwassererwärmung

Anforderung gemäß EnEV 2002/2004

H_T', max = 0,48 W/(m²K)
Q_P'', max = 125,3 kWh/(m²a)
bzw. = 136,8 kWh/(m²a)
bei überwiegend elektrischer Warmwasserbereitung

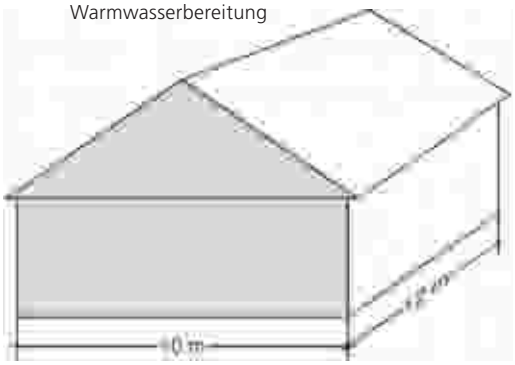
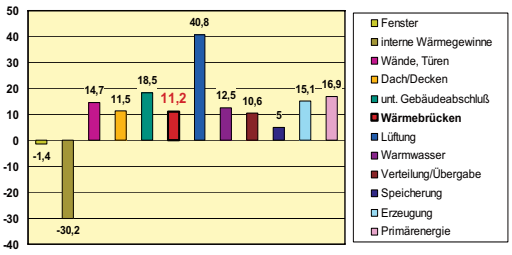


Tabelle 3.1: Varianten unterschiedlicher Wärmebrückenbilanzierung

Auswirkungen unterschiedlicher Bilanzierung der Wärmebrücken bei konstantem H_T'

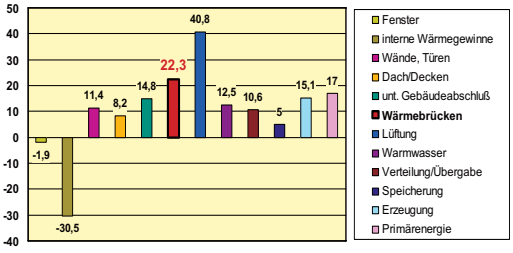
Variante 0: Wärmebrücken gem. 4108 Beiblatt 2, ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)

Bilanzanteile am Jahresprimärenergiebedarf [kWh/m²*a]



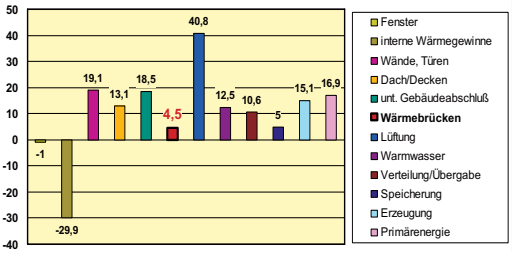
Variante 1: Wärmebrücken Standard, ΔU_{WB} = 0,10 W/(m²K)

Bilanzanteile am Jahresprimärenergiebedarf [kWh/m²*a]



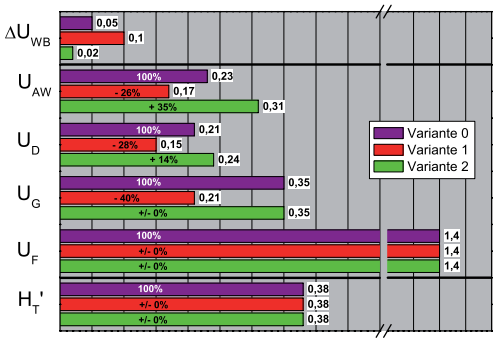
Variante 2: Wärmebrücken detailliert, ΔU_{WB} = 0,02 W/(m²K)

Bilanzanteile am Jahresprimärenergiebedarf [kWh/m²*a]



U-Werte-Vergleich bei unterschiedlicher Wärmebrückenbilanzierung und gleich bleibendem H_T'

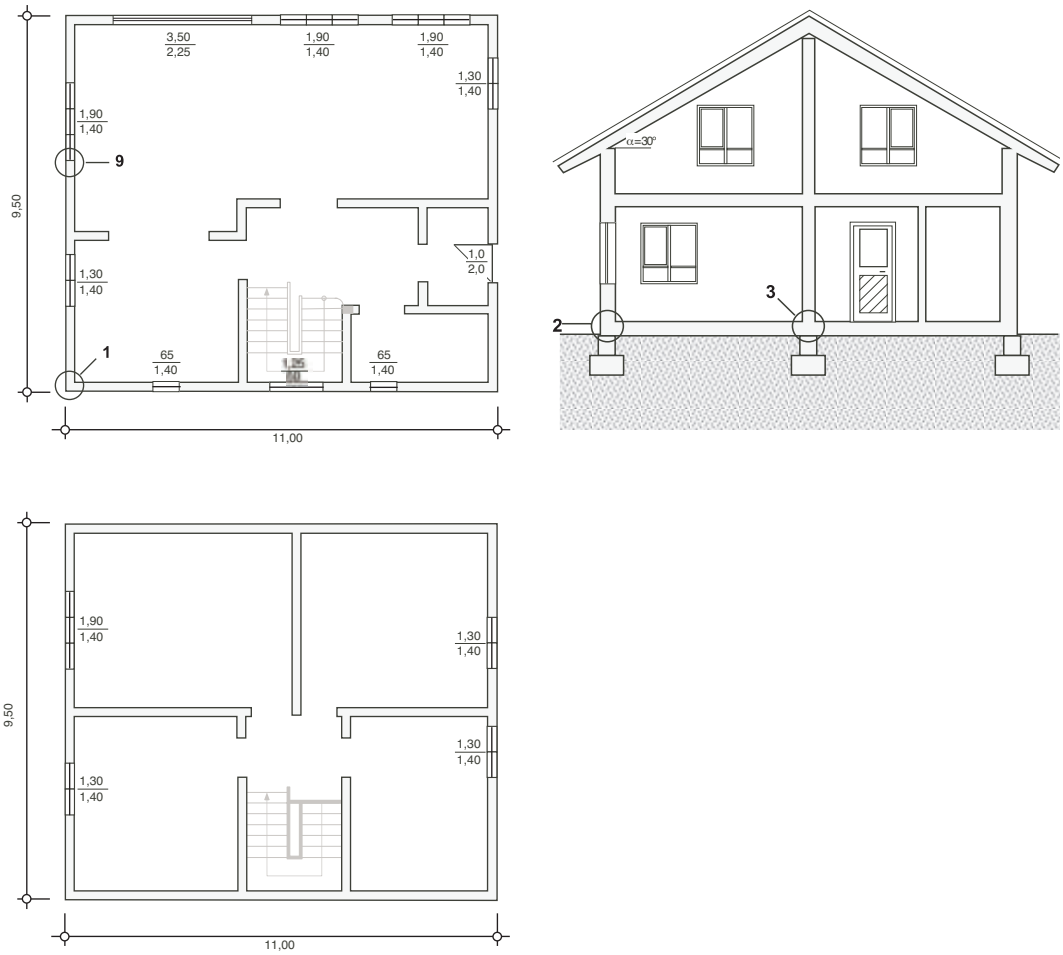
spezifische Wärmeverluste [W/m²K]



der Außenwand (U_{AW}) um 26%, der U-Wert des Daches (U_D) um 28% und der U-Wert der Bodenplatte (U_G) um 40% verbessert werden, um den Wärmebrückenanteil zu kompensieren. Im Vergleich zu Variante 0 wird der bedeutende Einfluss infolge des pauschalen Wärmebrückenzuschlags von ΔU_{WB}= 0,1 W/(m²K) auf die Höhe der Transmissionswärmeverluste deutlich.

Das Berechnungsbeispiel Variante 2 berücksichtigt einen detaillierten Nachweis der Wärmebrückenwirkung. Für dieses Gebäude liefert der detaillierte Nachweis einen auf die wärmeübertragende Hülle bezogenen Wert für ΔU_{WB} von 0,02 W/(m²K). In zahlreichen Fällen sind, wie erwähnt, auch Werte um 0 W/(m²K) nachweisbar (siehe Abschnitt 3.2). Aus der Gegenüberstellung der spezifischen Wärmeverluste in Tabelle 3.1 geht hervor, dass durch diesen reduzierten Anteil der Wärmebrückenverluste im Vergleich zum Ausgangsfall deutlich geringere Anforderungen an die energetische Qualität einzelner Bauteile gestellt werden, wenn der ursprüngliche H_T'-Wert beibehalten werden soll. Ein weitaus wichtigeres Argument für die Führung des Einzelnachweises ist die Tatsache, dass durch einmaligen Planungsaufwand bei den Detaillösungen und bei unverändertem Materialeinsatz bei den Regelkonstruktionen ein deutlich besseres Ergebnis erzielt werden kann.

Abbildung 3.2:
Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf (Beispielgebäude)



Der Vergleich ist dabei nicht im Sinne einer Empfehlung zu verstehen, etwa durch einen exakten Nachweis der Wärmebrückenwirkung die wärmeschutztechnische Qualität der Regelquerschnitte aufzuweichen, es soll hier nur die Bedeutung des Einflusses verdeutlicht werden. Vielmehr können bei Ausbildung der Regelquerschnitte gemäß Ausgangsfall und detailliertem Nachweis geringere Werte des Primärenergiebedarfs nachgewiesen werden oder die detaillierte Planung der Anschlussdetails und der entsprechende Nachweis wird dazu herangezogen, die jeweils wirtschaftlichste Lösung zu finden.

3.2 _ Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung (ΔU_{WB})

Tabelle 3.2 zeigt, wie ein detaillierter Wärmebrückennachweis im Rahmen eines EnEV-Nachweises geführt werden kann. Mit Hilfe des Wärmebrückenkatalogs auf CD-ROM kann die hier nur auszugsweise dargestellte Zusammenstellung aller linienförmigen Wärmebrücken des Beispielgebäudes auf einfache Art und Weise erfolgen. Siehe hierzu Abb. 4.7.

Tabelle 3.2: Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung

Anlage zum EnEV – Nachweis: BV Müller-Lüdenscheid / Dr. Klöber
Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung – Berechnung von ΔU_{WB}

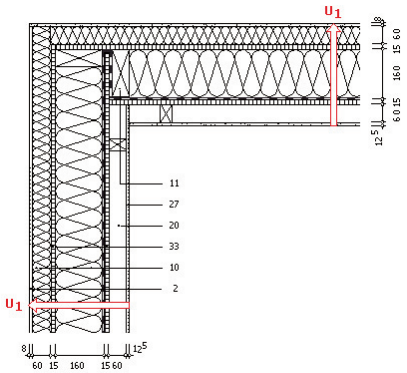
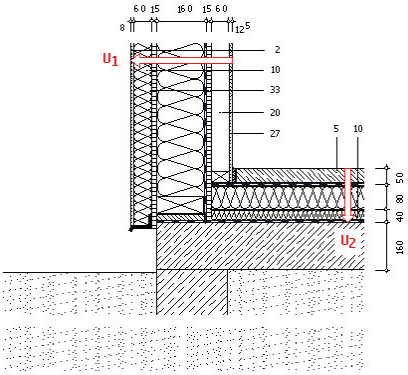
Nr.	Detailbezeichnung Bemerkung	Länge ℓ [m]	F_x [–]	ψ-Wert [W/mK]	$H_{T,WB}$ [W/K]	Detail
1	**Außenecke** Holzbauart (80/0,035) WBK-Detail 1/64	16,0	1	–0,033	–0,53	
2	**Sockelanschluss** Gebäude nicht unterkellert Holzbauart (120/120) WBK-Detail 14/64	36,50	1	–0,026	–0,95	

Tabelle 3.2: Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung (Fortsetzung)

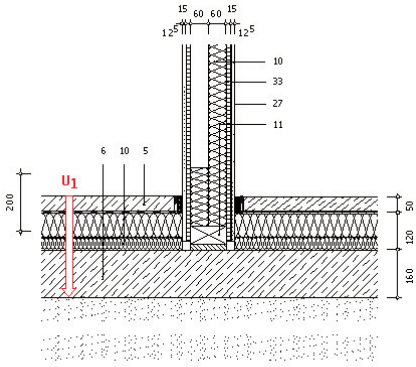
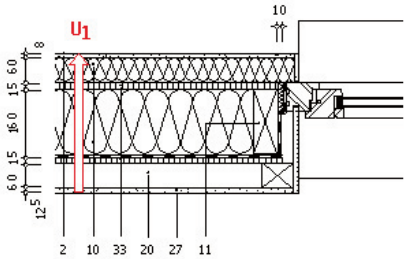
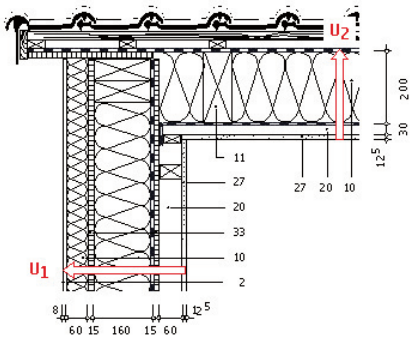
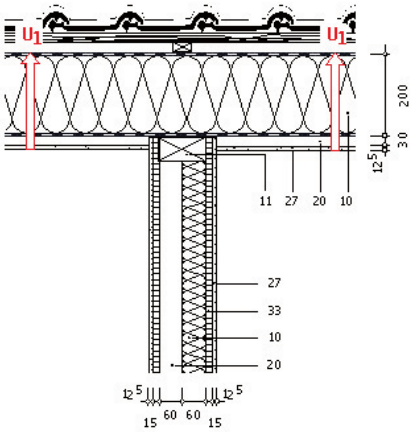
Nr.	Detailbezeichnung Bemerkung	Länge ℓ [m]	F_x [–]	ψ-Wert [W/mK]	$H_{T,WB}$ [W/K]	Detail
3	**Innenwand** **an Bodenplatte** Holzbauart (80/120) WBK-Detail 28/64	16,0	0,6	0,116	1,1	
9	**Fensterlaibung** Holzbauart (80/0,04) WBK-Detail 51/64	36,5	1	–0,004	–0,15	

Tabelle 3.2: Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung (Fortsetzung)

Nr.	Detailbezeichnung Bemerkung	Länge ℓ [m]	F_x [–]	ψ-Wert [W/mK]	$H_{T,WB}$ [W/K]	Detail
10	**Ortgang** Holzbauart (0,040/20,040) WBK-Detail 43/64	22	1	– 0,019	– 0,42	
11	**Innenwand** **an geneigtes Dach** Holzbauart (80/0,040) WBK-Detail 46/64	15,0	1	0,023	3,45	
					$\Sigma H_{T,WB}$ = 1,15 W/K	
entspricht, bezogen auf eine Hüllfläche von		418	m^2		ΔU_{WB} = 0,00 W/m^2K	
					(1,15 / 418 = 0,003 < 0,00)	

4 _ Der Wärmebrückenkatalog mit Holzbaudetails

Der Wärmebrückenkatalog auf CD-ROM mit Holzbaudetails enthält für zahlreiche Konstruktionsdetails aus dem Bereich des Holzbaus umfassende Informationen hinsichtlich ihrer energetischen und hygrischen Wärmebrückenwirkung.

