

# **3 Aspekte des baulichen Wärmeschutzes beim energiesparenden Bauen**

### 3.1 Einführung

Anton Maas, Gerd Hauser

Die Notwendigkeit der Energieeinsparung ist heute umstritten. Aspekte des Umweltschutzes und der Daseinsvorsorge sind die wesentlichen Gründe. Dabei kommt dem Sektor Gebäude eine zentrale Rolle zu, da hier große Einsparpotentiale ruhen und die erforderliche Technik erprobt vorliegt. Die Politik will diesen Bereich primär mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) [1] aktivieren und erhofft sich weitere drastische Minderungen durch deren Umsetzung.

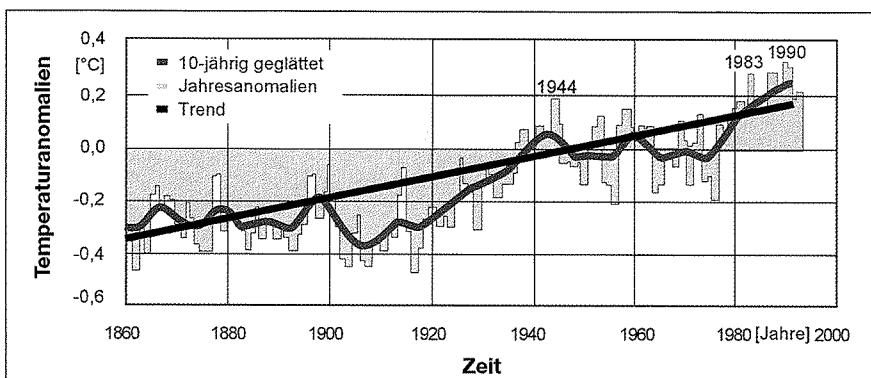
Die wichtigsten Gründe für Energieeinsparmaßnahmen allgemein und im Gebäudebereich im Besonderen werden im weiteren dargelegt.

#### 3.1.1 Umweltschutz

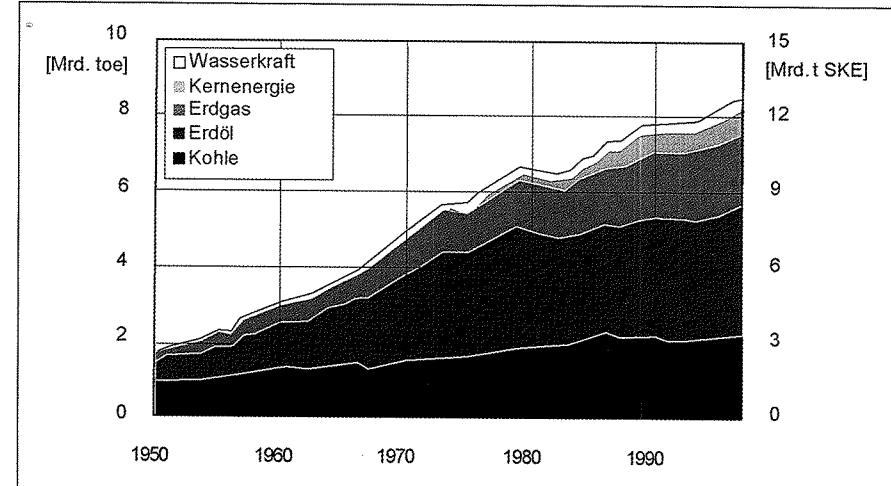
Die Erde erwärmt sich in den letzten Jahren, wie **Bild 3.1** verdeutlicht, kontinuierlich. Insbesondere der stetig wachsende Verbrauch von Energie, wie er aus **Bild 3.2** ablesbar ist, mit den gemäß **Tabelle 3.1** verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen führt zu einer enormen Belastung. Die Wärmebilanz der Troposphäre, vereinfacht dargestellt in **Bild 3.3**, wird einseitig verändert, weil die Anreicherung von CO<sub>2</sub> zu einer Minderung der Wärmearustrahlung der Erdoberfläche zum Weltraum führt. Die Folgen in Form klimatischer Veränderungen sind derzeit noch nicht im vollen Umfang abschätzbar und genau quantifizierbar, sie sind jedoch als dramatisch zu bezeichnen. Zur Abwehr des erkennbaren CO<sub>2</sub>-Anstiegs muss als wesentliche Maßnahme die Minderung des Verbrauchs an fossilen Energieträgern gesehen werden.

#### 3.1.2 Gebäudespezifische Aspekte

Wie die Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland gemäß **Tabelle 3.2** verdeutlicht, kommt dem Sektor Haushalte, dessen größter Verbrauchsanteil in der Gebäudebeheizung mit fossilen Energieträgern liegt (**Bild 3.4 und 3.5**), eine relativ große Bedeutung zu. Hierbei besteht einerseits der Vorteil vorherrscht, dass gut erprobte Einspartechniken zur Verfügung stehen und andererseits zahlreiche Energieeinsparmaß-



**Bild 3.1:** Weltmitteltemperatur [2]



**Bild 3.2:** Entwicklung des Primärenergieverbrauchs weltweit (einzelne Energieträger kumuliert) [3]

**Tabelle 3.1:** Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Energieträger [4]

| Richtwerte für Energieträger | Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /kWh] |
|------------------------------|---|
| Braunkohle                   | 0,455   |
| Steinkohle                   | 0,410   |
| Brennholz                    | 0,055   |
| Erdgas                       | 0,232   |
| Heizöl                       | 0,297   |
| Strom-Mix                    | 0,689   |
| Fernwärme                    | 0,214   |

nahmen zusätzliche positive Aspekte neben der Energieeinsparung als solcher aufzuweisen. Dazu gehören die Steigerung der Behaglichkeit und die Verbesserung der Möglichkeit der Bausubstanzerhaltung.

So zeigt **Bild 3.6** beispielhaft die raumseitigen Oberflächentemperaturen einer Außenwand in Abhängigkeit von deren wärmeschutztechnischer Ausbildung. Mit zunehmendem baulichen Wärmeschutz steigen die Oberflächentemperaturen während der Heizperiode deutlich an und somit auch die Behaglichkeit.

Daneben wirkt sich ein verbesselter baulicher Wärmeschutz positiv auf die Behaglichkeit im Sommer aus. Mit einem Einzahlkennwert beschrieben, gibt die Übertemperaturgradstundenzahl Gh<sub>26</sub> in **Tabelle 3.3** die Dauer und Intensität der Überschreitung einer empfundenen Temperatur von 26 °C in den angegebenen Büroräumen in Abhängigkeit des Wärmeschutzniveaus wieder. Wärmeschutzniveau I bildet dabei den geringsten und Wärmeschutzniveau III den höchsten Standard ab. Es zeigt sich deutlich, wie mit verbessertem Wärmeschutz die Behaglichkeit auch im Sommer wächst.

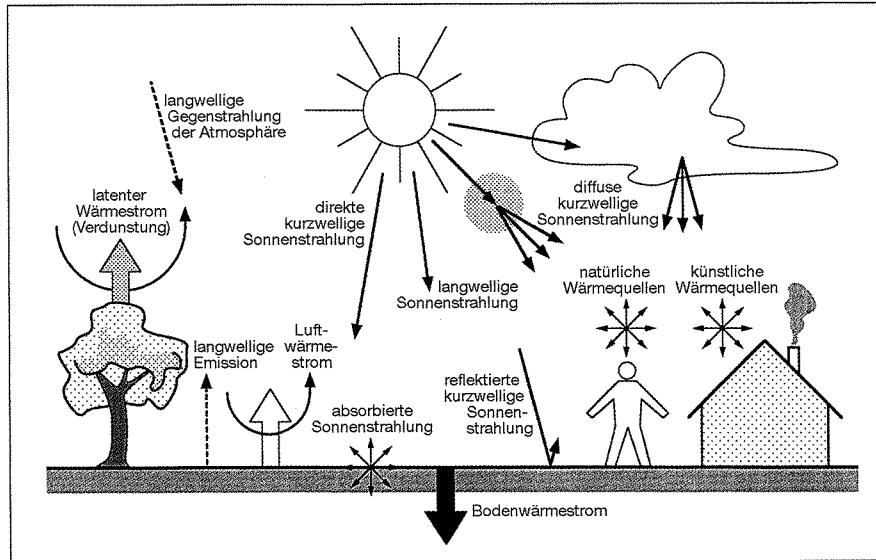


Bild 3.3: Wärmebilanz der Troposphäre

Tabelle 3.2: Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland 1999 [3]

| Sektor  | Energieverbrauch [PJ] | Energieverbrauch [%] |
|---|-----------------------|----------------------|
| Primärenergieverbrauch  | 14 194                | 100                  |
| <b>Anteile am Primärenergieverbrauch</b>                          |                       |                      |
| Verbrauch und Verluste im Energiesektor, Statistische Differenzen | 3 836                 | 27,0                 |
| Nichtenergetischer Verbrauch                                      | 1 070                 | 7,5                  |
| Endenergieverbrauch   | 9 288                 | 65,4                 |
| <b>Anteile am Endenergieverbrauch</b>                             |                       |                      |
| Industrie   | 2 383                 | 25,7                 |
| Verkehr   | 2 775                 | 29,9                 |
| Haushalte   | 2 649                 | 28,5                 |
| Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)                           | 1 454                 | 15,7                 |
| Militärische Dienststellen  | 26                    | 0,3                  |

### 3.2 Energiesparkonzepte

Die Einsparung von Energie für die Beheizung von Gebäuden kann durch zahlreiche Einzelmaßnahmen mit unterschiedlichen Wirkungen erfolgen. Diese sind im wesentlichen in folgende Kategorien einzuordnen [9]:

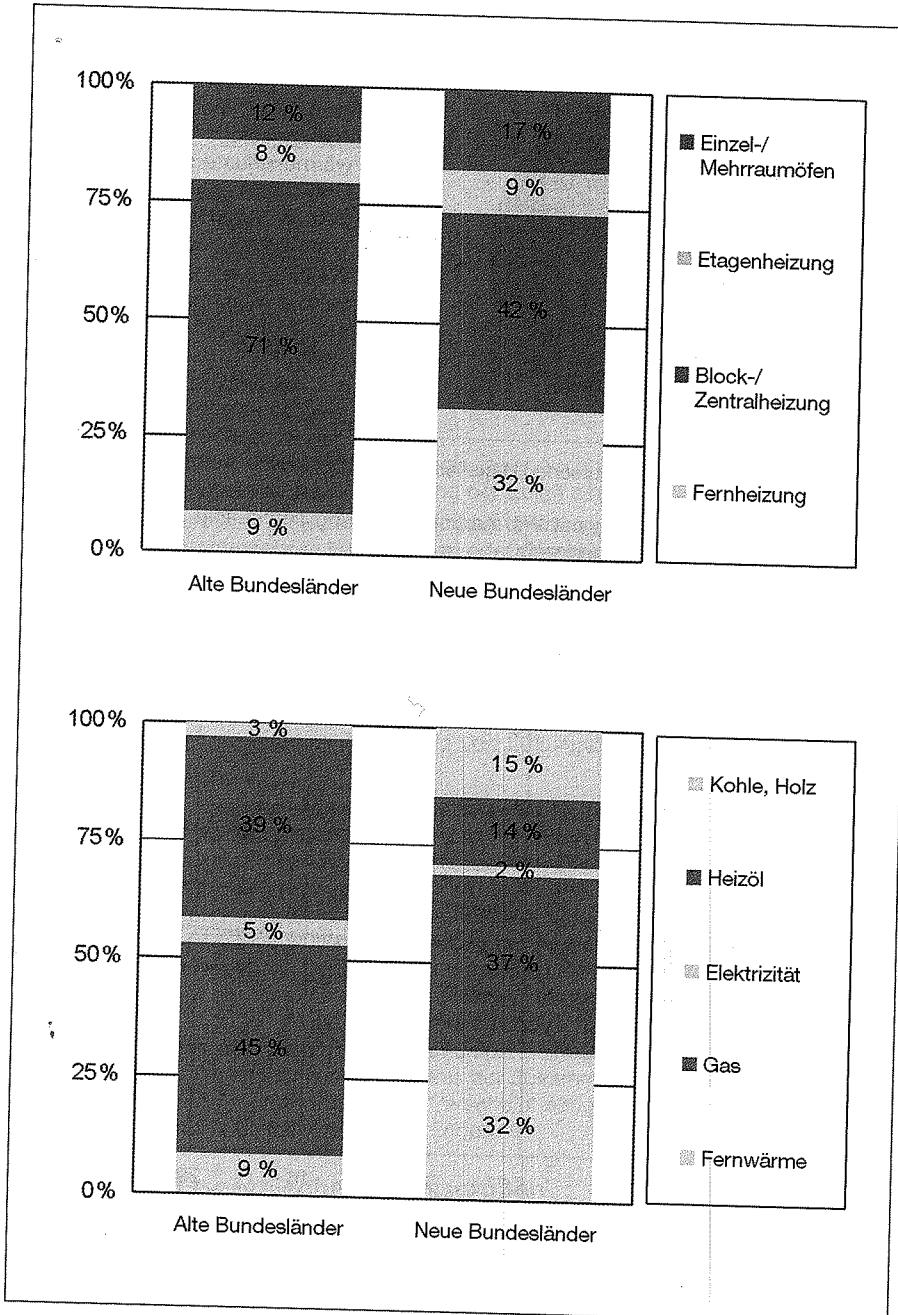


Bild 3.4: Heizungsart und Heizenergieträger bewohnter Wohnungen in Deutschland 1998 [5]

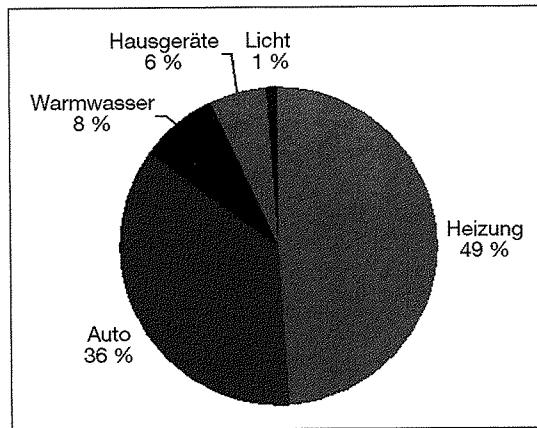


Bild 3.5: Energieverbrauch in deutschen Haushalten [6]

Bedarf angepasste Lüftung mit Wärmerückgewinnung sowie eine Anlagentechnik mit möglichst kleiner Aufwandszahl.

#### b) Gewinnsteigernde Elemente

Zur Steigerung der Wärmegewinne gehören alle Maßnahmen, durch welche verstärkt Sonnenenergie aufgenommen wird und ebenso die Maßnahmen, die eine ver-

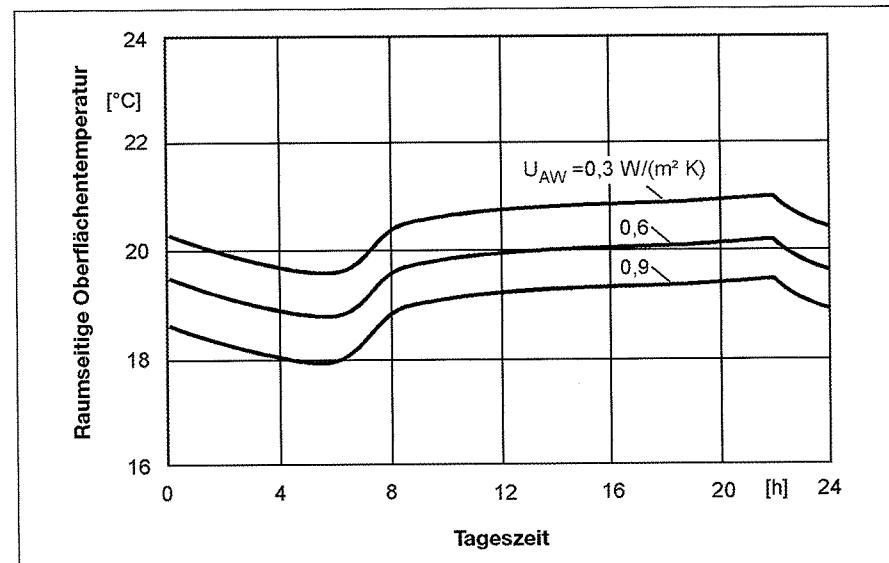


Bild 3.6: Abhängigkeit der raumseitigen Oberflächentemperatur einer Außenwand unter winterlichen Randbedingungen vom Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils bei instationärem Heizbetrieb [7]

Tabelle 3.3.: Übertemperaturgradstunden  $Gt_{Übertemperatur}$  eines Bürogebäudes [8]

| Raum                  | $Gt_{Übertemperatur} [\text{K}\text{h}/\text{a}]$ |                       |                        |
|-----------------------|---|-----------------------|------------------------|
|                       | Wärmeschutz-niveau I                              | Wärmeschutz-niveau II | Wärmeschutz-niveau III |
| 2. OG Zentralraum Ost | 280   | 222                   | 116                    |
|                       | 342   | 252                   | 118                    |
|                       | 686   | 584                   | 335                    |
|                       | 1014  | 888                   | 508                    |
| DG                    | 318   | 247                   | 127                    |
|                       | 381   | 280                   | 134                    |
|                       | 671   | 565                   | 333                    |
|                       | 800   | 671                   | 386                    |

stärkte Nutzung dieser Sonnenenergie, aber auch interner Wärmequellen ermöglichen. Auch Systeme zur Vorwärmung der Zuluft sind hier einzuordnen.

Insbesondere die Größe, Verteilung und Anordnung der Fenster, aber auch die Integration von unbeheizten Wintergärten oder Glasanbauten, Atrien usw. spielen hierbei eine Rolle. Daneben kann auch mittels spezieller Wand- und Fassadenausbildungen mit transluzenter Wetterschale, transluzenter Wärmedämmung (TWD) und möglicher Durchströmung (zur Vorwärmung der Zuluft) die Solarenergieaufnahme drastisch erhöht werden.

Die Vorwärmung der Zuluft für mechanische Lüftungsanlagen mittels derartiger Fassadensysteme oder vorgesetzter Erdwärmetauscher wird durch den bei Niedrigenergiehäusern notwendigen Einsatz von Lüftungstechnik immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Bei der Planung energiesparender Gebäude ist im Konfliktfall verlustreduzierenden Elementen der Vorzug gegenüber gewinnsteigernden Elementen zu geben, insbesondere auch unter ökonomischen Gesichtspunkten. Der erste Schritt im Planungsablauf sollte jeweils eine Verlustminimierung zum Ziel haben, der anschließend eine Gewinnmaximierung folgt. Ebenso sollten zunächst die Voraussetzungen eines Niedrigenergiehauses durch bauliche Maßnahmen geschaffen werden, auf die dann die Anlagen-technik abzustimmen ist. Der Nutzer ist bei allen Überlegungen mit einzubeziehen, wobei jedoch nicht der Versuch unternommen werden sollte, ihn zu reglementieren. Dem Nutzer sind die baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen für einen geringen Heizenergieverbrauch bereitzustellen, und sein Beitrag ist durch Information, Bewusstseinsänderung, Verständnis und Kenntnis der Zusammenhänge einzubringen. Das Energiesparkonzept „Komfortminderung“ erscheint als generelle Lösung untauglich und kann nur im Individualfall Anwendung finden.

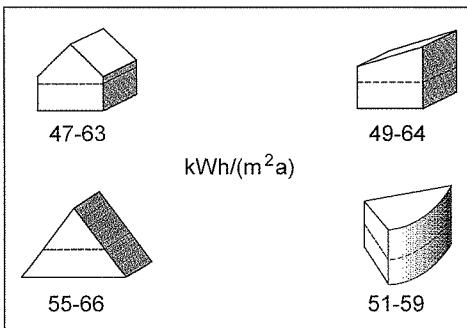
### 3.3 Entwurfsspezifische Einflussgrößen

Die architektonischen Möglichkeiten bei der Gebäudeplanung sind vielfältig. Die in letzter Zeit mehr und mehr in den Vordergrund tretende Fragestellung nach dem Energiebedarf von geplanten Gebäuden kann häufig nur mit hohem finanziellen Aufwand von Fachingenieuren geklärt werden. Im Bereich der Einfamilienhäuser sind die Bauherren jedoch in der Regel nicht bereit, die Kosten für eine Energieberatung zu tragen.