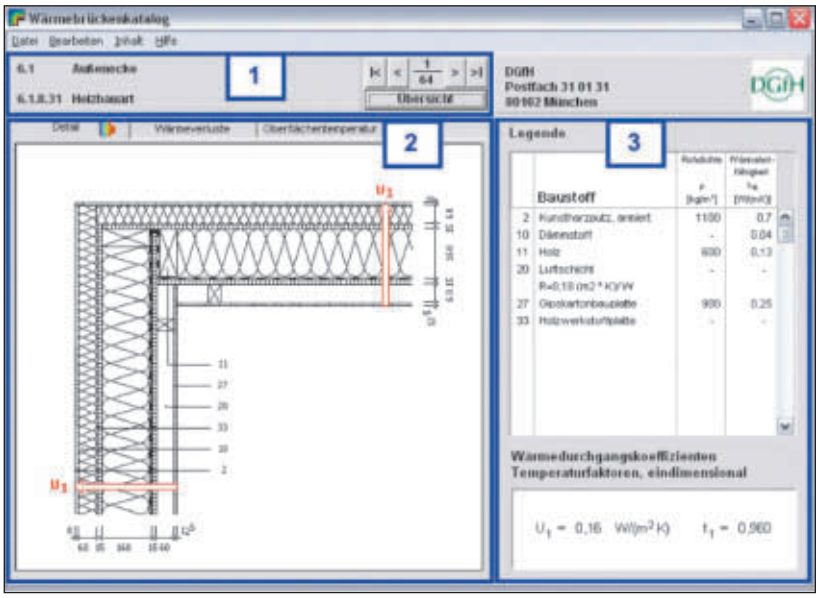
Für jedes Anschlussdetail werden die ψ-Werte für die Bilanzierung der Wärmeverluste und die f-Werte für die Bestimmung der Oberflächentemperaturen ausgewiesen, wobei anschlussspezifisch jeweils geometrische oder stoffliche Parameter variiert wurden.

Der Wärmebrückenkatalog soll grundsätzlich zwei Aufgabenstellungen erfüllen.

a) dem Nutzer relativ schnell einen Überblick über die maßgeblichen Einflussgrößen bieten und

b) die Führung des Einzelnachweises der Wärmebrückenwirkung (ΔU_{WB}) ermöglichen.

Abbildung 4.1: Programm-Oberfläche Wärmebrückenkatalog (WBK)



4.1 _ Die Programm-Oberfläche

Das Programm-Fensters ist grundsätzlich in drei Bereiche aufgeteilt (siehe Abb. 4.1).

Der Bereich 1 stellt den Navigationsbereich dar, über dessen Schaltflächen zwischen einzelnen Anschlussdetails gewechselt werden kann.

Die Bedeutung der Schaltflächen im Einzelnen:

"|<": Gehe zum ersten Datensatz

"<": Gehe zum vorherigen Datensatz

">": Gehe zum nachfolgenden Datensatz

">|": Gehe zum letzten Datensatz

Der Bereich 2 enthält verschiedene grafische Darstellungen der Anschlussdetails mit Kennzeichnung der jeweils maßgeblichen Parameter.

In Bereich 3 werden Detailinformationen in Abhängigkeit von dem in Bereich 2 gewählten Reiter (Detail, Wärmeverluste oder Oberflächentemperatur) ausgewiesen.

4.2 _ Die Menüstruktur

Über die Menüleiste (Abb. 4.2) des Programms können alle grundlegenden Bedienelemente des Wärmebrückenkatalogs ausgeführt bzw. aufgerufen werden.

Über das Menü „Bearbeiten" können Funktionen aufgerufen werden, die beispielsweise bei der Dokumentation von Projekten hilfreich sind. Besonders hilfreich ist hier einerseits der Menüpunkt „Bild kopieren", wodurch die aktuelle grafische Darstellung aus Bereich 2 (Abb. 4.1) in die Zwischenablage kopiert wird und so zur Weiterbearbeitung innerhalb von anderen Programmen bereitsteht und dort eingefügt werden kann. Der gesamte Fensterinhalt wird durch die Funktion „Screenshot" in die Zwischenablage kopiert und steht so in gleicher Weise zur

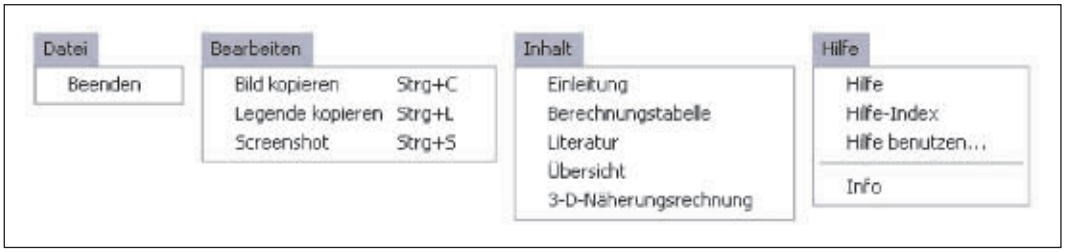


Abbildung 4.2:
Menüleiste WBK

Weiterverarbeitung zur Verfügung. Außerdem wird durch Ausführen dieser Funktion ein neues Windows-Fenster geöffnet, welches den aktuellen Fensterinhalt als Grafik darstellt. Ein Rechtsklick in einen Bereich der Programmoberfläche bietet ebenfalls die „Screenshot"-Funktion an. Mit dieser Funktion werden Vergleiche zwischen Datensätzen erleichtert (Merkzettelfunktion). Dabei gilt: Rechtsklick vergrößert die Darstellung, Ziehen mit der linken Maustaste verschiebt den Bildausschnitt und Doppelklick skaliert die Abbildung auf die aktuelle Fenstergröße.

Das „Screenshot"-Fenster kann wie übliche Windows-Fenster beliebig verschoben und skaliert werden, es verbleibt immer im Vordergrund.

Die Funktionen aus dem Menü „Bearbeiten" sind auch über die im Menü selbst mit aufgeführten Shortcuts ausführbar. So wird beispielsweise über die Tastenkombination „STRG+L" die Legende des aktuellen Anschlussdetails in Textform in die Zwischenablage kopiert.

Über das Menü „Inhalt" und den Menüpunkt „Einleitung" kann eine allgemeine Einführung in das Thema Wärmebrücken aufgerufen werden. Diese Einführung soll einen kurzen Überblick darüber geben, was Wärmebrücken sind und auf welchen Randbedingungen die im Programm gezeigten Ergebnisse basieren. Des Weiteren kann über das Menü „Inhalt" eine Berechnungstabelle für den detaillierten Nachweis des ΔU_{WB}-Wertes, Literaturhinweise zum Thema Wärmebrücken, eine kategorische Übersicht über alle Anschlussdetails und ein Berechnungsfenster für die näherungsweise Berechnung des punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten im Bereich von 3-dimensionalen Ecken aufgerufen werden.

Das „Hilfe"-Menü bietet programmspezifische Hilfestellungen in Form der üblichen Struktur einer Hilfe-Datei.

4.3 _ Das Übersichtsfenster

Durch Drücken der Schaltfläche Übersicht im Navigationsbereich (siehe Abb. 4.1) oder wie bereits erwähnt über den Menüpunkt „Übersicht" im Menü „Inhalt" kann in einem gesonderten Fenster (Abb. 4.3) eine kategorische Vorauswahl für die aktuelle Zusammenstellung der Konstruktionen getroffen werden.

Um die aktuelle Zusammenstellung im Anwendungsfenster beispielsweise auf Außenwandecken zu beschränken ist aus der Oberkategorie (1) „Wandanschluss" und aus der Unterkategorie (2) „Außenecke" auszuwählen. Wenn hinsichtlich der Bauweise (beispielsweise monolithisch, außengedämmt oder kerngedämmt usw.) keine Einschränkung erfolgen soll, so werden durch Drücken der dargestellten Schaltfläche (3) alle Bauweisen in die aktuelle Zusammenstellung eingeschlossen. Analog können über die entsprechenden Schaltflächen im Bereich Oberkategorie und Unterkategorie getroffene Einschränkungen aufgehoben wer-

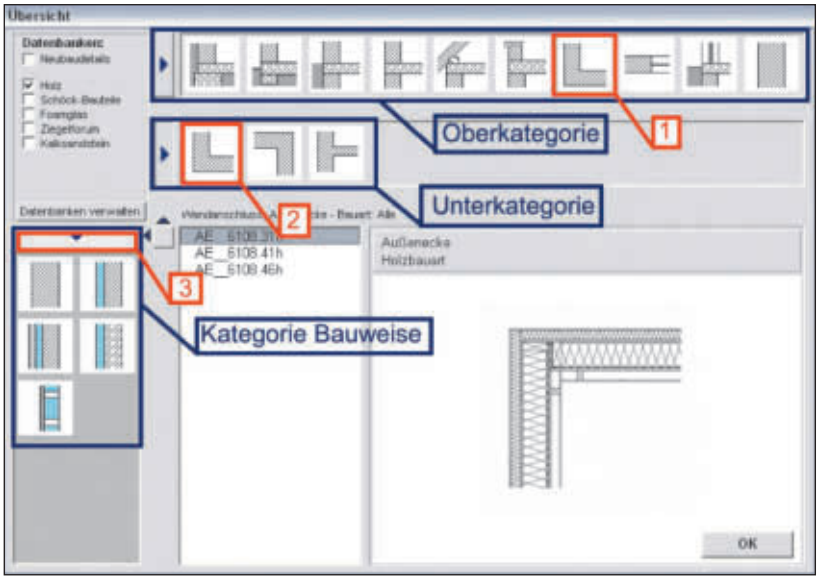
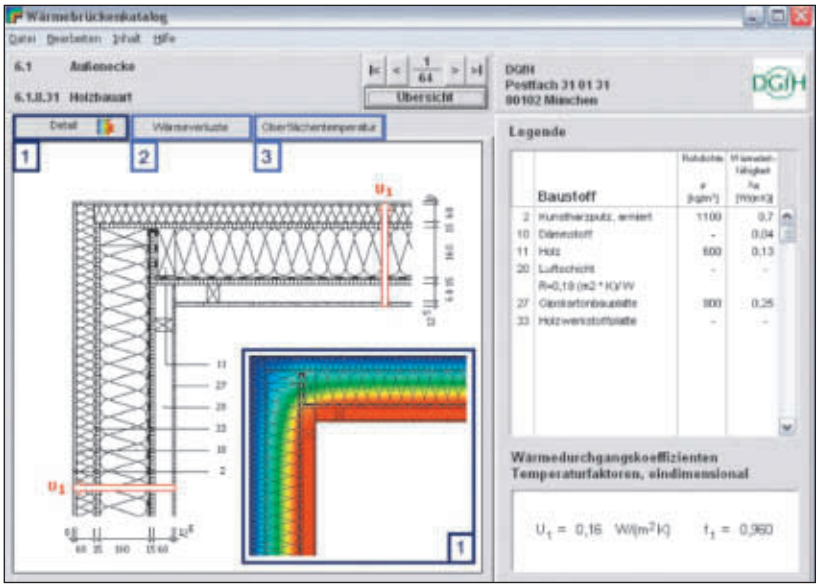


Abbildung 4.3:
Übersichtsfenster WBK

den. Wenn keine Spezifizierung erfolgt, dann werden in die aktuelle Zusammenstellung, wie in Abb. 4.4 gezeigt, alle 64 Anschlussdetails in die aktuelle Zusammenstellung übernommen.

Weiterhin gibt es in diesem Fenster die Möglichkeit, zusätzliche Datenbanken zu installieren, zu deinstallieren und zu verwalten.