Die Entscheidung über das Gebäudekonzept liegt somit bei den meisten Objekten in der Hand des Architekten. Um diesem Entscheidungshilfen bereitzustellen, werden im weiteren die Auswirkungen unterschiedlicher Einflussparameter auf den Jahres-Heizwärmeverbrauch aufgezeigt. Als charakteristische Größe für das energetische Verhalten des Gebäudes wird der auf die Nutzfläche bezogene Jahres-Heizwärmeverbrauch herangezogen.

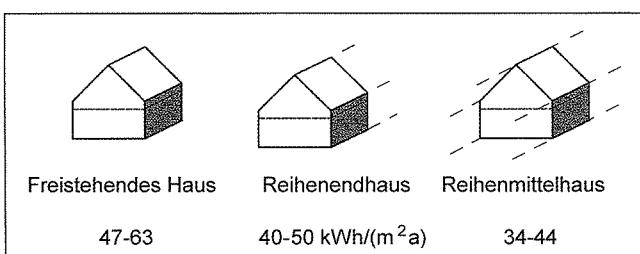
### 3.3.1 Gebäudeform

Aus umfangreichen Berechnungsergebnissen in [9] resultiert, dass für die Konzeption energiesparender Gebäude als freistehendes Einfamilienhaus die Gebäudeformen Satteldach-Haus und Pultdach-Haus gut geeignet sind. Ohne spezielle Maßnahmen für die Nutzung der Sonnenenergie, wie beispielsweise die transluzente Wärmedämmung, stellen „exotische“ Gebäudeformen (Kreissegment/Prisma-Haus) keine optimale Lösung dar (**Bild 3.7**).

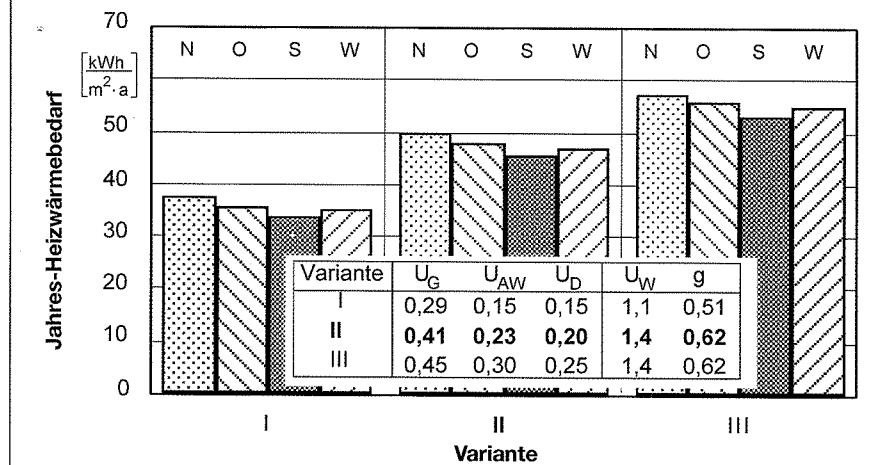


**Bild 3.7:** Einfluss der Gebäudeform auf den Jahres-Heizwärmeverbrauch [9]

Fensterkonzentration vorlag. Auf der gegenüberliegenden Seite wurde nur ein geringer Fensterflächenanteil zugrunde gelegt. Setzt man für ein freistehendes Einfamilienhaus eine übliche Verteilung der Fensterflächen voraus, dann ergeben sich die Unterschiede im Heizwärmeverbrauch, wie in **Bild 3.9** dargestellt. Das Diagramm zeigt den Jahres-Heizwärmeverbrauch für drei unterschiedliche Dämmniveaus. Diese Dämmniveaus sind gekennzeichnet über die Wärmedurchgangskoeffizienten, die sich aus den Schichtaufbauten der jeweils zugrunde gelegten Konstruktionen ergeben. Weiterhin zeigt die Darstellung den Einfluss der Gebäudeorientierung, wobei für jedes Wärmeschutzniveau



**Bild 3.8:** Vergleich des Jahres-Heizwärmeverbrauchs zwischen einem freistehenden Einfamilienhaus, einem Reihenend- und einem Reihenmittelhaus [9]



**Bild 3.9:** Einfluss des Wärmeschutzes der wärmeübertragenden Umfassungsfläche auf den Jahres-Heizwärmeverbrauch eines freistehenden Einfamilienhauses [9]

die Hauptfassade mit dem größten Fensterflächenanteil in die Süd-, Ost-, West- bzw. Nordrichtung orientiert wird. Eindeutig zu erkennen ist, dass relativ geringe Unterschiede (4–5 kWh/(m<sup>2</sup>a)) hinsichtlich des Jahres-Heizwärmeverbrauchs aus der Drehung des Gebäudes resultieren.

### 3.4 Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf von Gebäuden

Am Beispiel eines Einfamilienhauses soll aufgezeigt werden, wie sich unterschiedliche bauliche und nutzungsbedingte Einflüsse auf die Höhe des Jahre-Primärenergiebedarfs auswirken [10].

In **Tabelle 3.4** sind die Varianten der verschiedenen Einflussgrößen dargestellt. Der Ausgangsfall entspricht hinsichtlich der Randbedingungen dem Niveau der EnEV 2002 und verursacht einen Primärenergiebedarf von 125,3 kWh/(m<sup>2</sup>a).

**Tabelle 3.4:** Zugrunde gelegte Varianten für die Berechnungen des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Einfamilienhauses

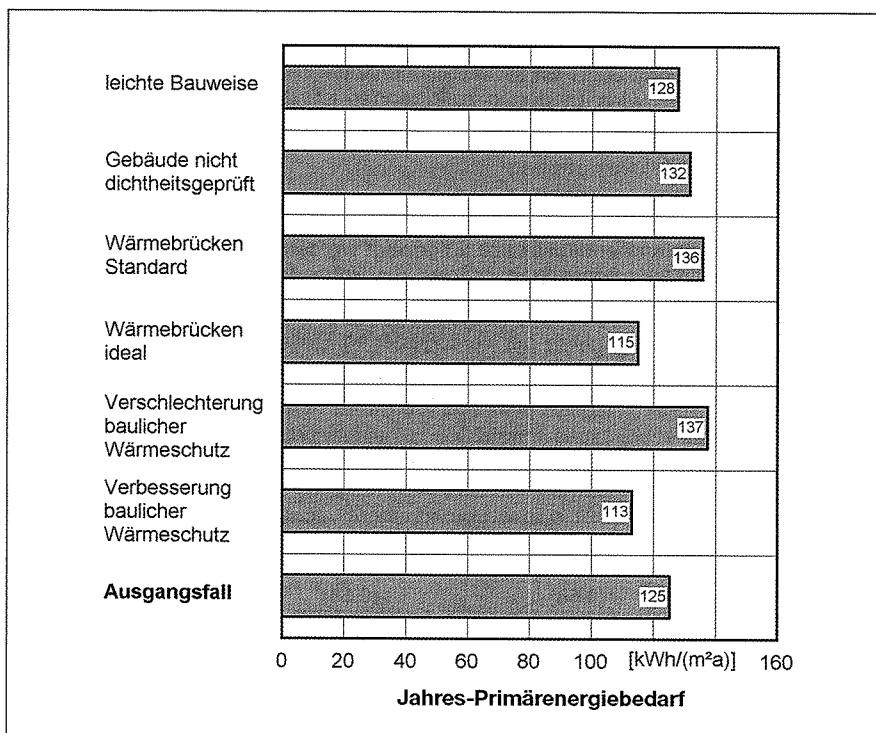
| Einflussgröße  | Ausgangsfall                       | Variante 1                         | Variante 2                        |
|--|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| U <sub>AW</sub> /U <sub>D</sub> /U <sub>G</sub> / U <sub>W</sub> (g)<br>[W/(m <sup>2</sup> K)]/- | 0,35 / 0,22 / 0,36 / 1,4<br>(0,58) | 0,21 / 0,18 / 0,28 / 1,4<br>(0,58) | 0,53 / 0,24 / 0,5 / 1,4<br>(0,58) |
| ΔU <sub>WB</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]  | 0,05                               | 0                                  | 0,1                               |
| n [h <sup>-1</sup> ]   | 0,6                                | 0,7                                | -                                 |
| Speicherfähigkeit  | schwer                             | leicht                             | -                                 |
| Raumtemperatur [°C]  | 19                                 | 17                                 | 21                                |
| Nachtabsenkung   | mit                                | ohne                               | -                                 |
| Standort   | Referenzstandort                   | Freiburg                           | Hof                               |