Abbildung 4.4:
Bereich „Detail" WBK



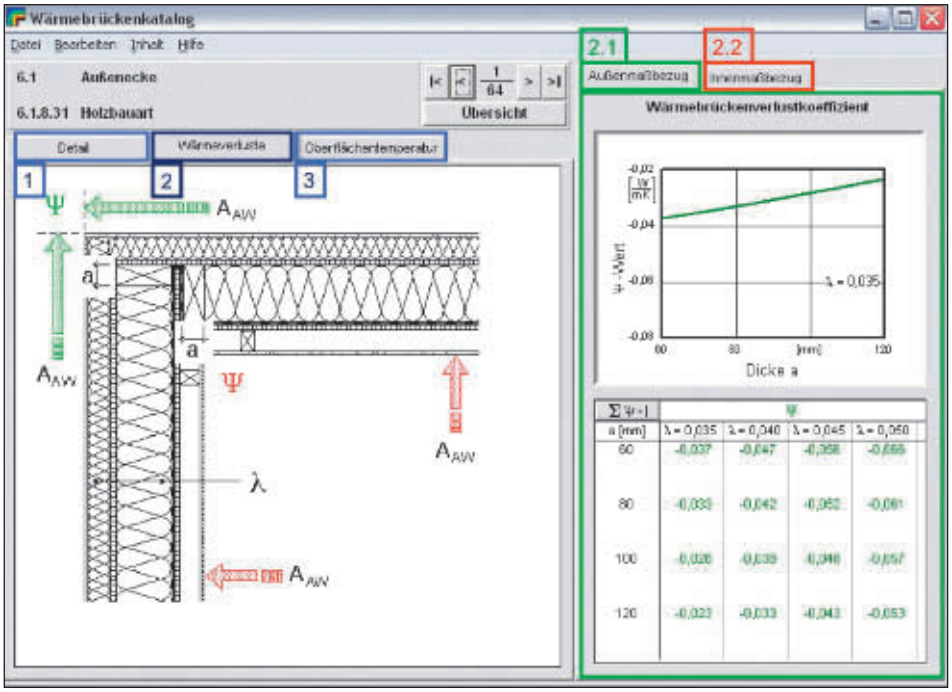
4.4 _ Inhalte des Wärmebrückenkatalogs

4.4.1 _ Der Bereich „Detail"

Jedes Detail wird anhand einer Schnittzeichnung mit Benennung der Konstruktionselemente und Beschreibung der maßgeblichen bauphysikalischen Eigenschaften (Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit) dargestellt. Darüber hinaus geht der Temperaturverlauf innerhalb der Konstruktion aus einer farblichen Isothermengrafik hervor, die durch Drücken der farbigen Schaltfläche innerhalb des Reiters „Detail" anstelle der Detailzeichnung im Fenster erscheint. (verkleinerte Darstellung hier als Bild im Bild). Neben der Legende sind im rechten Fensterteil der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) sowie der Temperaturfaktor (f-Wert) für den eindimensionalen Wärmedurchgang im Regelquerschnitt angegeben.

4.4.2 _ Der Bereich „Wärmeverluste"

Die Darstellung der energetisch relevanten ψ-Werte ist über den Reiter Wärmeverluste aufzurufen, wobei neben der grafischen Darstellung im linken Fensterteil der Innen- oder Außenmaßbezug für die Ausweisung der ψ-Werte im rechten Fensterteil auszuwählen ist. Hier werden in tabellarischer Form unterschiedliche ψ-Werte ausgewiesen, wobei die jeweils variierten Parameter aus Zeichnung und Tabellenbeschriftung hervorgehen. Im dargestellten Beispiel in Abb. 4.5 sind die Ständerbreite a und die Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschicht variiert. Wie für eine Außenecke üblich, wenn die Bilanzierung nach Außenmaßbezug erfolgt, sind die ψ-Werte hier negativ, da die eindimensionale Berechnung der Transmissionswärme über die Außenflächen und ihre U-Werte die Ecke des



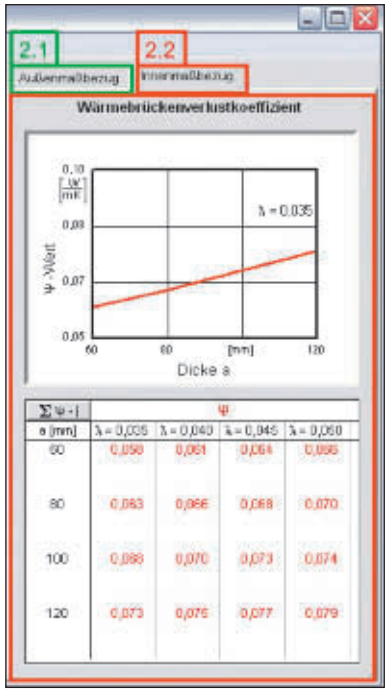


Abbildung 4.5:
Bereich „Wärmeverluste“ WBK

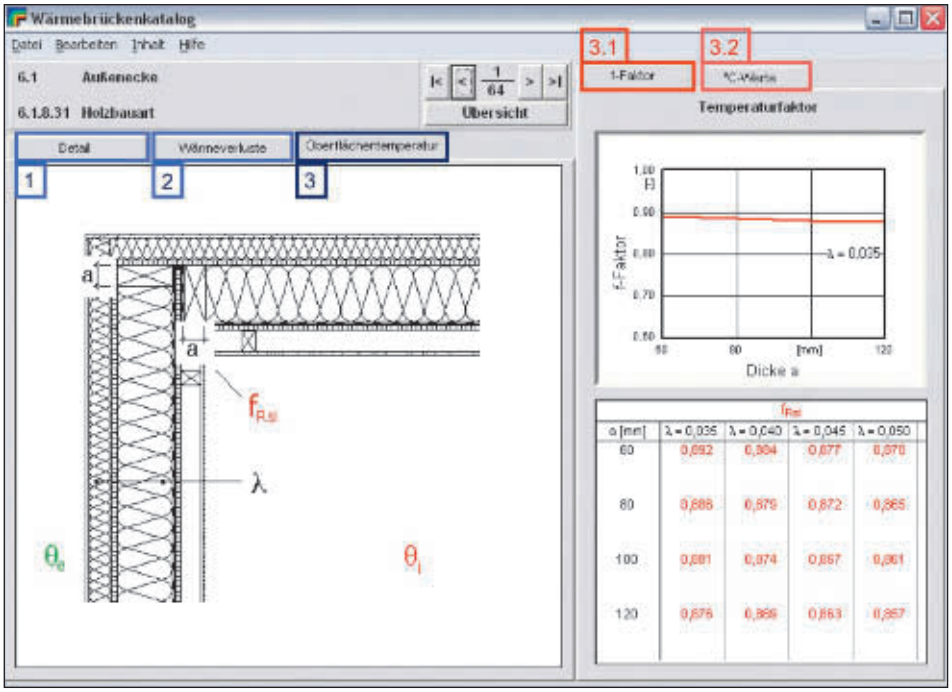
Details gewissermaßen doppelt bilanziert. Der sich infolge der Wärmebrücke einstellende Transmissionswärmestrom in diesem Bereich ist aber effektiv geringer, sodass hier über den negativen ψ-Wert eine Korrektur der eindimensionalen „Doppelt“-Berechnung des Eckbereichs erfolgt.

4.4.3 _ Der Bereich „Oberflächentemperatur“

Die für die Bewertung einer Konstruktion hinsichtlich der Gefahr der Schimmelpilz- bzw. Tauwasserbildung wichtigen Temperatur-Differenzen-Quotienten (f-Werte) werden über den Reiter Oberflächentemperatur (Abb. 4.6) aufgerufen. Wie die ψ-Werte, so sind auch die f-Werte in Abhängigkeit der variierten Parameter in tabellarischer Form zusammengestellt.

Über den Reiter „°C-Werte“ (Abb. 4.6) besteht die Möglichkeit, die maximalen relativen Raumluftfeuchten zu berechnen, nach denen gemäß DIN 4108-2 Tauwasser- bzw. Schimmelpilzfreiheit besteht. Hierzu sind die Eingabe von Außen- und Innentemperatur sowie die Auswahl eines f-Wertes direkt aus der Tabelle nötig. Außen- und Innentemperatur sind mit den Standardrandbedingungen der DIN 4108-2 vorbelegt.

Aus einer Ständerbreite von a = 80 mm und einer Wärmeleitfähigkeit der Dämmschichten von λ = 0,04 W/(mK) ergibt sich im dargestellten Beispiel ein f-Wert von 0,879. Bei einer Außentemperatur von –5 °C und einer Innentemperatur von 20 °C besteht über 66,2 Prozent relativer Raumluftfeuchte Schimmelpilzgefahr und über 82,8 Prozent relativer Raumluftfeuchte die Gefahr von Tauwasserbildung.



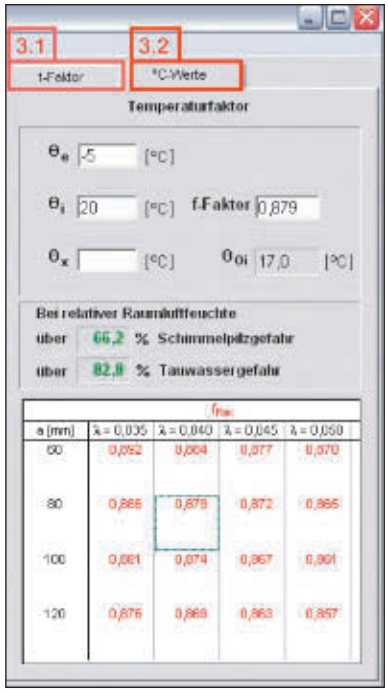


Abbildung 4.6:
Bereich „Oberflächentemperatur" WBK

4.4.4 _ Arbeiten mit dem Wärmebrückenkatalog

4.4.4.1 _ Detaillierter Nachweis des Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB} nach EnEV

Zur Durchführung des detaillierten Einzel-Nachweises von Wärmebrücken nach der Energieeinsparverordnung stellt der IBH-Wärmebrückenkatalog ein einfach zu handhabendes Instrument (Abb. 4.7) zur Ermittlung des ΔU_{WB}-Wertes zur Berücksichtigung von Transmissionswärmeströmen infolge Wärmebrücken bereit.

Das dort dargestellte Berechnungsbeispiel beinhaltet alle linienförmigen Wärmebrücken, die nur auszugsweise dargestellt sind.

Die Kenntnis der Detailausführung aller Bauteilanschlüsse und ihrer Einflusslängen in Bezug auf die linienförmige Wärmebrückenwirkung vorausgesetzt, sind entsprechende Konstruktionen aus der Datenbank des Wärmebrückenkataloges anzuwählen und in der hierfür vorgesehenen Tabelle zur Ermittlung des ΔU_{WB}-Wertes zusammenzustellen. Über die Angabe der Größe der Wärme übertragenden Hüllfläche aus der eindimensionalen Bilanzierung über Einzelflächen und ihre U-Werte wird schließlich der ΔU_{WB}-Korrekturwert berechnet und ausgewiesen.

4.4.4.2 _ Benutzung der Berechnungstabelle

Im Berechnungsfenster werden die durch Doppelklick im Programmfenster übernommenen ψ-Werte mit der Lauflänge ℓ der entsprechenden Wärmebrücken multipliziert und dann aufsummiert.

Durch Drücken der Return-Taste oder wenn die Zelle durch Mausklick verlassen wird, wird eine Neuberechnung der Tabelle ausgelöst, ebenso durch Klick auf das blaue Taschenrechner-Symbol in der Symbolleiste links unten.

Unten rechts wird die Summe als $\Sigma H_{T,WB}$ in W/K angezeigt.

Dabei ist zu beachten, dass nur gleichartige ψ-Werte summiert werden dürfen, also entweder ausschließlich innenmaßbezogene oder ausschließlich außenmaßbezogene Werte (ein Wechsel des Maßbezuges wird programmtechnisch verhindert). Bei der Nachweisführung gemäß EnEV werden außenmaßbezogene ψ-Werte verlangt.

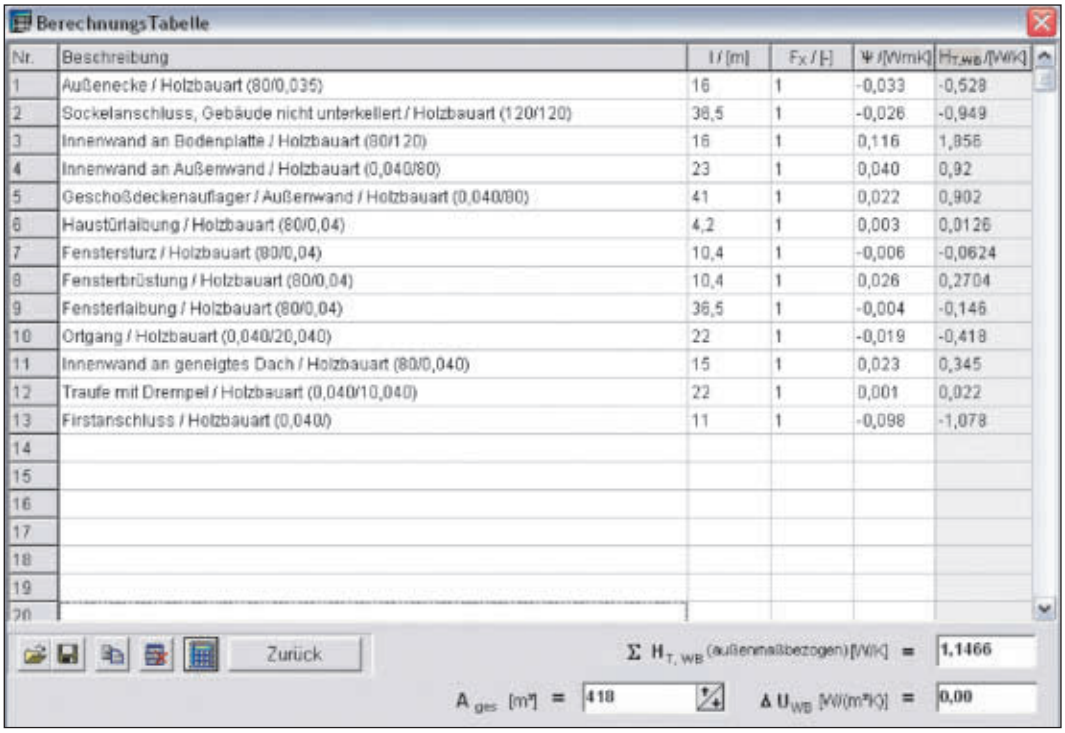
Wenn sich bereits ψ-Werte einer Art in der Tabelle befinden, warnt das Programm beim Versuch andersartige Werte zu übernehmen und bietet an, die bereits in der Tabelle befindlichen Werte zu löschen und den betreffenden Wert stattdessen einzutragen oder die Eintragung abzubrechen.