### Bauliche Einflüsse

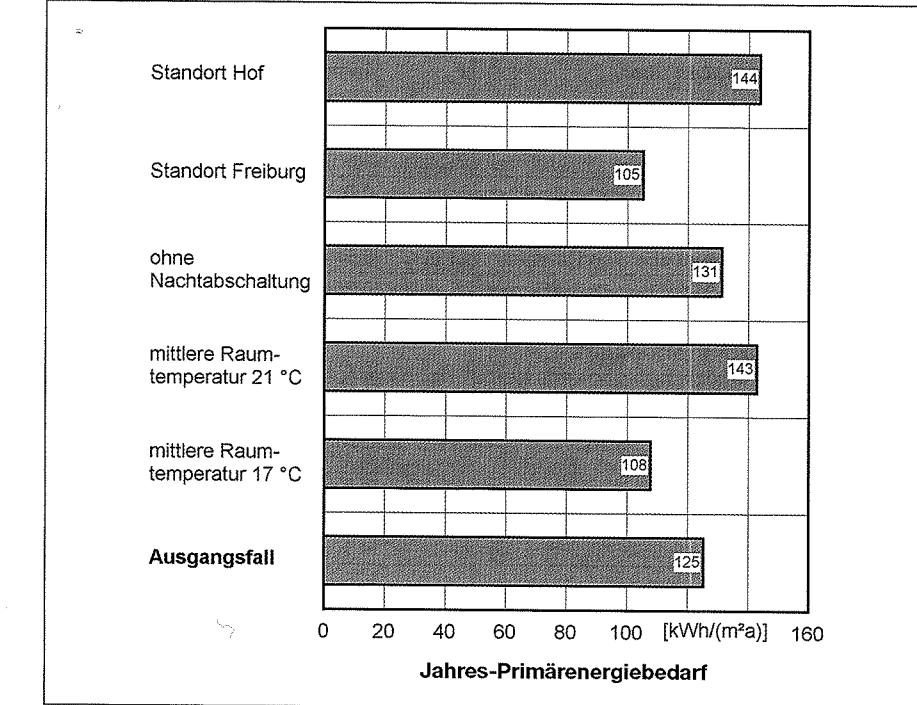
Wird der bauliche Wärmeschutz gem. den Zahlenwerten in Tabelle 3.4 verbessert, ergibt sich eine Bedarfsreduktion um rd. 12 kWh/(m<sup>2</sup>a). Wärmedurchgangskoeffizienten, die in etwa dem Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung '95 entsprechen, führen zu einer Erhöhung des Primärenergiebedarfs um rd. 12 kWh/(m<sup>2</sup>a). Mit der Umsetzung optimierter Anschlussdetails können Wärmebrückenverluste reduziert werden. Aus einem Wert  $\Delta U_{WB} = 0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  resultiert der Jahres-Primärenergiebedarf von rd. 115 kWh/(m<sup>2</sup>a). Infolge schlechter Wärmebrückenausführungen ( $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) steigt der zuletzt genannte Wert um ca. 21 kWh/(m<sup>2</sup>a) an. Wird eine ausreichende Gebäudedichtheit, die nach DIN 4108-7 [11] gefordert ist, nicht erreicht, ergibt sich mit einem Luftwechsel von  $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$  ein Jahres-Primärenergiebedarf von 131,6 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Einfluss der Bauweise (schwer/leicht), ausgedrückt durch die Wärmespeicherfähigkeit, liegt bei etwa 2 % (**Bild 3.10**).

### Nutzungsbedingte Einflüsse

Die Energieeinsparverordnung setzt als mittlere Raumlufttemperatur einen Wert von 19 °C an. Hierbei ist die räumliche Teilbeheizung berücksichtigt, d.h. es wird davon



**Bild 3.10:** Jahres-Primärenergiebedarf eines Einfamilienhauses bei Variation unterschiedlicher baulicher Einflussgrößen. Varianten gem. Tabelle 3.4



**Bild 3.11:** Jahres-Primärenergiebedarf eines Einfamilienhauses bei Variation unterschiedlicher nutzungsbedingter Einflussgrößen. Varianten gem. Tabelle 3.4

ausgegangen, dass nicht alle Räume eines Gebäudes auf normale Raumlufttemperaturen beheizt werden. Setzt man bei der Berechnung eine Raumlufttemperatur von durchschnittlich 17 °C an, liegt der Jahres-Primärenergiebedarf bei 108 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bei einer um 2 K erhöhten Raumlufttemperatur von 21 °C erhöht sich auch der Bedarf und zwar um rd. 18 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Wird gegenüber dem Ausgangsfall keine Nachtabschaltung betrieben, entsteht ein Mehrbedarf von ca. 6 %. Die Berücksichtigung standortspezifischer Klimadaten führt für Freiburg (Referenzort für die Region 12 gem. DIN V 4108-6 [13]) zu einer Reduktion des Jahres-Primärenergiebedarfs von rd. 20 kWh/(m<sup>2</sup>a). Unter Zugrundelegung der Klimadaten des Referenzortes für die Region 10 (Hof) nimmt der Bedarf auf 144 kWh/(m<sup>2</sup>a) zu (**Bild 3.11**).

### 3.5 Kennzeichnung der Einflussgrößen des baulichen Wärmeschutzes

#### 3.5.1 Transmissionswärmeverluste

Die Transmissionswärmeverluste der wärmeübertragende Hüllfläche eines Gebäudes betragen pro K Temperaturdifferenz

**Tabelle 3.5:** Rechenwerte für Temperaturkorrekturfaktoren [12]

| Wärmestrom nach außen über  | $F_x$          | Temperaturbezogener Abminderungsfaktor $F_x$ [-]                |      |      |      |      |      |
|---|----------------|---|------|------|------|------|------|
| Außenwand   | $F_{AW}$       | 1,0   |      |      |      |      |      |
| Dach (als Systemgrenze)   | $F_D$          | 1,0   |      |      |      |      |      |
| Dachgeschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut)                            | $F_D$          | 0,8   |      |      |      |      |      |
| Abseitenwand (Drempel)  | $F_u$          | 0,8   |      |      |      |      |      |
| Wände und Decken zu unbeheizten Räumen                                  | $F_u$          | 0,5   |      |      |      |      |      |
| Wände und Decken zu niedrig beheizten Räumen                            | $F_{nb}$       | 0,35  |      |      |      |      |      |
| Wände und Decken zu unbeheiztem Glasvorbau bei einer Verglasung aus:    | $F_u$          |   |      |      |      |      |      |
| Einfachverglasung   |                | 0,8   |      |      |      |      |      |
| Zweischeibenverglasung  |                | 0,7   |      |      |      |      |      |
| Wärmeschutzverglasung   |                | 0,5   |      |      |      |      |      |
|   |                | B' [m] 1)   |      |      |      |      |      |
|   |                | < 5   5 bis 10   > 10   |      |      |      |      |      |
|   |                | $R_f$ und $R_w^2$ )   $R_f$ und $R_w^2$ )   $R_f$ und $R_w^2$ ) |      |      |      |      |      |
|   |                | < 1   > 1   < 1   > 1   < 1   > 1                               |      |      |      |      |      |
| Flächen des beheizten Kellers:  |                |   |      |      |      |      |      |
| Fußboden des beheizten Kellers  | $F_G = F_{bf}$ | 0,30  | 0,45 | 0,25 | 0,40 | 0,20 | 0,35 |
| Wand des beheizten Kellers  | $F_G = F_{bw}$ | 0,40  | 0,60 | 0,40 | 0,60 | 0,40 | 0,60 |
|   |                |   |      |      |      |      |      |
|   |                | Rf  |      | Rf   |      | Rf   |      |
|   |                | < 1   > 1   < 1   > 1   < 1   > 1                               |      |      |      |      |      |
| Fußboden <sup>3)</sup> auf dem Erdreich ohne Randdämmung                | $F_G = F_{bf}$ | 0,45  | 0,50 | 0,40 | 0,50 | 0,25 | 0,35 |
| Fußboden <sup>3)</sup> auf dem Erdreich mit Randdämmung <sup>4)</sup> : |                |   |      |      |      |      |      |
| 2 m breit, waagerecht   | $F_G = F_{bf}$ | 0,30  |      | 0,25 |      | 0,20 |      |
| 2 m breit, senkrecht  | $F_G = F_{bf}$ | 0,25  |      | 0,20 |      | 0,15 |      |
| Kellerdecke <sup>5)</sup> :   |                |   |      |      |      |      |      |
| zum unbeheizten Keller mit Perimeterdämmung                             | $F_G$          | 0,55  |      | 0,50 |      | 0,45 |      |
| zum unbeheizten Keller ohne Perimeterdämmung                            | $F_G$          | 0,70  |      | 0,65 |      | 0,55 |      |
| Aufgeständerter Fußboden  | $F_G$          | 0,90  |      |      |      |      |      |
| Niedrig beheizte Räume <sup>6)</sup> :                                  |                |   |      |      |      |      |      |
| Bodenplatte   | $F_G$          | 0,20  | 0,55 | 0,15 | 0,50 | 0,10 | 0,35 |

1)  $B' = AG / (0,5 P)$   
 2)  $R_f$ : Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte;  $R_w$ : Wärmedurchlasswiderstand der Kellerwand.  
 3) Bei fließendem Grundwasser erhöhen sich die Temperatur-Abminderungsfaktoren um 15%.  
 4) Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Randdämmung  $> 2 \text{ m}^2\text{K/W}$ ; Bodenplatte ungedämmt.  
 5) Bei einer Kellerdecke (KD) mit Trittschalldämmung:  $U_{KD} < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; Kellerfußboden ungedämmt.  
 6) Räume mit Innentemperaturen zwischen 12°C und 19°C.

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

mit

- $F$  [-] Temperaturkorrekturfaktor des Bauteils oder der Wärmebrücke  
 $U$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ] Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils  
 $A$  [ $\text{m}^2$ ] Fläche des Bauteils  
 $l$  [m] Länge der linearen Wärmebrücke  
 $\psi$  [ $\text{W}/(\text{mK})$ ] längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient  
 $\chi$  [ $\text{W/K}$ ] punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient

Die gem. DIN V 4108-6 anzusetzenden Temperaturkorrekturfaktoren  $F$  bzw.  $F_x$  sind in **Tabelle 3.5** wiedergegeben.

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  (bislang  $k$ -Wert) ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands  $R_T$  (bislang  $1/\Lambda$ )

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Der Wärmedurchgangswiderstand berücksichtigt den inneren und äußeren Wärmeübergang und den Wärmetransport durch das Bauteil

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se}$$

mit

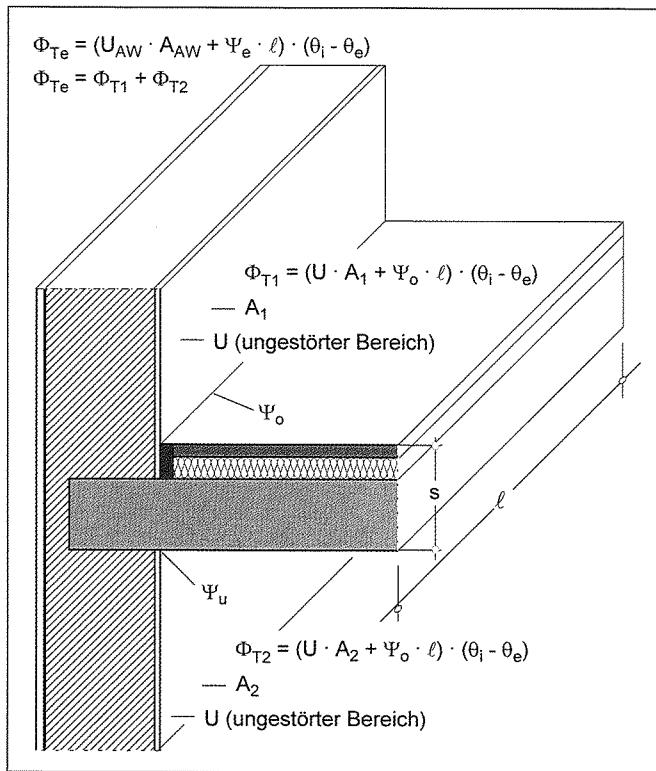
- $R_{si}$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ] Wärmeübergangswiderstand innen  
 $R_{se}$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ] Wärmeübergangswiderstand außen  
 $d$  [m] Dicke jeder Schicht  
 $\lambda$  [ $\text{W}/(\text{mK})$ ] Wärmeleitfähigkeit jeder Schicht

Die Wärmeübergangswiderstände können **Tabelle 3.6** entnommen werden.

Berechnungen von  $U$ -Werten für wärmeschutztechnische Nachweise sind die Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit gem. DIN 4108-4 [14] zugrunde zulegen. Die Definition der Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi$  (zum Teil auch lineare Wärmedurchgangsko-

**Tabelle 3.6:** Wärmeübergangswiderstände  $R$  (DIN 6946) [13]

| Wärmeübergangswiderstand                          | Richtung des Wärmestroms |            |         |
|---|--------------------------|------------|---------|
|   | aufwärts                 | horizontal | abwärts |
| innen $R_{si} = 1/h_i$ [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] | 0,10                     | 0,13       | 0,17    |
| außen $R_{se} = 1/h_e$ [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] | 0,04                     | 0,04       | 0,04    |



**Bild 3.12:**  
Definition der Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\gamma$

effizienten genannt) sowie deren Umrechnung von Innen- auf Außenmaßbezug geht aus **Bild 3.12** hervor. Die dort genannte Gleichung aufgelöst führt zu dem Ergebnis

$$\Psi_e = \Psi_o + \Psi_u - U \cdot s$$

$\psi$ - und  $\chi$ -Werte finden sich in [15, 16, 17] wobei dort für  $\psi$  die Abkürzung  $WBV_p$  und für  $\chi$  die Abkürzung  $WBV_p$  Verwendung findet. Für alle Musterlösungen gem. Beiblatt 2 zu DIN 4108 [18] sind die  $\psi$ -Werte für umfangreiche Parametervariationen in [19] enthalten.

Aus den temperaturspezifischen Transmissionswärmeverlusten lassen sich, je nach Bilanzierungszeitraum, entweder über Gradtagzahlen die jährlich, oder über die anliegenden Temperaturdifferenzen und Zeiträume monatlich auftretenden Transmissionswärmeverluste bestimmen.

### 3.5.2 Lüftungswärmeverluste

Die Lüftungswärmeverluste eines Raumes betragen pro K Temperaturdifferenz

$$H_V = \dot{V} \cdot (c \cdot p)_{\text{Luft}}$$

mit

$\dot{V}$  [m³/h] Luftvolumenstrom

$(c \cdot p)_{\text{Luft}}$  [Wh/(m³K)] volumenbezogene Wärmekapazität der Luft

Statt des Volumenstroms  $\dot{V}$  wird zur Kennzeichnung meist der Luftwechsel  $n$

$$n = \dot{V} / V$$

mit

$V$  [m³] belüftetes Volumen

herangezogen. Der Luftwechsel  $n$  variiert je nach Nutzerverhalten, meteorologischen und raumklimatischen Randbedingungen und Gebäudedichtheit. Häufig wird der Gesamtluftwechsel in einen

- Ventilationsanteil  $n_V$  und einen
- Infiltrationsanteil  $n_i$

aufgesplittet.

Ist aus einer Dichtheitsprüfung der  $n_{50}$ -Wert bekannt, kann für die Heizperiode ein mittlerer Luftwechsel aus folgender Gleichung gewonnen werden [20]

$$\dot{V}_x = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e}{1 + f \cdot \left[ \frac{\dot{V}_S - \dot{V}_E}{V \cdot n_{50}} \right]^2}$$

mit

$n_{50}$  [h⁻¹] Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz

$e, f$  [-] Windschutzkoeffizienten

$\dot{V}_S, \dot{V}_E$  [m³/h] Zu- und Abluftvolumenstrom Lüftungssystem

Für die Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs gem. DIN V 4108-6 bzw. wird  $n = 0,7$  bzw. bei nachgewiesener Dichtheit mit  $0,6 \text{ h}^{-1}$  angesetzt.

### 3.5.3 Wärmespeicherfähigkeit

#### 3.5.3.1 Prinzipielle Effekte

Hinsichtlich der Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizwärmebedarf ist bekanntermaßen prinzipiell zwischen zwei gegenläufigen Phänomenen zu unterscheiden: Bei instationärem Heizbetrieb, wie z. B. einer Nacht- und Wochenendabsenkung bzw. -schaltung kühlte ein Gebäude mit geringerer Wärmespeicherfähigkeit rascher aus als ein Gebäude mit hoher Wärmespeicherfähigkeit, wodurch die Raumtemperaturen im Mittel gegenüber einem Gebäude mit hoher Wärmespeicherfähigkeit abgesenkt werden und sich tiefere Transmissions- und Lüftungswärmeverluste einstellen. Demgegenüber führen rasch ansteigende Sonneneinstrahlungsintensitäten oder interne Wärmequellen zu Wärmegewinnen, die die Heizlast erheblich mindern und auch komplett kompensieren können, wodurch bei Gebäuden mit geringer Wärmespeicherfähigkeit

höhere Temperaturüberschreitungen (Überheizungen) auftreten, als bei Gebäuden mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit. Hieraus resultieren im Tagesmittel und über die Heizperiode gerechnet, höhere mittlere Raumtemperaturen, die bei Gebäuden mit geringer Wärmespeicherfähigkeit zu größeren Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten führen, d. h., die Energiegewinne können weniger gut genutzt werden als bei einer Schwerbauart [21, 22, 23, 24, 25, 26].

Für ein freistehendes Einfamilienhaus wird in [25] der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizwärmebedarf an Hand von fünf typischen Bauarten für drei unterschiedliche Wärmeschutzniveaus untersucht. Das Wärmeschutzniveau I entspricht dabei den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1984, das Anforderungsniveau II der Wärmeschutzverordnung '95, das Anforderungsniveau III geht über die Anforderungen der Energieeinsparverordnung hinaus. **Tabelle 3.7** enthält die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile und die Gesamtenergiedurchlassgrade der Verglasungen. Die wesentlichen Ergebnisse sind in **Tabelle 3.8** zusammengefasst. Unter

**Tabelle 3.7:** Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile und Gesamtenergiedurchlassgrade der Verglasungen der betrachteten Wärmeschutzniveaus [25]

| Außenbauteil | Wärmeschutzniveau |            |            |
|--------------|-------------------|------------|------------|
|              | I                 | II         | III        |
| Dach         | 0,32              | 0,25       | 0,17       |
| Außenwände   | 0,51              | 0,36       | 0,21       |
| Fenster      | 2,6 (0,75)        | 1,7 (0,62) | 0,8 (0,40) |
| Kellerdecke  | 0,69              | 0,51       | 0,34       |
| Haustür      | 1,6               | 1,6        | 1,6        |

**Tabelle 3.8:** Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktion, dem Wärmeschutzniveau und der Nutzung [25]

| Nutzung               | Jahres-Heizwärmebedarf kWh/(m <sup>2</sup> a) |       |               |            |        |
|-----------------------|---|-------|---------------|------------|--------|
|                       | Beton   | Holz  | Kalksandstein | Porenbeton | Ziegel |
|                       | Wärmeschutzniveau I                           |       |               |            |        |
| Standard              | 103,1   | 102,6 | 102,0         | 101,2      | 101,4  |
| 24 h                  | 105,9   | 197,5 | 105,6         | 106,4      | 105,7  |
| 20 °C                 | 95,9  | 99,0  | 96,0          | 96,3       | 96,0   |
| 20 °C/24 h            | 105,5   | 108,8 | 105,9         | 106,8      | 106,2  |
| Wärmeschutzniveau II  |   |       |               |            |        |
| Standard              | 81,5  | 81,6  | 81,0          | 81,3       | 80,8   |
| 24 h                  | 84,0  | 86,6  | 84,6          | 86,0       | 84,8   |
| 20 °C                 | 79,0  | 80,9  | 79,1          | 79,6       | 79,1   |
| 20 °C/24 h            | 86,1  | 88,5  | 86,4          | 87,4       | 86,6   |
| Wärmeschutzniveau III |   |       |               |            |        |
| Standard              | 24,1  | 24,9  | 24,2          | 24,8       | 24,3   |
| 24 h                  | 26,0  | 26,8  | 26,2          | 26,8       | 26,3   |
| 20 °C                 | 23,8  | 24,6  | 23,9          | 24,1       | 23,9   |
| 20 °C/24 h            | 25,6  | 26,6  | 25,7          | 26,1       | 25,8   |

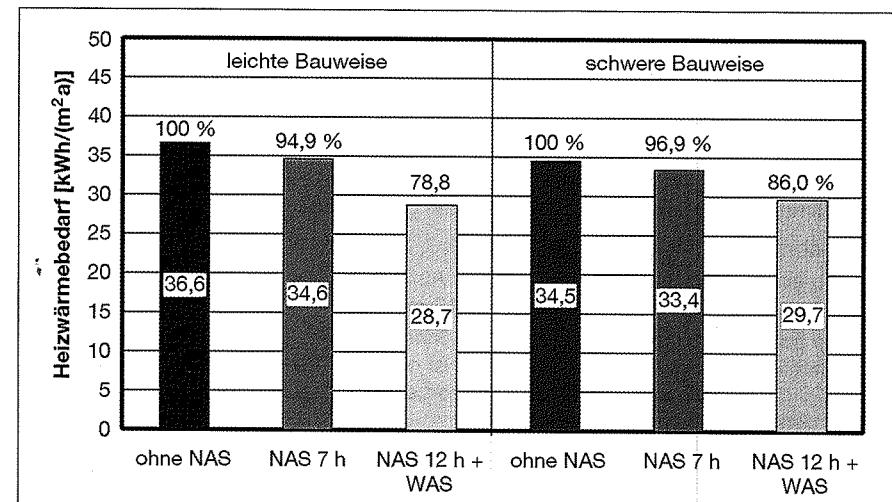
"Standard" finden sich die Ergebnisse unter Zugrundelegung üblicher, unterschiedlicher Solltemperaturen in den einzelnen Räumen des Gebäudes mit NachtabSENKUNG. Unter "24 Stunden" wird auf die NachtabSENKUNG verzichtet und unter "20 °C" wird auf die Zonierung verzichtet, d. h., die Solltemperatur beträgt jeweils während der Nutzungszeit "20 °C" mit NachtabSENKUNG und "20 °C/24 Stunden" beinhaltet den gleichen Fall ohne NachtabSENKUNG.