Die Symbolleiste enthält Schaltflächen die (von links nach rechts)

- eine vorher gespeicherte Tabelle öffnen
- die angezeigte Tabelle als Tab-formatierte Textdatei speichern
- die Summe in die Zwischenablage kopieren
- die gewählte Tabellenzeile löschen
- eine Neuberechnung durchführen
- zur Ansicht Wärmeverluste zurückkehren

Die Tab-formatierten Textdateien lassen sich mit jeder beliebigen Tabellenkalkulation, wie beispielsweise in Tabelle 3.2 dargestellt, weiterverarbeiten.

Wenn beim Beenden des Wärmebrückenkatalogs auf CD-ROM ungespeicherte Tabelleninhalte vorliegen, wird vor dem Schließen eine entsprechende Warnung ausgegeben.



BerechnungsTabelle

Nr.	Beschreibung	l / [m]	Fx / [-]	Ψ /[W/mK]	$H_{T,WB}$ /[W/K]
1	Außenecke / Holzbauart (80/0,035)	16	1	-0,033	-0,528
2	Sockelanschluss, Gebäude nicht unterkellert / Holzbauart (120/120)	38,5	1	-0,026	-0,949
3	Innenwand an Bodenplatte / Holzbauart (80/120)	16	1	0,116	1,856
4	Innenwand an Außenwand / Holzbauart (0,040/80)	23	1	0,040	0,92
5	Geschoßdeckenauflager / Außenwand / Holzbauart (0,040/80)	41	1	0,022	0,902
6	Haustürlaibung / Holzbauart (80/0,04)	4,2	1	0,003	0,0126
7	Fenstersturz / Holzbauart (80/0,04)	10,4	1	-0,006	-0,0624
8	Fensterbrüstung / Holzbauart (80/0,04)	10,4	1	0,026	0,2704
9	Fensterlaibung / Holzbauart (80/0,04)	36,5	1	-0,004	-0,146
10	Ortgang / Holzbauart (0,040/20,040)	22	1	-0,019	-0,418
11	Innenwand an geneigtes Dach / Holzbauart (80/0,040)	15	1	0,023	0,345
12	Traufe mit Drempel / Holzbauart (0,040/10,040)	22	1	0,001	0,022
13	Firstanschluss / Holzbauart (0,040)	11	1	-0,098	-1,078
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Zurück

$\Sigma H_{T,WB}$ (außenmaßbezogen) [W/K] = 1,1466

A_{ges} [m²] = 418

ΔU_{WB} [W/(m²K)] = 0,00

Abbildung 4.7:
WBK-Berechnungstabelle für Einzelnachweis

5 _ Wärmebrücken im Holzbau

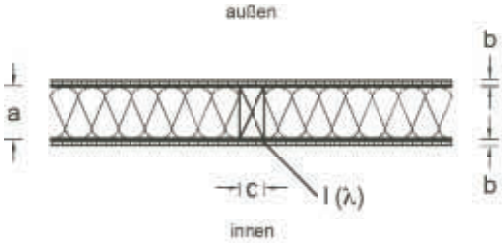
5.1 _ Einflüsse wesentlicher konstruktiver Bestandteile eines Regelquerschnitts auf die Wärmebrückeneffekte

5.1.1 _ Erläuterungen

Das Beiblatt 2 der DIN 4108 enthält für Bauteilanschlüsse überwiegend Ausführungsempfehlungen für Massivbauteile. Für übliche Konstruktionen der Holz-Leichtbauweise bleibt zu hoffen, dass im Zuge der Fortschreibung dieses Beiblatts in Zukunft dieser Bauweise größere Beachtung zukommt und entsprechende Anschlussdetails aufgenommen werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bleibt, will man den reduzierten pauschalen Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/m²K in Ansatz bringen, nur die Möglichkeit des Gleichwertigkeitsnachweises, wie in Abschnitt 1.2.2.3 beschrieben. Um diesen Nachweis zu führen, fehlt jedoch oftmals das Wissen darüber, welche physikalischen und geometrischen Größen die wesentlichen hinsichtlich der Wärmebrückenwirkung darstellen. Vor diesem Hintergrund wurden zahlreiche Wärmebrückenberechnungen für einen Regelquerschnitt der Holz-Leichtbauweise durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung sind in diesem Kapitel dokumentiert und sollen helfen, die Wärmebrückenwirkung für Bauteile und Bauteilanschlüsse im Holzbau richtig einschätzen zu können. Eine ingenieurmäßige Anwendung dieses Wissens kann beispielsweise den Aufwand bei der Führung eines detaillierten Wärmebrückennachweises, wie in Abschnitt 5.1.4 empfohlen, erheblich reduzieren.

Die folgenden Darstellungen sollen den Einfluss der wesentlichen konstruktiven Bestandteile eines Regelquerschnitts der Holz-Leichtbauweise auf die energetischen und hygrischen Wärmebrückeneffekte beschreiben. Es wird erläutert, welche die entscheidenden Größen hinsichtlich der Wärmebrückenwirkung darstellen und welche stofflichen oder geometrischen Parameter eher von untergeordneter Bedeutung sind. Die Grundlage für die Darstellungen in diesem Kapitel bildet eine umfangreiche Parameterstudie für einen Regelquerschnitt der Holz-Leichtbauweise. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde in Abhängigkeit der konstruktiven Bestandteile – variiert jeweils in der Bandbreite ihrer üblichen Erscheinungsform – jeweils der energetische und hygrische Wärmebrückeneinfluss berechnet.

Abbildung 5.1:
Ausgangskonstruktion



a Dicke der Kerndämmung
b Dicke der Beplankung
c Breite des Stegs bzw. Stiels
ℓ (λ) Wärmeleitfähigkeit (nur für schmale Stege variiert)

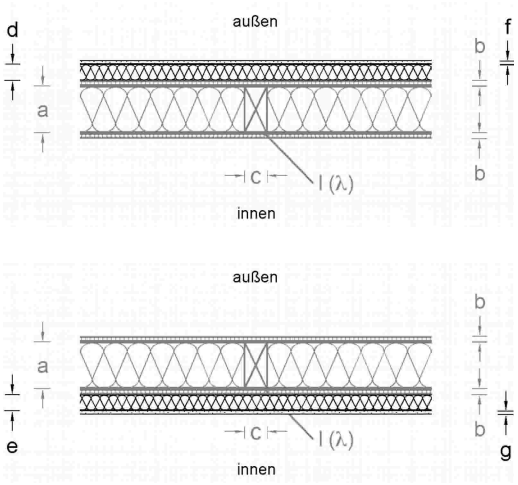


Abbildung 5.2:
Ausgangskonstruktion mit zusätzlicher Außen- (oben) bzw. Innendämmung (unten)

Zunächst wird anhand einer Ausgangskonstruktion, wie sie in Abb. 5.1 dargestellt ist, der Einfluss einzelner Parameter wie Steg- bzw. Stielbreite, Wärmeleitfähigkeit des Stegs, Stärke der Dämmstoffschicht im Gefachbereich und unterschiedlicher Beplankungseigenschaften untersucht.

Aufbauend auf dieser Untersuchung der Ausgangskonstruktion wird anschließend der Einfluss einer zusätzlich aufgebrachten Außen- bzw. Innendämmung (Abb. 5.2) in verschiedenen Dämmstoffstärken auf die zuvor ohne zusätzliche Dämmung ermittelten Wärmebrückenkennwerte ermittelt.

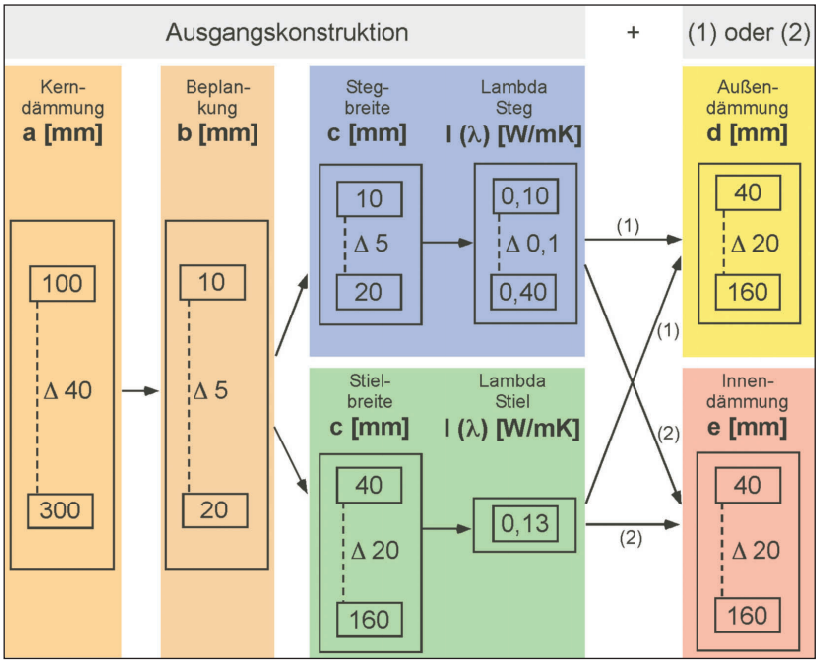
5.1.2 _ Durchführung der Parameterstudie

Die für die Untersuchung nötigen Wärmebrückenberechnungen wurden mit einem eigens für die Durchführung von umfangreichen Parameterstudien entwickelten Wärmebrückenprogramm durchgeführt. Die Variation der einzelnen Parameter ergaben 5.130 einzeln zu berechnende Wärmebrücken. Mit einem konventionellen Wärmebrückenprogramm wäre diese Untersuchung nicht mit vertretbarem Zeitaufwand möglich gewesen.

Abb. 5.3 zeigt das Schema der Parameterstudie mit allen veränderlichen Parametern. Sowohl Bandbreite als auch Schrittweite der untersuchten Größen können dieser Darstellung entnommen werden.

Die Parameter der in Abb. 5.1 dargestellten Ausgangskonstruktion wurden in der im Folgenden erläuterten Weise rechnerisch untersucht.

Abbildung 5.3:
Schema der Parameterstudie



Die Dicke der Kerndämmung wurde von 100 bis 300 mm in Schrittweiten von 40 mm und die Stärke der Beplankung von 10 bis 20 mm in Schrittweiten von 5 mm variiert. Für die Breite c des Stegs bzw. Stiels wurde eine differenzierte Betrachtung angestellt. Einerseits wurden wärmetechnische optimierte Bauteilquerschnitte mit schmalen Stegen untersucht, wobei Stegbreiten von 10 bis 40 mm mit einer Schrittweite von 10 mm modelliert wurden. Um die Bandbreite der möglichen Erscheinungsformen solcher optimierter Bauteilquerschnitte abzubilden, wurde für diese Stegbreiten zusätzlich die Wärmeleitfähigkeit l (λ) der Stege von 0,10 bis 0,4 W/mK in Schrittweiten von 0,1 W/mK variiert. Zur Abgrenzung von den wärmetechnisch optimierten Querschnitten zu den konventionellen Konstruktionen wird der Parameter c ab einer Stärke von 40 mm als Stielbreite verstanden und in Schrittweiten von 20 mm bis zu einer Breite von 160 mm untersucht. Hierbei wird die Wärmeleitfähigkeit einheitlich mit 0,13 W/mK angesetzt.

Aufbauend auf den Untersuchungen der Ausgangskonstruktion wurde als nächstes der Parameter **d Dicke der zusätzlichen Außendämmung** eingeführt (1), der für jeden der untersuchten Fälle der Ausgangskonstruktion in der Bandbreite der üblichen Erscheinungsformen in der Praxis variiert wurde. Als nach außen abschließende Schicht und feste Größe wurde ein Kunstharzputz modelliert **(Parameter f)**. Die Auswirkung dieser zusätzlichen Außendämmung auf die wärmebrückentechnischen Kennwerte wurde für Dämmstoffstärken von 40 mm bis 160 mm in einer Abstufung von 20 mm untersucht. Die nach außen abschließende Schicht Kunstharzputz wurde hierbei einheitlich mit 15 mm angesetzt.

Analog zu der Berechnung der Auswirkungen von zusätzlicher Außendämmung wird verfahren bei der Betrachtung einer zusätzlich auf die Ausgangskonstruktion aufgebrachten Innendämmung. Für die Dicke dieser Innendämmung wird der Parameter **e Dicke der zusätzlichen Innendämmung** eingeführt (2), wobei die nach innen abschließende Schicht eine 12,5 mm Gipsplatte darstellt **(Parameter g)**.

Sowohl die nach außen abschließende Kunstharzputzschicht als auch die nach innen abschließende Gipsplatte werden als fixe Randbedingungen angesetzt und innerhalb der Parameterstudie nicht variiert.