Es zeigt sich, dass bei dem künftig bedeutsamen Wärmeschutzniveau zwischen II und III die maximalen Unterschiede zwischen den einzelnen Bauarten bei 3,7 % liegen, wobei die Ausführung mit der höchsten Wärmespeicherfähigkeit zu dem geringsten Jahres-Heizwärmebedarf führt.

Größenordnungsmäßig die gleichen Ergebnisse wurden im Rahmen einer Studie [27] gewonnen, bei der neben einem freistehenden Einfamilienhaus, ein Reihenmittel- und ein Reihenendhaus sowie ein Mehrfamilienhaus betrachtet wurde. Auch dort liegen die Minderungen durch eine hohe Wärmespeicherfähigkeit gegenüber einer Ausführung mit geringer Wärmespeicherfähigkeit in der Größenordnung zwischen 1,8 und 3,2 %.

Durch die Einbeziehung der Anlagentechnik und somit den Übergang vom Heizwärme- auf den Heizenergiebedarf ändert sich diese Aussage nicht. So wurden z. B. für das freistehende Einfamilienhaus mit einem Niedertemperaturkessel 70/55 auch unter Einbeziehung der Übergabe- und Erzeugungsverluste Gesamtaufwandszahlen für eine sehr schwere und eine sehr leichte Bauart ermittelt, die sich nur um 1/100 unterscheiden und für den Fall mit NachtabSENKUNG kleiner sind als für den Fall ohne. Somit wächst die Bedeutung der NachtabSENKUNG durch den Übergang vom Wärme- zum Energiebedarf geringfügig an. Die Aussage hinsichtlich des Einflusses der Wärmespeicherfähigkeit hingegen bleibt.

Bei Büro- und Verwaltungsbauten kann die Phase der Temperaturabsenkung gegenüber Wohnungsbauten erheblich verlängert werden und es ergeben sich durch Nacht-



**Bild 3.13:** Grafische Darstellung des Einflusses der NachtabSENKUNG auf den Jahres-Heizwärmebedarf bei leichter und schwerer Ausführung eines Bürogebäudes [28]

und Wochenendabschaltung größere Einsparpotentiale. So wird z. B. bei einer bürotypischen Nutzung von 7.00–17.00 Uhr von Montag bis Freitag und einer Beibehaltung einer Mindestsolltemperatur von 14 °C außerhalb der Nutzungzeit bei einer leichten Bauart durch Abschaltung der Heizung eine Einsparung von 21,2 und bei einer schweren Bauart von 14 % erzielt, wie Bild 3.13 zeigt [28]. Hier führt die geringere Wärmespeicherfähigkeit zu einem kleineren Heizwärmebedarf.

### 3.5.3.2 Ausnutzungsgrad

Die Quantifizierung der nutzbaren solaren- und internen Wärmegewinne erfolgt in DIN V 4108-6 [12] über einen Ausnutzungsgrad, der beim Monatsbilanzverfahren vom Wärmegewinn/Wärmeverlust-Verhältnis abhängig ist. Dabei ist die wirksame Wärmespeicherfähigkeit für

- leichte Gebäude mit  $C_{wirk} = 15 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot V_e$
- schwere Gebäude mit  $C_{wirk} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot V_e$

anzusetzen.

$V_e$  beinhaltet das Bruttovolumen des Gebäudes.

Eine genauere Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit kann auch auf folgendem Wege erfolgen:

$$C_{wirk} = \sum_i (c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i)$$

mit

- c [Wh/(kg K)] spez. Wärmekapazität
- $\rho$  [kg/m³] Rohdichte
- d [m] wirksamen Schichtdicke
- A [m²] Bauteilfläche

Die Summation erfolgt über alle Bauteilflächen des Gebäudes, die mit der Raumluft in Berührung kommen, wobei nur die wirksamen Schichtdicken  $d_i$  berücksichtigt werden. Zur Bestimmung der wirksamen Schichtdicken gelten folgende Regelungen:

- bei Schichten mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_i \geq 0,1 \text{ W}/(\text{mK})$ 
  - die einseitig an Raumluft grenzen, gilt: Aufsummierung aller Schichten bis zu einer max. Gesamtdicke von  $d_{i,\max} = 0,10 \text{ m}$ ;
  - die beidseitig an die Raumluft grenzen (Innenbauteile), gilt: halbe Bauteildicke bei einer Schicht, wenn die Dicke  $\leq 20 \text{ cm}$  ist oder höchstens 10 cm, wenn die Dicke  $> 20 \text{ cm}$  ist. Bei mehreren Schichten: Vorgehensweise wie zuvor beschrieben, allerdings beidseitig angewendet.
- bei raumseitig vor Wärmedämmenschichten (z.B. Estrich auf einer Wärmedämmenschicht) liegenden Schichten mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_i \geq 0,1 \text{ W}/(\text{mK})$  dürfen nur die Dicken der Schichten bis max. 10 cm in Ansatz gebracht werden. Als Wärmedämmenschicht gelten Baustoffe mit Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda_i < 0,1 \text{ W}/(\text{mK})$  und einem Wärmedurchlasswiderstand  $R_i > 0,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

Bei Außenbauteilen wird die Fläche  $A_f$  über Außenmaße (Bruttofläche) und bei Innenbauteilen über die Innenmaße (Nettofläche) bestimmt.

Für eine detailliertere Betrachtung sind Hinweise in DIN EN 13786 [29] enthalten.

### 3.5.3.3 Nachabsenkung

Die Energieeinsparung durch Nachabsenkung wird beim Monatsbilanzverfahren über ein detailliertes Berechnungsverfahren ermittelt, wobei die wirksame Wärmespeicherfähigkeit für

- leichte Gebäude mit  $C_{wirk,NA} = 12 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot V_e$
- schwere Gebäude mit  $C_{wirk,NA} = 18 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot V_e$

anzusetzen ist, falls nicht eine detaillierte Erfassung erfolgt. Bei der Bestimmung der Wärmespeicherfähigkeit gem. des oben dargestellten Ansatzes der DIN V 4108-6 ist zu beachten, dass hier nur mit einer wirksamen Dicke der an die Raumluft angrenzenden Schichten von höchstens 3 cm gerechnet wird.

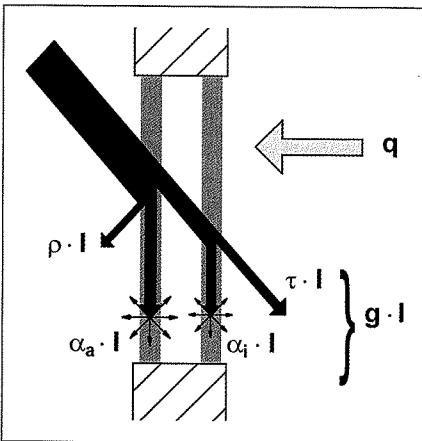
Die Heizunterbrechungsdauer ist bei Wohngebäuden mit 7 Stunden anzusetzen. Bei Büro- und Verwaltungsgebäuden ist aufgrund der verlängerten Nachabsenkung und der Wochenendabsenkung eine verlängerte Heizunterbrechungsdauer zu berücksichtigen. Um die über dynamische Simulationsrechnungen ermittelten Einsparungen auch mittels der Monatsbilanzierung gem. DIN V 4108-6 zu erhalten, muss die äquivalente Absenkungsdauer für

- leichte Gebäude mit  $t_u = 11 \text{ h}$
- schwere Gebäude mit  $t_u = 10 \text{ h}$  angesetzt werden. Hieraus wird der Vorschlag abgeleitet, bei Büro- und

**Tabelle 3.9:** Gegenüberstellung der durch Simulation und gem. DIN V 4108-1 errechneten Jahres-Heizwärmeverbrauchswerte mit und ohne Nachabsenkung

| Gebäudetyp                       |   | Jahres-Heizwärmeverbrauch in [kWh/(m²a)] |                        |                          |
|----------------------------------|---|--|------------------------|--------------------------|
|                                  |   | Schwerbauart                             | Leichtbauart           | Abweichung               |
|                                  |   | ohne Nachabsenkung                       | mit Nachabsenkung      | Abweichung               |
| freistehendes<br>Einfamilienhaus | Simulation<br>Monatsbilanzverfahren <sup>1)</sup> | 57,3<br>58,8<br>-2,6 %                   | 51,6<br>54,5<br>-5,6 % | 9,9 %<br>7,3 %<br>-1,8 % |
|                                  | Abweichung  |  |                        | 53,2<br>55,1<br>-3,6 %   |
| Reihen-<br>mittelhaus            | Simulation<br>Monatsbilanzverfahren <sup>1)</sup> | 45,8<br>48,4<br>-5,6 %                   | 41,7<br>45,5<br>-9,3 % | 9,1 %<br>6,0 %<br>-5,5 % |
|                                  | Abweichung  |  |                        | 42,7<br>45,9<br>-7,3 %   |
| Reihen-<br>endhaus               | Simulation<br>Monatsbilanzverfahren <sup>1)</sup> | 55,1<br>56,1<br>-1,9 %                   | 49,9<br>52,6<br>-5,4 % | 9,3 %<br>6,2 %<br>-1,8 % |
|                                  | Abweichung  |  |                        | 57,0<br>58,0<br>-3,1 %   |
| Wohnung<br>$f_F = 25\%$          | Simulation<br>Monatsbilanzverfahren <sup>1)</sup> | 30,0<br>26,7<br>11,0 %                   | 28,2<br>25,3<br>10,3 % | 5,9 %<br>5,2 %<br>7,0 %  |
|                                  | Abweichung  |  |                        | 28,7<br>26,6<br>7,3 %    |

<sup>1)</sup> Monatsbilanzverfahren gem. Entwurf DIN 4108-6 April 2000



**Bild 3.14:** Sonneneinstrahlung bei Verglasungen und Definition des Gesamtenergiedurchlassgrades

wie er in **Bild 3.14** definiert ist. Die Wärmestromdichte  $q$  durch die Verglasung ergibt sich dann zu

$$q = U_g \cdot (\theta_i - \theta_e) - g \cdot I$$

$$g = \tau + U \cdot \left( \frac{\alpha_a + \alpha_i}{h_e} + \alpha_i \cdot R \right)$$

mit

|                           |     |   |
|---------------------------|-----|---|
| $g$                       | [·] | wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad            |
| $\theta_i, \theta_e$ [°C] |     | Lufttemperatur innen und außen                  |
| $I$ [W/m²]                |     | Strahlungsintensität                            |
| $U_g$ [W/m²K]             |     | Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung       |
| $\tau$ [-]                |     | Transmissionsgrad                               |
| $\alpha_a, \alpha_i$ [-]  |     | Absorptionsgrad der äußeren und inneren Scheibe |
| $h_e$ [W/(m²K)]           |     | Wärmeübergangskoeffizient außen                 |
| $R$ [m²K/W]               |     | Wärmedurchlasswiderstand der Verglasung         |

Der  $g$ -Wert von Zweischeibenklarglas-Isolierverglasungen liegt bei ca. 0,75 und bei Wärmeschutzverglasungen bei ca. 0,6.

Bei opaken Bauteilen, wie üblichen Außenwänden und Dächern kann nach gleichem Ansatz ein  $g$ -Wert definiert werden (**Bild 3.15**)

$$g = U \cdot \alpha_s / h_e$$

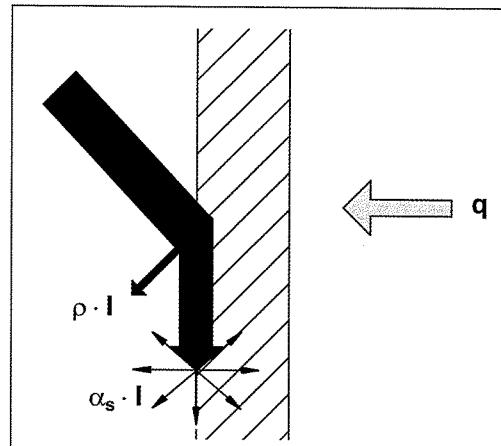
mit

|                 |  |
|-----------------|--|
| $\alpha_s$ [-]  | Absorptionsgrad für Sonneneinstrahlung |
| $h_e$ [W/(m²K)] | Wärmeübergangskoeffizient außen        |

Die bei opaken gegenüber transparenten Bauteilen wesentlich geringere Nutzungsmöglichkeit von Sonneneinstrahlung wird offenkundig.

Die Quantifizierung der passiven Solarenergiegewinne über Fenster und opake Außenbauteile kann alternativ getrennt von den Verlusten oder bei der Bestimmung der Verluste erfolgen.

Die Wärmestrome  $\Phi_s$ , die durch Fenster und opake Außenbauteile in das Gebäude gelangen, werden gem. DIN V 4108-6 bestimmt. Bei opaken Außenbauteilen wird die langwellige Abstrahlung mit berücksichtigt.



**Bild 3.15:** Sonneneinstrahlung bei opaken Bauteilen

$$\text{transparent: } \Phi_s = \sum I_i \cdot F_{s,i} \cdot F_{C,i} \cdot F_{F,i} \cdot g_i \cdot A_i$$

$$\text{opak: } \Phi_s = \sum A_i \cdot U_i \cdot R_e \cdot (\alpha_{s,i} \cdot I_i - F_{f,i} \cdot h_{r,i} \cdot \Delta\theta_{er})$$

mit

|                         |  |
|-------------------------|--|
| $I$ [W/m²]              | Strahlungsintensität                                   |
| $F_s, F_c$ [-]          | Minderungsfaktor infolge Verschattung und Sonnenschutz |
| $F_F$ [-]               | Minderungsfaktor infolge Rahmenanteil                  |
| $g$ [-]                 | wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad                   |
| $A$ [m²]                | Fläche des Bauteils                                    |
| $U$ [W/(m²K)]           | Wärmedurchgangskoeffizient                             |
| $R_e$ [m²K/W]           | Wärmeübergangswiderstand außen                         |
| $\alpha_{s,i}$ [-]      | Absorptionsgrad des opaken Bauteils                    |
| $F_f$ [-]               | Formfaktor   |
| $h_r$ [W/(m²K)]         | äußerer Abstrahlungskoeffizient                        |
| $\Delta\theta_{er}$ [K] | Temperaturdifferenz Außenluft/Himmel                   |

### 3.6 Planungs- und Ausführungsempfehlungen für den baulichen Wärmeschutz

Grundlage eines guten baulichen Wärmeschutzes bildet die Ausführung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche mit Bauteilen, die kleine Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen (s.a. Kap. 3.3.2). Die Dimensionierung des Wärmeschutzes erfolgt i.d.R. auf Basis der Anforderungen im öffentlich rechtlichen Nachweis (EnEV) oder An-

forderungen aus Förderprogrammen (z.B. KfW-Programme). Als Orientierungswerte für Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen können folgenden Angaben herangezogen werden.

Für monolithische Außenwände resultieren unter Verwendung von Mauerwerk mit kleinen Wärmeleitfähigkeiten ( $\lambda \leq 0,15 \text{ W}/(\text{mK})$ ) U-Werte von unter  $0,35 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Wärmedämmte Außenwandkonstruktionen (Wärmedämmverbundsysteme, zweischalige Ausführung oder Holzbau) weisen mit Dämmstärken von 14 bis 20 cm U-Werte im Bereich von 0,2 bis  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf. Im Bereich des Daches – Steildächer, Flachdächer, oberste Geschossdecken – liegen bei Einsatz von Dämmungen mit 18 bis 25 cm Dicke die U-Werte zwischen rd. 0,17 und  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der untere Gebäudeabschluss (Kellerdecke oder Bodenplatte) hat bei einer Dämmstärke um 10 cm einen U-Wert von rd.  $0,35 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Fenster mit Wärmedämmglas (2 oder 3 Scheiben) weisen U-Werte von rd. 1,0 bis  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf.

Über die Realisierung eines guten baulichen Wärmeschutzes mit den zuvor genannten Komponenten hinaus, ist die wärmeschutztechnischen Ausbildung von Anschlussdetails zunehmend zu beachten.

### 3.6.1 Wärmebrücken

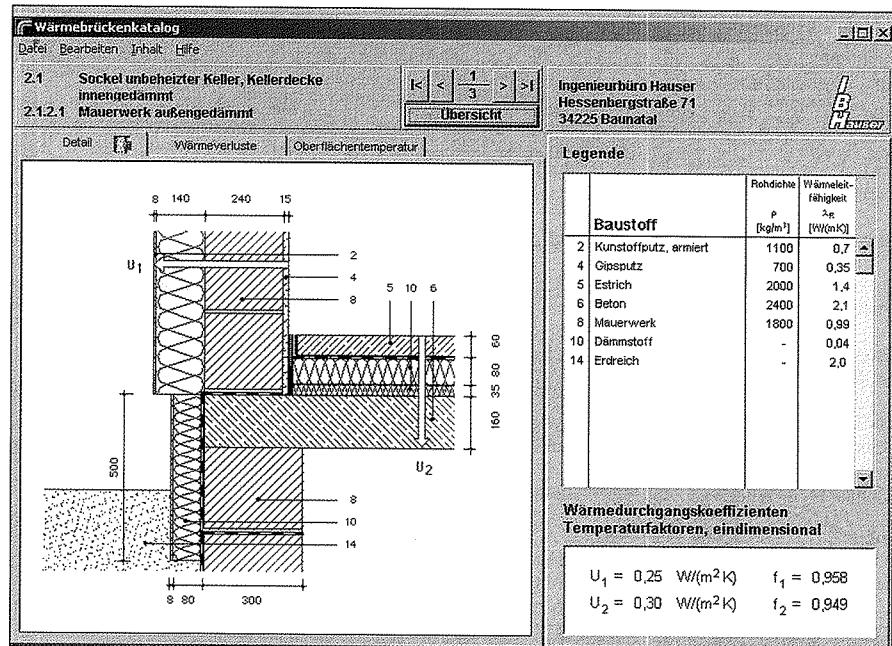
Die Planung und Ausführung von Anschlussdetails mit kleiner Wärmebrückeneinwirkung wirkt sich in zweierlei Hinsicht aus. Zum einen werden die Transmissionswärmeverluste reduziert (siehe Kapitel 3.3), zum anderen resultieren höhere raumseitige Oberflächentemperaturen im Bereich des Anschlusses. Mit reduzierten Wärmeverlusten geht somit eine Baukonstruktion, die weniger bauschadensanfällig ist einher.

Das Prinzip der Vermeidung von Wärmebrücken bzw. Verringerung der Wärmebrückeneinwirkung basiert darauf, dass möglichst keine Durchdringungen des Regelquerschnittes vorhanden sind (z. B. Stahlträger oder Betonstützen) und dass außen liegende Dämmschichten die Anschlussbereiche überlappen (s. Beispiel der Kellerdeckeneinbindung in Bild 3.16).