Die den durchgeführten Berechnungen zugrunde liegenden stofflichen Kenngrößen sind in Tabelle 5.1 zusammengestellt. Neben den Wärmeleitfähigkeiten sind in dieser Tabelle ebenfalls die jeweils untersuchten Schichtdicken aufgeführt. Der sich aus Schichtdicke und Wärmeleitfähigkeit eines jeden Materials ergebende Wärmedurchlasswiderstand R, der ebenfalls in der Tabelle aufgeführt ist, lässt bereits erkennen, welche Bedeutung den einzelnen Querschnittselementen hinsichtlich des wärmetechnischen Verhaltens eines solchen Regelquerschnitts zuzuschreiben ist. Bezüglich des Stegs bzw. Stiels sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die in folgender Tabelle angegebenen Schichtdicken nicht der Variation des Parameters c, also der Breite des Stegs bzw. Stiels entsprechen, sondern die Dicke senkrecht zur Bauteiloberfläche.

Ziel der Untersuchung war es, den Einfluss der Wärmebrückenwirkung unter bestimmten Randbedingungen quantifizieren zu können und insbesondere beurteilen zu können, unter welchen Vorraussetzungen von einem zu vernachlässigenden Wärmebrückeneinfluss einzelner Parameter auszugehen ist.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung erläutert.

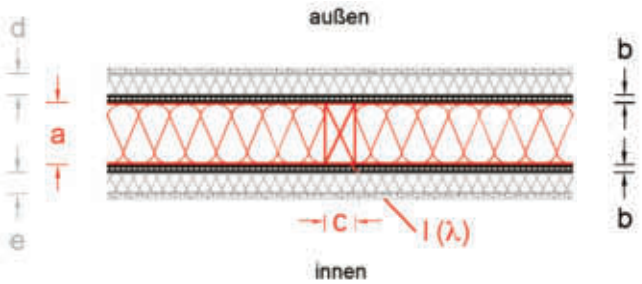
Tabelle 5.1: Materialeigenschaften der untersuchten Parameter

Parameter	Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)]	Wärmedurchlasswiderstand R [(m²*K)/W]
a	Kerndämmung	0,10 – 0,30	0,04	2,50 – 7,50
b	Beplankung Kern	0,01 – 0,02	0,15	0,07 – 0,13
c	Steg (Breite 10 bis 20 mm)	0,10 – 0,30*	0,10 – 0,40	0,25 – 3,00
	Stiel (Breite 40 bis 160 mm)	0,10 – 0,30*	0,13	0,77 – 2,31
d	Außendämmung	0,04 – 0,16	0,04	1,00 – 4,00
e	Innendämmung	0,04 – 0,16	0,04	1,00 – 4,00
f	Kunstharzputz (außen)	0,01	0,70	0,01
g	Gipsplatte (innen)	0,01	0,25	0,04

* entspricht nicht der Variation des Parameters c, beschreibt Schichtdicke senkrecht zur Bauteiloberfläche

5.1.3 _ Ergebnisse

Die in diesem Abschnitt in Form von Diagrammen dokumentierten Ergebnisse der oben beschriebenen Parameterstudie liefern einerseits die energetischen (jeweils auf der linken Seite) und andererseits die hygrischen (jeweils auf der rechten Seite) Wärmebrückenkennwerte in Abhängigkeit einzeln untersuchter Parameter. Den Diagrammen jeweils vorangestellte Querschnittsskizzen sollen hierbei das Lesen der Diagramme erleichtern. Die rot dargestellten Querschnittselemente stellen für die jeweils folgende(n) Darstellung(en) variable Größen dar, sodass deren Einfluss auf die wärmebrückentechnischen Kennwerte direkt aus den Diagrammen ablesbar ist. Schwarz dargestellte Elemente stellen demgegenüber jeweils für Ergebnisse des folgenden Diagramms feste Randbedingungen dar. Elemente, die grau dargestellt sind,

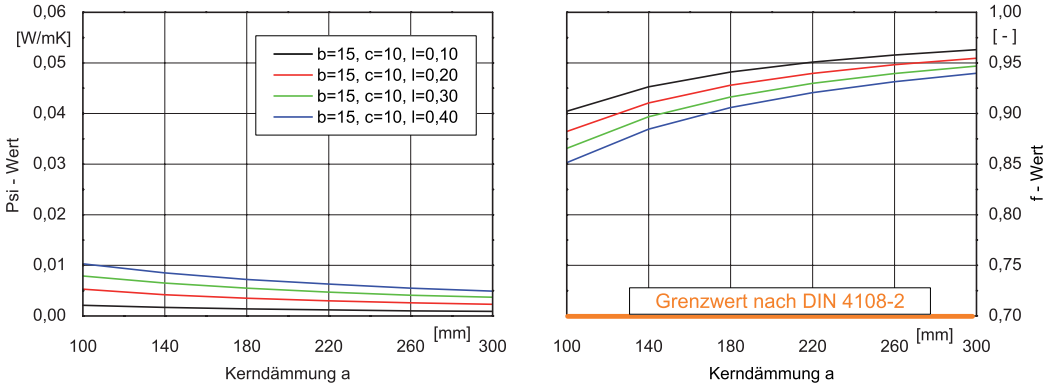


untersuchte Parameter:
Stegbreite c
Wärmeleitfähigkeit Steg ℓ (λ)
dargestellt in Abhängigkeit der Dicke der Kerndämmung a

feste Parameter:
Dicke der Beplankung b = 15 mm

Abbildung 5.4:
Skizze Einfluss Steg

Abbildung 5.5:
Untersuchung Steg,
Breite 10 mm

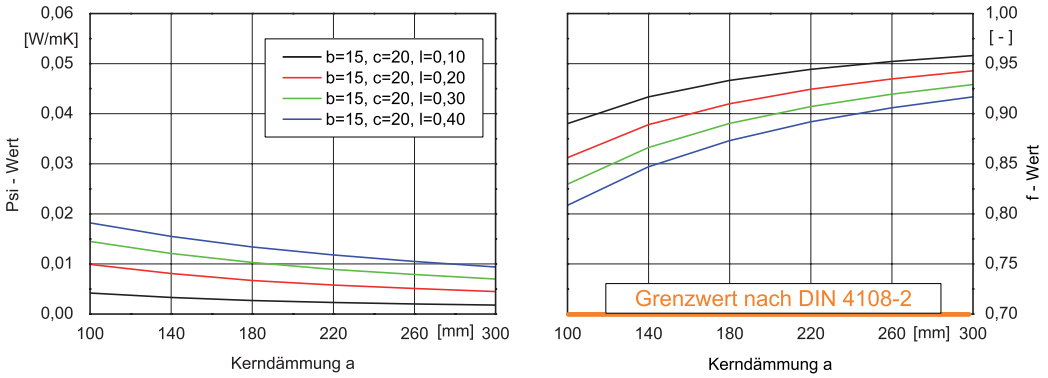


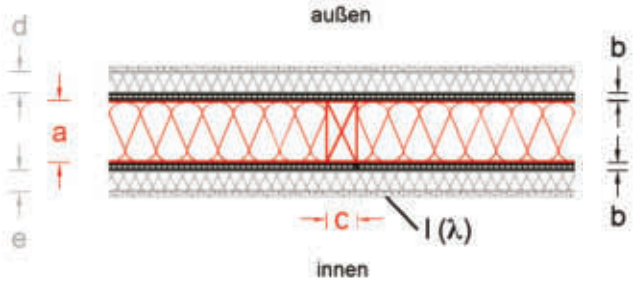
wurden in der aktuellen Untersuchung nicht modelliert und sind insofern für die dann folgenden Darstellungen als nicht vorhanden anzunehmen.

Der Einfluss von schmalen Stegen zwischen den Beplankungen wärmetechnisch optimierter Holzbau-Querschnitte geht aus den Darstellungen in Abb. 5.5 (Stegbreite 10 mm) und Abb. 5.6 (Stegbreite 20 mm) hervor. Für diese schmalen Stege wurde die Bandbreite der möglichen konstruktiven und materiellen Erscheinungsformen durch veränderliche Stegbreiten und zusätzlich über die Variation der Wärmeleitfähigkeiten des Stegmaterials abgebildet.

Erwartungsgemäß fallen die energetischen Verluste für einen Steg von 10 mm Breite sehr niedrig aus. Selbst bei der höchsten Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,4 W/mK und der geringsten untersuchten Kerndämmung von 100 mm ergibt sich lediglich ein ψ-Wert von ca. 0,01 W/mK. Eine Verdreifachung der Kerndämmung führt ungefähr zu einer Halbierung des energetischen Verlusts. Wenn die Wärmeleitfähigkeit des Stegs mit λ = 0,1 W/mK angesetzt wird, ist der energetische Verlust bereits bei einer Kerndämmung von 100 mm annähernd gleich Null.

Abbildung 5.6:
Ergebnisse Steg,
Breite 20 mm





untersuchte Parameter:

Stielbreite c

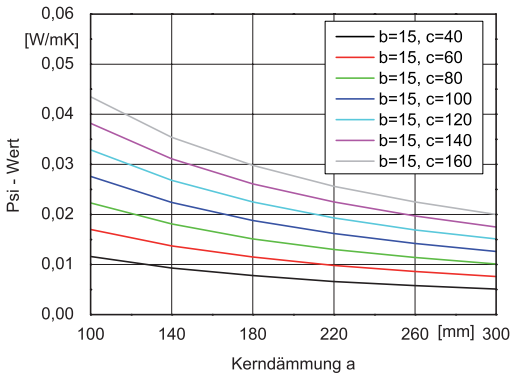
dargestellt in Abhängigkeit der Dicke der Kerndämmung a

feste Parameter:

Dicke der Beplankung b = 15 mm

Wärmeleitfähigkeit Stiel ℓ (λ) = 0,13 W/mK

Abbildung 5.7:
Skizze Einfluss Stiel



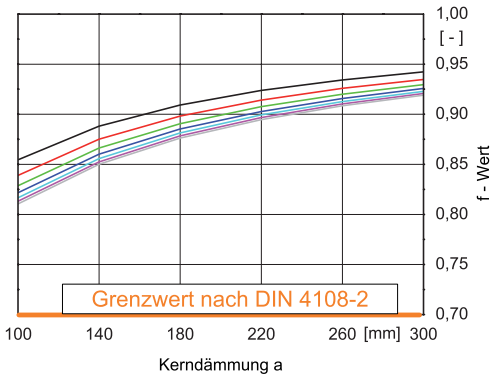


Abbildung 5.8:
Ergebnisse Stiel

Hygrisch können für die untersuchten Querschnitte grundsätzlich unkritische Werte festgehalten werden. Der ermittelte f-Wert von 0,85 für den Steg mit der höchsten untersuchten Wärmeleitfähigkeit liegt hinsichtlich des normativ einzuhaltenden Wertes von 0,7 deutlich im sicheren Bereich hinsichtlich der zu erwartenden Oberflächentemperaturen.

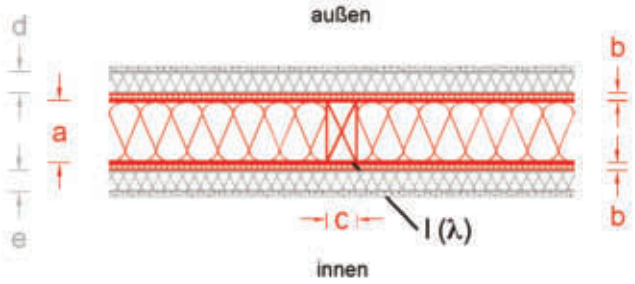
In Abb. 5.6 sind die Ergebnisse der Untersuchung des 20 mm breiten Stegs zusammengestellt.

Im direkten Vergleich zu den Berechnungen für den 10 mm breiten Steg ergeben sich bei der Verdopplung der Stegbreite und ansonsten gleichen Randbedingungen in etwa die doppelten energetischen Verluste. Hinsichtlich der Oberflächentemperaturen tritt eine geringfügige Verschlechterung der Werte im ungünstigsten Fall unterhalb von fünf Prozent ein. Nach wie vor bewegen sich die zu erwartenden Oberflächentemperaturen im deutlich unkritischen Bereich.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchung für wärmetechnisch nicht optimierte Querschnitte der konventionellen Holzbauweise dargestellt. Abb. 5.7 zeigt für diese Untersuchung die Prinzipskizze. Für die untersuchten Stielbreiten wurde hier einheitlich mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,13 W/mK gerechnet.

Wie für die dünnen Stege erfolgt die Darstellung der energetischen und hygrischen Kennwerte in Abb. 5.8 auch für die breiteren Stege in Abhängigkeit der Dicke der Kerndämmung. Untersucht wurden Stielbreiten von 40 mm bis 160 mm.

Abbildung 5.9:
Skizze Einfluss Beplankung



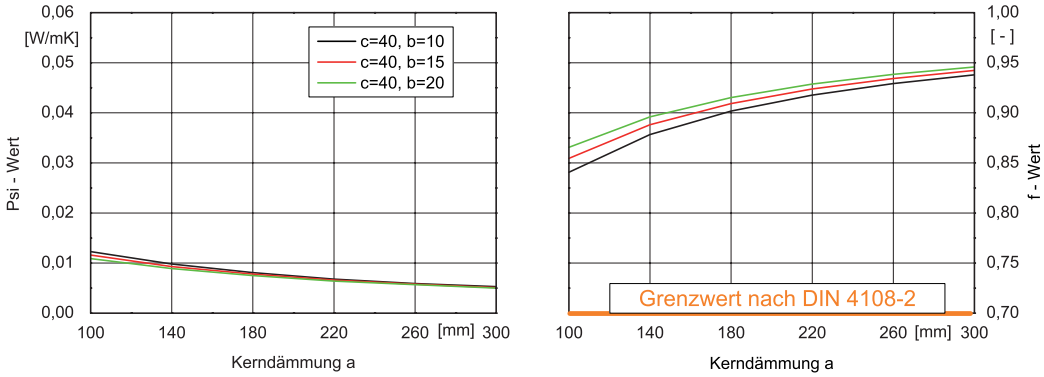
untersuchte Parameter:

Dicke der Beplankung	b
Stegbreite	c
dargestellt in Abhängigkeit der Dicke der Kerndämmung	a

feste Parameter:

Wärmeleitfähigkeit Stiel	ℓ (λ) = 0,13 W/mK

Abbildung 5.10:
Einfluss Beplankung bei 40 mm Stielbreite



Auch bei dieser Untersuchung kann ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Stielbreite und energetischen Verlusten festgestellt werden. So ergibt sich bei einer Stielbreite von 40 mm und einer Kerndämmung von 100 mm ein ψ-Wert von ca. 0,011 W/mK. Eine Vervierfachung der Stielbreite führt zu einem ψ-Wert von ungefähr 0,044 W/mK. Hinsichtlich der Oberflächentemperaturen kann für den hier ungünstigsten Fall der größten Stielbreite und der geringsten Kerndämmung ein absolut unkritischer f-Wert von 0,82 festgehalten werden.

Für die folgende Untersuchung soll das Hauptaugenmerk auf den Einfluss der Beplankung gerichtet sein. Abb. 5.9 zeigt wie gewohnt zunächst die zugehörige Prinzipskizze.

Der Einfluss der Beplankung wird für den schmalsten Stiel (Abb. 5.10) und für den breitesten Stiel (Abb. 5.11) jeweils für Beplankungsstärken von 10, 15 und 20 mm dargestellt.

Wie aus Abb. 5.10 hervorgeht, ist bei einer Stielbreite von 40 mm ein Einfluss der Beplankung auf den ψ-Wert praktisch nicht erkennbar. Lediglich für Stärken der Kerndämmung von 100 und 140 mm sind minimal höhere ψ-Werte mit abnehmender Beplankungsstärke festzustellen. Ab 180 mm verlaufen die Linien nahezu deckungsgleich. Im Hinblick auf die Oberflächentemperaturen können, resultierend aus einem höheren Wärmedurchlasswiderstand, für größere Schichtdicken der Beplankung auch jeweils geringfügig höhere f-Werte erzielt werden.

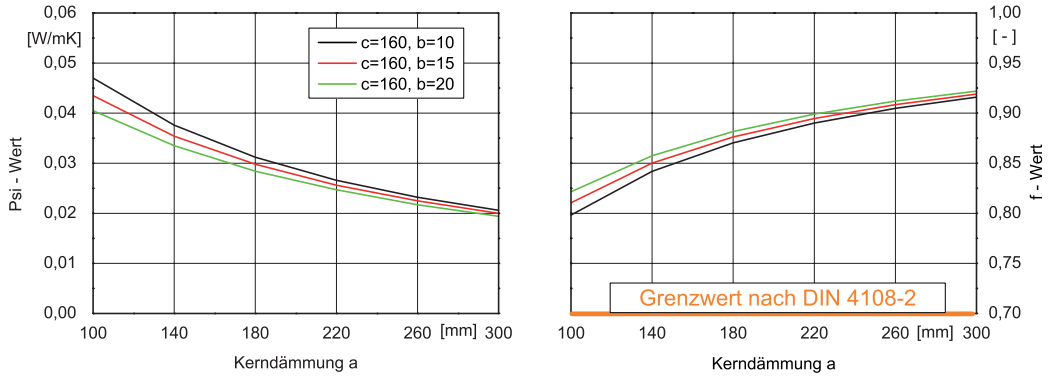


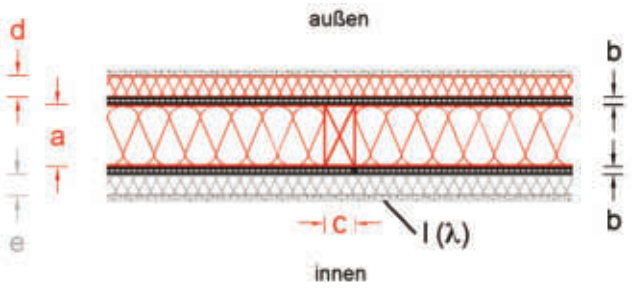
Abbildung 5.11:
Einfluss Beplankung bei 160 mm Stielbreite

Die Berechnungsergebnisse für eine Stielbreite von 160 mm sind der folgenden Abb. 5.11 zu entnehmen.

Beim Vergleich von Abb. 5.10 und Abb. 5.11 wird deutlich, dass die Stielbreite im Vergleich zu der Beplankungsstärke einen deutlich größeren Einfluss auf die sich einstellenden ψ-Werte hat als die Dicke der Beplankung. Mit zunehmender Dicke der Kerndämmung wird der Einfluss unterschiedlicher Beplankungsstärken immer geringer. Dies gilt sowohl für die ψ-Werte als auch für die sich einstellenden f-Werte.

Mit der größten Stielbreite und der geringsten Beplankungsstärke innerhalb der Untersuchung ist in Abb. 5.11 der hinsichtlich der energetischen und hygrischen Wärmebrückenwirkung schlechteste Fall abgebildet. Somit kann festgehalten werden, dass sich für Regelquerschnitte, deren konstruktive Ausbildung sich über innerhalb der hier präsentierten Studie aufgeführte Parameter beschreiben lässt, ψ-Werte unterhalb von 0,05 W/mK ergeben. Ebenso kann für die f-Werte eine sichere Einhaltung des normativen Grenzwertes von $f \geq 0{,}7$ bestätigt werden. Hier liegt der schlechteste berechnete Wert innerhalb der Untersuchung bei $f \approx 0{,}8$.

Nachdem für den betrachteten Regelquerschnitt die Einflüsse der konstruktiven Bestandteile auf die Wärmebrückenwirkung quantifiziert wurden, bleibt zu klären, inwieweit sich eine zusätzliche und durchgehende Dämmebene auf der Außen- bzw. Innenseite der Konstruktion auswirkt. Hierzu in Abb. 5.12 zunächst die Prinzipskizze für den Fall Außendämmung.

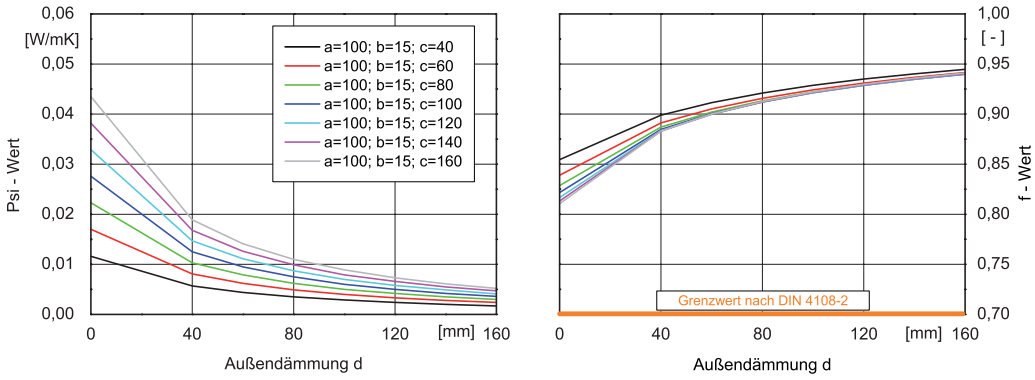


untersuchte Parameter:
Dicke der Kerndämmung a
Stegbreite c
dargestellt in Abhängigkeit der Dicke der Außendämmung d

feste Parameter:
Dicke der Beplankung b = 15 mm
Wärmeleitfähigkeit Stiel ℓ (λ) = 0,13 W/mK

Abbildung 5.12:
Skizze zusätzliche Außendämmung

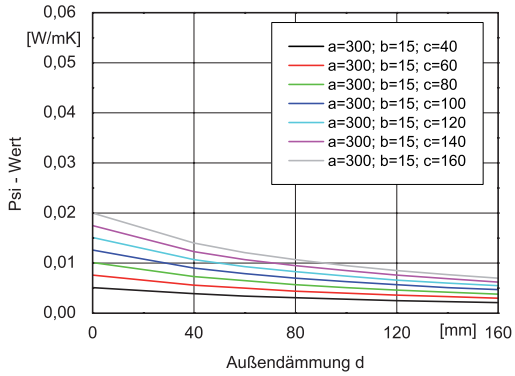
Abbildung 5.13:
Einfluss zusätzlicher Außendämmung bei 100 mm Kerndämmung



Für die folgenden Ergebnisdarstellungen ist zu beachten, dass auf der horizontalen Achse nicht mehr der Parameter a für die Dicke der Kerndämmung abgetragen ist, sondern die Dicke der zusätzlich aufgebrachten Außen- (d) bzw. Innendämmung (e). Dargestellte werden jeweils die Einflüsse bei 100 mm und 300 mm Kerndämmung. Jeweils am linken Rand der x-Achse befindet sich zum Vergleich der entsprechende Ausgangsfall ohne zusätzliche Dämmschicht.

Während sich in Abb. 5.13 für den Fall ohne zusätzliche Dämmschicht in Abhängigkeit der Stielbreite ψ-Werte von 0,011 bis 0,044 W/mK ergeben, reduziert sich die Bandbreite bei nur 40 mm Außendämmung bereits absolut auf Werte von 0,005 (bei Stielbreite von 40 mm) bis 0,019 W/mK (bei Stielbreite von 160 mm). Die gleiche Situation liefert hinsichtlich der Oberflächentemperaturen eine Verbesserung um ca. 5–10 Prozent der ohnehin unkritischen f-Werte. Die Abhängigkeit der Wärmebrückenkennwerte von größeren zusätzlichen Dämmschichten geht aus Abb. 5.13 anschaulich hervor.

Abb. 5.14 stellt die Abhängigkeit der Wärmebrückenkennwerte von einer zusätzlichen Außendämmung bei einer Kerndämmung von 300 mm dar. Der am linken Rand ohne zusätzliche Dämmschicht dargestellte Fall liefert ungefähr die gleichen ψ-Werte wie der in Abb. 5.13 dargestellte Fall für 100 mm Kerndämmung und 40 mm Außendämmung. Bei diesem Vergleich ist das Verhältnis von U-Wert des Regelquerschnitts zum berechneten ψ-Wert entscheidend. Der Regelquerschnitt mit 300 mm Kerndämmung ohne zusätzliche Dämmschicht weist einen U-Wert von 0,13 W/m²K auf und der Regelquerschnitt mit 100 mm Kerndämmung und 40 mm zusätzlicher Außendämmung einen U-Wert von 0,26 W/m²K. Insofern ist der Anteil am Transmissionswärmeverlust infolge der materialbedingten Wärmebrücke im Bereich des Stiels bei dem betrachteten Fall mit 300 mm Kerndämmung doppelt so groß wie bei 100 mm Kerndämmung mit 40 mm Außendämmung.



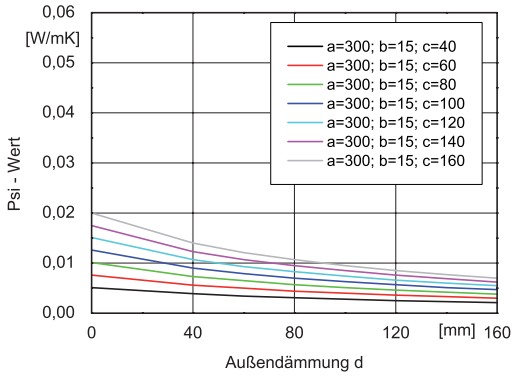


Abbildung 5.14: Einfluss zusätzlicher Außendämmung bei 300 mm Kerndämmung

Da sich die Auswirkungen auf die energetischen Wärmebrückenkennwerte infolge einer zusätzlichen Innendämmung nur unwesentlich von denen infolge einer zusätzlichen Außendämmung unterscheiden, wird an dieser Stelle auf die grafische Darstellung der entsprechenden Berechnungsergebnisse verzichtet. Resultierend aus der durchgehenden Dämmschicht auf der Innenseite mit sehr hohem Wärmedurchlasswiderstand ergeben sich im Vergleich zum Fall Außendämmung für die Innendämmvariante um ca. 0,05 höhere f-Werte. Hinsichtlich der Temperaturdifferenz zwischen Raumlufttemperatur und Oberflächentemperaturen wird demzufolge im Vergleich zur Anordnung einer zusätzlichen Außendämmung das ohnehin hohe Niveau der thermischen Behaglichkeit im Holzbau positiv beeinflusst.

5.1.4 _ Zusammenfassung

Für die Beurteilung von Konstruktionsdetails des Holzbaus, die man nicht in Veröffentlichungen findet, kann man aus den vorausgegangenen Untersuchungen folgendes ableiten:

- die Dicke und die Wärmeleitfähigkeit von Beplankungsmaterialien haben nur einen relativ geringen Einfluss auf den ψ-Wert,
- der Holzanteil ist die bestimmende Größe, er geht nahezu linear in den ψ-Wert ein.

Für die Verwendung von „Ersatzwerten" im Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen.

- Form und Bauteildicken der Vergleichs-Anschlussdetails sollten relativ ähnlich sein.
- den so gefundenen „Ersatzwert", falls positiv, mit dem Sicherheitsfaktor 2 multiplizieren, falls negativ, nicht bilanzieren,
- dann im Einzelnachweis den Ansatz dokumentieren.

Es bleibt somit dem Planer überlassen, ob der gewählte Ansatz ökonomisch vertretbar ist, oder ob sich nicht doch eine Einzelberechnung von solchen fehlenden Anschlussdetails, auch im Hinblick auf die weitere Verwendung in Folgeprojekten, rechnet.

5.2 _ Allgemeine Planungsgrundlagen und -empfehlungen – abgeleitet aus einzelnen Anschlussdetails des Wärmebrückenkatalogs

Für die Beurteilung der Tabellen und Grafiken des Wärmebrückenkatalogs auf CD-ROM werden, was den „versteckten" Informationsgehalt angeht, nachfolgend Erläuterungen gegeben.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit bei der Darstellung physikalischer Zusammenhänge und hieraus abgeleiteter Erkenntnisse werden die innenmaßbezogenen ψ-Werte zugrunde gelegt. Nur aus diesen geht die direkte Abhängigkeit von den entscheidenden Parametern unmittelbar hervor. Die außenmaßbezogenen ψ-Werte, wie sie im Rahmen eines EnEV-Nachweises verlangt werden, beinhalten stets einen Korrekturanteil aufgrund der auf die Außenmaße bezogenen Bilanzierung über Flächen und U-Werte. Sie beschreiben demnach nicht mehr den „reinen", sondern eher einen „außenmaßbezogen korrigierten" Wärmebrückeneinfluss. Ein direktes Ableiten der Abhängigkeiten und insbesondere eine größenordnungsmäßige Einschätzung kann demnach nur von innenmaßbezogenen ψ-Werten erfolgen.

Als erstes Beispiel dient der in Abb. 5.15 gezeigte Anschluss Außenecke. Im Bild aus der Tabelle unten rechts sowie aus dem darüber liegenden Diagramm kann der Einfluss aus Wärmeleitfähigkeit der Dämmung und aus dem Holzanteil im Bereich der Außenecke abgelesen werden.

Das Diagramm in Abb. 5.15 gibt grafisch die ψ-Werte der zweiten Spalte (λ = 0,04 W/mK) aus dem Diagramm wieder. So kann für eine Stielbreite von 60 mm ein ψ-Wert von 0,061 W/mK abgelesen werden. Eine Verdopplung der Stielbreite auf 120 mm liefert einen ψ-Wert von 0,075 W/mK, was einer Verschlechterung um ca. 23% entspricht. Als feste Größen für die Berechnung wurden eine 60 mm dicke Außendämmung und eine 160 mm dicke Kerndämmung modelliert. Dem Diagramm kann außerdem entnommen werden, dass zwischen ψ-Wert und Stielbreite eine annähernd lineare Abhängigkeit besteht. Entscheidend beeinflusst wird diese Abhängigkeit durch die Dicke der Außendämmung. So ergäbe sich ohne Vorhandensein einer Außendämmung und ansonsten gleichen Randbedingungen ein deutlich steilerer Verlauf der Kurve. Vergleiche hierzu Abb. 5.13 und Abb. 5.14 für den untersuchten Regelquerschnitt, wobei sich ohne Außendämmung bei Verdopplung der Stielbreite in etwa eine Verdopplung des ψ-Wertes einstellt.

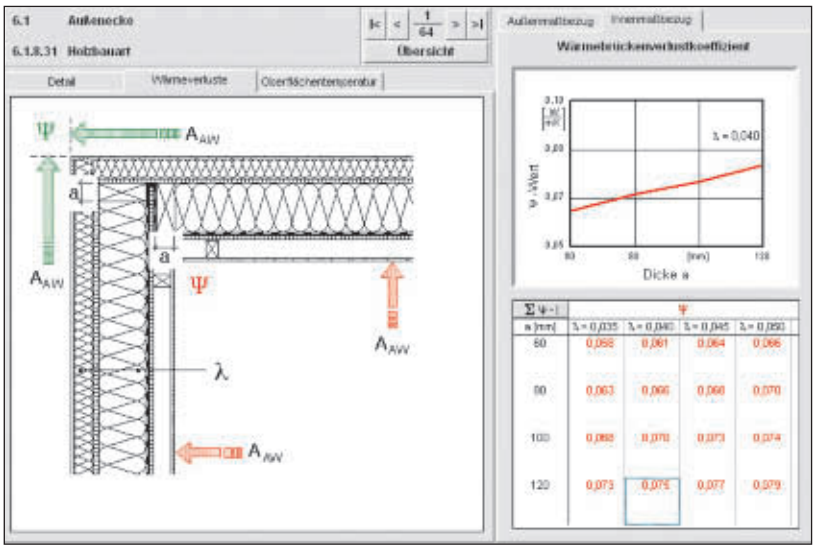


Abbildung 5.15:
Anschluss Außenecke

Bei dem folgenden Beispielanschluss „Innenwand an Außenwand“ wurden ebenfalls die Parameter Stielbreite (a) und Wärmeleitfähigkeit (λ) der Dämmschichten variiert. Den Berechnungen für den in Abb. 5.16 gezeigten Anschluss liegen wie im vorigen Beispiel Dämmstoffdicken von 160 mm für die Kerndämmung und 60 mm für die Außendämmung zugrunde.

Das Diagramm in Abb. 5.16 beschreibt die berechneten ψ-Werte für eine Breite der Konstruktionshölzer von a = 60 mm. Liest man die Werte in der ersten Spalte der in Abb. 5.16 enthaltenen Tabelle von oben nach unten, ergibt sich, bezogen auf den ψ-Wert (rot), bei einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK auf 0,05 W/mK eine Verschlechterung um 15 Prozent. Absolut gesehen wirkt sich unter Beibehaltung einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK eine Verdopplung der Stielbreite (oberste Zeile der Tabelle) von 60 mm auf 120 mm in gleicher Weise auf den ψ-Wert aus. Dies geht aus den in der ersten Zeile der Tabelle in Abb. 5.16 aufgeführten Werten hervor.

Aus den in Abb. 5.15 und Abb. 5.16 dargestellten Abhängigkeiten kann in Verbindung mit den Erkenntnissen aus Abb. 5.13 abgeleitet werden, dass eine durchgehende Dämmschicht (Außendämmung oder Innendämmung) den Einfluss der Stielbreite auf den ψ-Wert entscheidend reduziert. In welchem Maße dieser Einfluss reduziert wird, hängt selbstverständlich von der Dicke der durchgehenden Dämmschicht ab. Es kann jedoch festgehalten werden, dass bei üblichen Dämmstoffdicken ab 60 mm der materialbedingte Wärmebrückeneinfluss auf absolut gesehen sehr geringe ψ-Werte sinkt und zudem der Holzanteil eine untergeordnete Rolle spielt. Ist hingegen keine durchgehende Dämmschicht vorhanden, so ist der Holzanteil der den ψ-Wert bestimmende Einfluss.

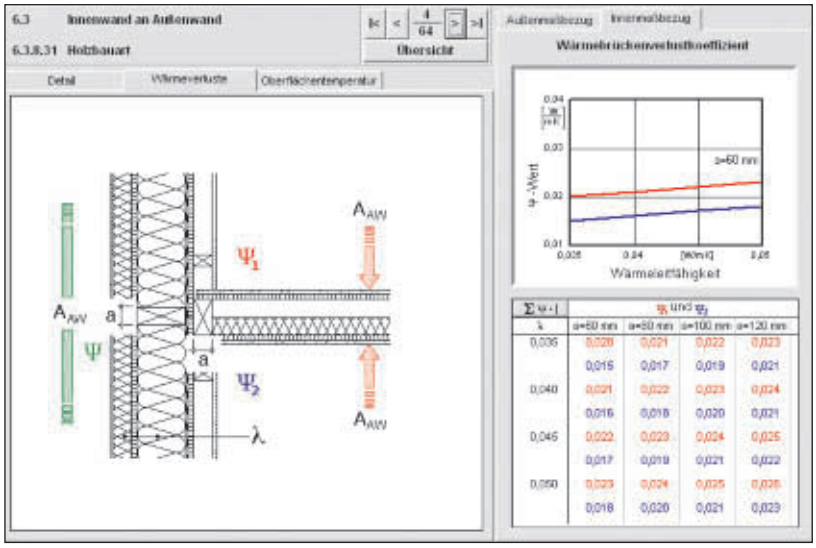


Abbildung 5.16: Anschluss Innenwand an Außenwand

Das folgende Beispiel stellt einen Innenwandanschluss an die Decke eines unbeheizten Kellers im Auflagerbereich einer Kellerwand dar.

Die in Abb. 5.17 ausgewiesenen ψ-Werte verdeutlichen den Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der obersten Steinlage der Kellerwand in Abhängigkeit der Dicke der unterseitigen Dämmung der Kellerdecke. Der für diesen Anschluss hinsichtlich der Wärmebrückenwirkung maßgebliche Parameter ist die Wärmeleitfähigkeit der obersten Steinlage, da die unterseitige Dämmung der Kellerdecke in diesem Bereich nicht geschlossen geführt werden kann. Der im Diagramm in Abb. 5.17 dargestellte Verlauf des Graphen beschreibt den Fall einer Ausführung der obersten Steinlage als konventionelles Mauerwerk (4. Spalte der Tabelle in Abb. 5.17) mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,99 W/mK. Eine Ausführung in Beton wird von den Werten in der 5. Spalte beschrieben. Es fällt auf, dass eine derartige Ausführung dieses Anschlusses zu vergleichsweise hohen energetischen Verlusten führt. Vergleicht man

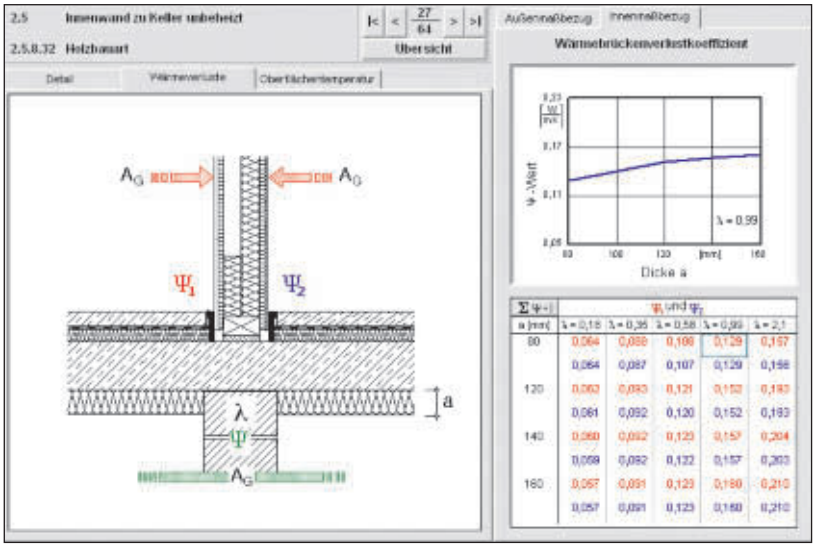


Abbildung 5.17:
Anschluss Innenwand an Keller unbeheizt

den U-Wert im Ausgangsfall für die Kellerdecke (80 mm Kellerdeckendämmung, 120 mm Betondecke, 40 mm Trittschalldämmung, 50 mm Estrich) in Höhe von U = 0,29 W/m²K mit den für eine Ausführung der obersten Steinlage als Mauerwerk angegebenen ψ-Werten (ψ + ψ), so ergibt sich aus einem Meter Anschlusslänge größenordnungsmäßig annähernd der gleiche Transmissionswärmeverlust in Höhe von 0,26 W/mK wie aus einem Quadratmeter Deckenfläche. Wird die oberste Steinlage mit einem Material geringer Wärmeleitfähigkeit ausgeführt, kann der Wärmeverlust im Bereich dieser Wärmebrücke entscheidend reduziert werden.

An dem Anschlussdetail in Abb. 5.17 lässt sich ein weiteres wichtiges Phänomen beobachten: bei den Ausführungen der obersten Steinlage der Kellerwand mit Wärmeleitfähigkeiten größer als λ = 0,35 W/mK (3., 4. und 5. Spalte in Abb. 5.17) verschlechtert sich der Wärmebrückeneinfluss mit zunehmender Dicke der unterseitigen Kellerdeckendämmung. Wird bei Ausführung der obersten Steinlage als konventionelles Mauerwerk anstelle von 80 mm eine 160 mm dicke unterseitige Dämmung vorgesehen, was den U-Wert der Kellerdecke von 0,29 W/m²K auf 0,18 W/m²K verbessert, so verschlechtert sich der lineare Wärmebrückeneinfluss von 0,26 W/mK auf 0,32 W/mK. Somit erbeben sich durch weniger als 60 cm Einflusslänge dieser Wärmebrücke die gleichen Transmissionswärmeverluste wie durch einen Quadratmeter Deckenfläche. Es sollte also stets das Verhältnis von U-Werten zu ψ-Werten beachtet werden. Gegebenenfalls können, wie im gerade beschriebenen Fall für höhere unterseitige Kellerdeckendämmungen, die erhöhten Transmissionswärmeverluste im Bereich der Kellerwandeinbindung durch beidseitiges Dämmen der Kellerwand im oberen Bereich minimiert bzw. reduziert werden.

Ähnlich wie bei dem vorigen Beispiel stellt der in Abb. 5.18 dargestellte Sockelanschluss eines unterkellerten Gebäudes hinsichtlich der Führung einer geschlossenen Dämmebene einen Problembereich dar. Die außenseitige Dämmebene und die unterseitige Kellerdeckedämmung werden zwangsläufig im Auflagerpunkt der Decke unterbrochen, sodass der Wärmedurchlasswiderstand in diesem Bereich entscheidend für den energetischen Verlust im Bereich dieser Wärmebrücke ist.

Neben der Wärmeleitfähigkeit der obersten Steinlage der Kelleraußenwand stellt die Dicke der unterseitigen Kellerdeckendämmung ebenfalls eine wichtige Größe für den wärmebrückenbedingten Transmissionswärmeverlust dar. Liest man die Werte der in Abb. 5.18 enthaltenen Tabelle spaltenweise, wird der Einfluss deutlich. Wie bei dem Beispiel aus Abb. 5.17, hier jedoch für alle untersuchten Wärmeleitfähigkeiten, kann mit zunehmender Dicke der Kellerdeckendämmung ein Ansteigen der ψ-Werte beobachtet werden. Der Grund hierfür ist das Anheben des Temperaturniveaus der Kellerdecke. Überall dort, wo die Dämmebene nicht geschlossen geführt werden kann, im vorliegenden Fall also am Auflager der Kellerdecke, besteht quasi eine Schleuse (Brücke) für den Transmissionswärmestrom. Mit zunehmender Dicke der unterseitigen Kellerdeckendämmung und damit einhergehender Temperaturniveauerhöhung vergrößert sich zwangsläufig auch die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Hierdurch ergibt sich schließlich auch ein höherer Transmissionswärmestrom in diesem Bereich.

Eine Möglichkeit, diesen Transmissionswärmestrom zu reduzieren, besteht darin, im Auflagerbereich ein Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit einzusetzen. (Tabellenwerte zeilenweise lesen). Eine weitere Möglichkeit besteht, ähnlich wie bei dem Anschluss Innenwand/Kellerdecke, die Kelleraußenwand innen im oberen Bereich zu dämmen, um den Wärmeabfluss in den Keller zu unterbinden bzw. zu reduzieren. Andererseits kann zusätzlich die außenseitige Dämmung der Kellerwand vergrößert werden. Auch für dieses Beispiel gilt, dass die energetischen Verluste im Bereich der Wärmebrücke immer im Verhältnis zu den U-Werten der Regelquerschnitte gesehen werden müssen und dass die einzelnen Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes aufeinander abgestimmt werden müssen.

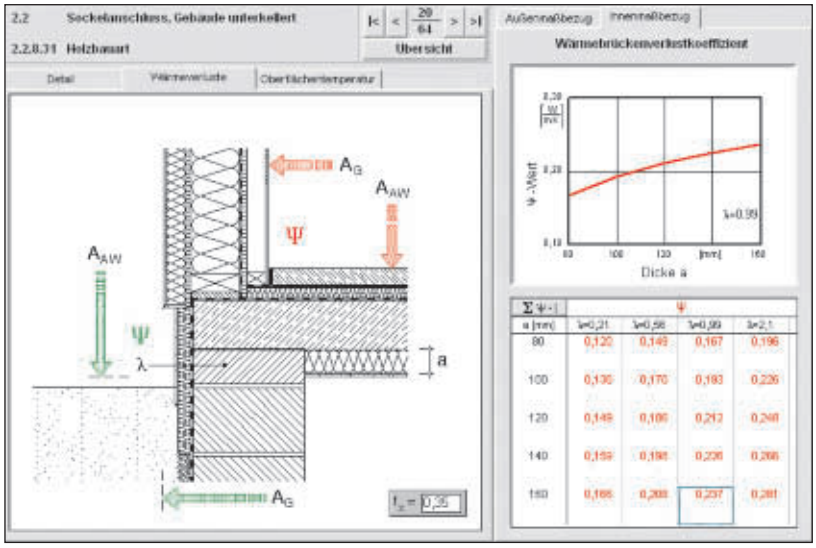


Abbildung 5.18: Sockelanschluss, Gebäude unterkellert

Das aufmerksame Betrachten und Analysieren der in Wärmebrückenkatalogen dargestellten Berechnungsergebnisse für Bauteilanschlüsse sowie die hieraus abgeleiteten Erkenntnisse schaffen wichtiges Planungswissen. Durch gezielten Einsatz dieses Wissens können Folgeschäden, die aus mangelhafter Detailplanung resultieren, im Vorfeld bereits ausgeschlossen werden. Sowohl in der Neubauplanung aus auch im Bereich der Sanierung von Bauwerken stellt das durch intensive Auseinandersetzung mit dem Thema Wärmebrücken gewonnene Fachwissen eine Grundvorrausetzung für den Projekterfolg dar.

6 _ Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: materialbedingte Wärmebrücke 5
Abb. 1.2: geometriebedingte Wärmebrücke 5
Abb. 1.3: Überlagerung der geometrie- und materialbedingten Wärmebrückeneinflüsse 5
Abb. 1.4: Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf, nach [8] 7
Abb. 1.5: Abhängigkeit des Primärenergiebedarfs vom A/V-Verhältnis für Wohngebäude mit unterschiedlicher Warmwasserbereitung [8] 8
Abb. 1.6: Bedarfsentwicklung zum Primärenergiebedarf 8
Abb. 1.7: Wärmebrückenanteile pauschal, beiblattkonform und detailliert 13
Abb. 1.8: Detail Kellerdecke, Beiblatt 2, DIN 4108 16
Abb. 1.9: Detail Fensterlaibung, Beiblatt 2, DIN 4108 16
Abb. 1.10: Abschnitte und Schichten eines thermisch inhomogenen Bauteil, Skizze aus DIN EN ISO 6946 [5] 20
Abb. 1.11: Fensteranschluss mit Darstellung der Maßbezüge 23
Abb. 2.1: Relative Luftfeuchte: Wassergehalt der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur 25
Abb. 2.2: Maximal zulässige Raumluftfeuchte in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und f-Wert 26
Abb. 2.3: Tauwasserbildung am Scheibenrand/Glaseinstand 27
Abb. 2.4: Bodenplatte ohne Stirndämmung 27
Abb. 2.5: Bodenplatte mit Stirndämmung 27
Abb. 3.1: Kennzeichnung des betrachteten Einfamilienhauses 28
Abb. 3.2: Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf (Beispielgebäude) 30
Abb. 4.1: Programm-Oberfläche Wärmebrückenkatalog (WBK) 34
Abb. 4.2: Menüleiste WBK 35
Abb. 4.3: Übersichtsfenster WBK 36
Abb. 4.4: Bereich „Detail“ WBK 36
Abb. 4.5: Bereich „Wärmeverluste“ WBK 37
Abb. 4.6: Bereich „Oberflächentemperatur“ WBK 38
Abb. 4.7: WBK-Berechnungstabelle für Einzelnachweis 39
Abb. 5.1: Ausgangskonstruktion 40
Abb. 5.2: Ausgangskonstruktion mit zusätzlicher Außen- (oben) bzw. Innendämmung (unten) 41
Abb. 5.3: Schema der Parameterstudie 41
Abb. 5.4: Skizze Einfluss Steg 43
Abb. 5.5: Untersuchung Steg, Breite 10 mm 44
Abb. 5.6: Ergebnisse Steg, Breite 20 mm 44
Abb. 5.7: Skizze Einfluss Stiel 45
Abb. 5.8: Ergebnisse Stiel 45
Abb. 5.9: Skizze Einfluss Beplankung 46
Abb. 5.10: Einfluss Beplankung bei 40 mm Stielbreite 46
Abb. 5.11: Einfluss Beplankung bei 160 mm Stielbreite 47
Abb. 5.12: Skizze zusätzliche Außendämmung 47
Abb. 5.13: Einfluss zusätzlicher Außendämmung bei 100 mm Kerndämmung 48
Abb. 5.14: Einfluss zusätzlicher Außendämmung bei 300 mm Kerndämmung 49
Abb. 5.15: Anschluss Außenecke 50
Abb. 5.16: Anschluss Innenwand an Außenwand 51
Abb. 5.17: Anschluss Innenwand zu Keller unbeheizt 52
Abb. 5.18: Sockelanschluss, Gebäude unterkellert 53

7 _ Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Wärmebrückenverlust und Dämmniveau 14
Tabelle 1.2: Normative Berücksichtigung von Transmissionswärmeverlusten infolge Wärmebrücken 18
Tabelle 1.3: Bauteilquerschnitt, Materialdaten und Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände 23
Tabelle 1.4: Berechnungsbeispiel gemäß DIN EN ISO 6946 24
Tabelle 1.5: Berechnungsbeispiel gemäß Näherungsverfahren $U_{Gefach} + \psi/e$ 24
Tabelle 3.1: Varianten unterschiedlicher Wärmebrückenbilanzierung 29
Tabelle 3.2: Einzelnachweis der Wärmebrückenwirkung 31
Tabelle 5.1: Materialeigenschaften der untersuchten Parameter 43

8 _ Literaturverzeichnis

[1] EnEG Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden. Bundesgesetzblatt Teil 1, S. 2121–2132

[2] EnEV 2002, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Bundesgesetzblatt 21.11.2001, S. 3085ff.

[3] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. (Jul. 2003)

[4] EnEV 2006, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), noch nicht erschienen

[5] DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedruchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren. (ISO 4946:1996); Deutsche Fassung EN ISO 4946 (Okt. 2003)

[6] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen. (Entwurfsfassung Jun. 2005)

[7] Hauser, G.; Otto, F.; Ringeler, M.; Stielgel, H.: Holzbauhandbuch Reihe 3, Teil 2, Folge 2: Holzbau und die Energieeinsparverordnung. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Entwicklungsgemeinschaft Holzbau i.d. DGfH, Düsseldorf/München, 2000.

[8] Maas, A., Hauser, G. und Höttges, K.: Die Energieeinsparverordnung. Bauphysik 24 (2002), H. 1, S. 26–38; wksb 47 (2002), H. 48, S. 15–25.

[9] Hegner, H.-D. und Vogler, I.: Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert. Ernst & Sohn, Berlin (2002).

[10] DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Berechnung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden. (Jun. 2003)

[11] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs (Jun. 2003)

[12] DIN 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung Trinkwassererwärmung, Lüftung. (Aug. 2003)

[13] EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (Richtlinie 2002/91/EG)

[14] Normenreihe DIN V 18 599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Ermittlung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. (Jul. 2005)

[15] Hauser, G.; Stiegel, H.; Haupt, W.: Wärmebrückenkatalog auf CD-ROM, Ver. 1.2.5. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel 2006.

[16] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag Wiesbaden, pdf-reprint der 3. durchgesehenen Auflage (1996), Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel 2006.

[17] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau, Bauverlag Wiesbaden, pdf-reprint der 1. Auflage (1992), Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel 2006.

[18] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrückenkatalog für Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2006

[19] Pavatex Wärmebrückenkatalog (Holzbau), im Internet verfügbar unter: www.pavatex.de

[20] Xella Wärmebrückenkatalog EnEV-XP, download unter: http://www.xella.de/html/deu/de/fermacell_downloads_software.php

[21] Tichelmann, K.; Ohl, R.: Wärmebrücken Atlas. Trockenbau, Stahl-Leichtbau, Bauen im Bestand. Rudolf Müller Verlag, 2005.

[22] DIN 4108 – Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. (Mrz. 2006)

[23] Hauser, G.; Stiegel, H.: Dokumentation der Wärmebrückenwirkung bei Häusern in Holztafelbauart gegenüber konventionell errichteten Gebäuden und Festlegung pauschaler Korrekturfaktoren. Forschungsbericht AIF-Forschungsvorhaben-Nr.: 9109, Baunatal, 1994.

[24] Otto, Frank: Vereinfachter Ansatz für die U-Wert-Berechnung von Bauteilen mit inhomogenen Schichten gem. DIN EN ISO 6946. Forschungsbericht im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Zentrum für Umweltbewusstes Bauen, Kassel, März 2006

[25] DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte (Jul. 2004)

[26] DIN EN 12524: Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften. tabellierte Benmessungswerte. (Jul. 2000)

[27] Moriske, H.-J.; Szewzyk, R.: Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Umweltbundesamt, Berlin, 2005,

[28] Sedlbauer, Klaus: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation, Universität Stuttgart, 2001.

Impressum

Herausgeber:
HOLZABSATZFONDS
Absatzförderungsfonds der
deutschen Forst- und Holzwirtschaft
Godesberger Allee 142–148
D-53175 Bonn
02 28/3 08 38-0
02 28/3 08 38-30 Fax
info@holzabsatzfonds.de
www.holzabsatzfonds.de

Projektleitung:
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Bühler, Bonn

Technische Anfragen an
Überregionale Fachberatung:
0 18 02/46 59 00 (0,06 Euro / Gespräch)*
fachberatung@infoholz.de
www.informationsdienst-holz.de

* aus dem Festnetz der DT AG,
ggf. abweichende Preise aus dem Mobilfunknetz

Bearbeitung:
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Kassel
Dipl.-Ing. Horst Stiegel

Koordination:
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.,
München
Dipl.-Ing. (FH) Martin Fischer

Arbeitsgruppe:
Werner Eckert, Weilheim
Dipl.-Ing. Dominik Herfurth, Iphofen
Dipl.-Ing. Peter Jonak, Michelstadt
Dipl.-Ing. Daniel Kehl, Leipzig
Dipl.-Ing. Georg Lange, Bad Honnef
Uwe Klaus Lange, Feldkirchen
Dr.-Ing. Mandy Peter, Berlin
Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ranzmeyer, Aichach
Dipl.-Ing. Wolfgang Schäfer, Stuttgart
Dipl.-Ing. Eberhard Strobel, Gau-Algesheim
Dr.-Ing. Tobias Wiegand, Wuppertal

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter:
www.informationsdienst-holz.de

Erschienen: 5/2008
ISSN-Nr. 0466-2114
Bestellnummer: H 595

holzbau handbuch
Reihe 3: Bauphysik
Teil 2: Feuchteschutz
Folge 7: Wärmebrücken

HOLZABSATZFONDS
ANSTALT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

HOLZABSATZFONDS
Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft

Godesberger Allee 142–148, D-53175 Bonn
Telefon 02 28/3 08 38-0, Telefax 02 28/3 08 38-30
info@holzabsatzfonds.de
www.holzabsatzfonds.de

H 595 (6.2008) ISSN-Nr. 0466-2114