Konstruktive Lösungen für eine größere Anzahl von Anschlussdetails finden sich in DIN 4108, Beiblatt 2 [18]. Die in dem Beiblatt aufgeführten Empfehlungen für Bauteilanschlüsse sind durch den Wärmebrückerverlustkoeffizienten (siehe Kapitel 3.3) gekennzeichnet, und somit besteht die Möglichkeit, bei abweichenden Konstruktionsprinzipien äquivalente wärmeschutztechnische Lösungen zu bestimmen. Werden die in dem Beiblatt 2 aufgeführten Konstruktionen konsequent bei Planung und Ausführung umgesetzt, so darf ein entsprechender Bonus im Zuge des Nachweisverfahrens der EnEV in Ansatz gebracht werden. Für weitere wärmeschutztechnische Optimierungen von Anschlussdetails kann als Planungshilfsmittel der Wärmebrückenkatalog [19] herangezogen werden, in dem die Empfehlungen gem. DIN 4108, Beiblatt 2 und darüber hinaus weitere Anschlusslösungen aufgenommen sind (Bild 3.16 und Bild 3.17).

### 3.6.2 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Beim Einsatz von Lüftungsgeräten, insbesondere in Kombination mit einer Wärmerückgewinnungsanlage, wird offensichtlich, dass eine luftdichte Ausführung der Gebäudehülle unumgänglich ist. Bei dem Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung ist es erforderlich, einen definierten Luftvolumenstrom über den Wärmeaustauscher zu erreichen. Leckageströme, die durch zufällige Undichtheiten in der Gebäudehülle auftreten können, führen zu einer geringeren Effizienz der Wärmerückgewinnung und der daraus folgenden abnehmenden Akzeptanz beim Nutzer der Anlage. Neben den ener-



**Bild 3.16:** Vermaßtes Anschlussdetail mit Angabe der Baustofflegende sowie der Wärmedurchgangskoeffizienten und Temperaturfaktoren im Regelquerschnitt [19]

getischen Aspekten ist weiterhin die potentielle Bauschadensanfälligkeit der undichten Gebäudehülle zu beachten. Gelangt infolge eines vorhandenen Überdruckes im Gebäude feuchtwarme Luft in eine Konstruktion, kann es dort sehr schnell zu einer unzulässigen Feuchteansammlung kommen, die dann zu Bauschäden führt. Schließlich muss auch das Behaglichkeitsempfinden betrachtet werden, welches durch eventuell auftretende Zugerscheinungen stark beeinträchtigt werden kann.

Um den zuvor genannten Aspekten der Notwendigkeit einer luftdichten Gebäudehülle Rechnung zu tragen, sind in DIN 4108-7 "Luftdichtheit von Bauteilen und Anschläüssen" [12] Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele dargestellt. Die Norm gibt Hinweise auf zu verwendende Materialien, Ausführungen von Konstruktionen, die dichte Regelquerschnitte aufweisen und Ausführungen zu Fugen und Durchdringungen. Weiterhin werden generelle Planungsempfehlungen und darüber hinaus auch Detailanschlüsse dargestellt. Ein weiterer, wesentlicher Punkt ist, dass über die Forderungen der "gemäß dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig" dicht zu schließenden Fugen auch zahlenmäßige Anforderungen an die Dichtigkeit von Gebäuden festgeschrieben sind. Es sind die Anforderungen für zwei Kenngrößen, die unterschiedliche Bezüge aufweisen, formuliert. Diese Kenngrößen sind allgemein unter den Bezeichnungen  $n_{50}$ -Wert bzw.  $NBV_{50}$ -Wert bekannt. In der Norm werden die Begriffe allerdings nicht explizit genannt. Es wird ausgeführt, dass bei Gebäuden mit natürlicher Lüftung, also Lüftung über Fenster und Türen, ein – bezogen auf die Netto-Grundfläche – maximaler Luftwechsel von  $7,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$  – bezogen auf das Raumluftvolumen – ein maximaler Luftwechsel von  $3 \text{ h}^{-1}$  bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen

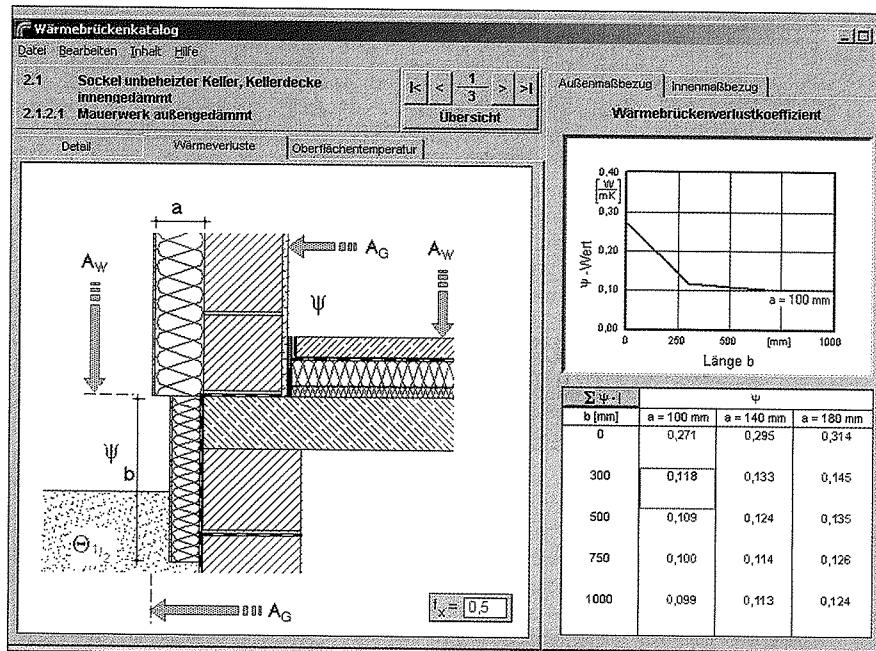


Bild 3.17: Wärmebrückenverlustkoeffizienten für verschiedene Parametervariationen [19]

von 50 Pa auftreten darf. Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen (auch einfache Abluftanlagen) dürfen diese Werte  $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$  bzw.  $1 \text{ h}^{-1}$  nicht überschreiten.

Zur Einhaltung der zuvor genannten Dichtheitsanforderungen sollte grundsätzlich bei der Planung eines Gebäudes ein Luftdichtheitskonzept vorliegen. Dieses Konzept basiert auf der Art und Ausführung des Gebäudes. So kann das Konzept durchaus unterschiedlich sein, wenn es sich bei dem Gebäude entweder um ein Massiv- oder ein Holzhaus handelt. Es muss möglichst frühzeitig entschieden werden, ob die luftdichtende Schicht der Gebäudehülle innen, außen, oder aber in der Konstruktion verläuft. Besondere Beachtung finden jeweils die Übergänge, die bei wechselnden Materialien auftreten, beispielsweise beim Übergang der massiven Wand hin zum Holzdach. Hier sind generell die größten Probleme zu erwarten, da auch die Dichtungsebenen unterschiedlich verlaufen können. Prinzipiell sollte darauf geachtet werden, dass Überlappungen auf ein Minimum reduziert werden, dass Fugen dauerhaft luftdicht ausgeführt werden und dass die Anzahl von Durchdringungen der Konstruktion möglichst weit reduziert wird. Der letztgenannte Punkt führt dazu, dass in Leichtbaukonstruktionen, die eine luftdichtende Schicht mit einer Folie realisiert haben, beispielsweise das Holzdach oder auch die Außenwand einer Holzkonstruktion, möglichst eine sogenannte Installationsebene vorgesehen werden sollte. Beim Einsatz von Luftdichtheitsschichten ist insbesondere darauf zu achten, dass Klebeverbindungen mit möglichst dauerhafter Klebewirkung Verwendung finden. Eine Kennzeichnung zur Beschreibung der Güte von Klebeverbindungen und somit die Beurteilung von geeigneten Produkten steht in Kürze zur Verfügung [31].

## Literatur

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16. Nov. 2001. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr.59 (21. Nov. 2001), S. 3085-3102.
- [2] [www.umweltministerium.bayern.de/service/umwberat/ubbkli.htm](http://www.umweltministerium.bayern.de/service/umwberat/ubbkli.htm)
- [3] BMWi, Energiedaten 2000
- [4] Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme ( GEMIS ), Version 2.1, Öko-Institut Darmstadt, Freiburg, Berlin, Kassel. Herausgeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten.
- [5] Statistisches Bundesamt (Hrgs.): Datenreport 1999. Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland. Bonn 2000
- [6] VDEW (1993), Aus Stromthemen 12 (1995), Nr. 12, S. 3.
- [7] Hauser, G.: Beeinflussung des Innenklimas durch Außenwände und durch Wintergärten. Bauphysik 9 (1987), H.5, S.155-162; Glaswelt 41 (1988), H.10, S.12-16, H.11, S.52-56.
- [8] Hauser, G. und Otto, F.: Auswirkungen eines erhöhten Wärmeschutzes auf die Behaglichkeit im Sommer. Bauphysik 19 (1997), H.6, S.169-176; 21. Internationaler Velta Kongreß '99, S. 39-53.
- [9] Hauser, G. und Otto F.: Niedrigenergiehäuser - bauphysikalische Entwurfsgrundlagen. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Reihe 1, Teil 3, Folge 2, Oktober 1994.
- [10] Maas, A., Hauser, G. und Höttges, K.. Die Energieeinsparverordnung. Bauphysik 24 (2002), H.1, S. 26-38.
- [11] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. (Aug.2001)
- [12] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Berechnung des Jahres-Heizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. (Jun 2003)
- [13] DIN EN ISO 6946: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren. (ISO 6946:1996); Deutsche Fassung EN ISO 6946:1996-11.
- [14] DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte (Okt.1998).
- [15] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag Wiesbaden, 1990, 2. durchgesehene Auflage 1993.
- [16] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau. Bauverlag Wiesbaden, 1992.
- [17] Hauser, G.; Schulze, H. und Stiegel, H.: Wärmetechnische Optimierung von Anschlußdetails bei Niedrigenergiehäusern und Erarbeitung von Standardlösungen. IRB-Verlag Stuttgart 1996
- [18] DIN 4108 Bbl. 2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden: Wärmebrücken- Planungs- und Ausführungsbeispiele (Jan. 2004).
- [19] Hauser, G., Stiegel, H. und Haupt, W.: Wärmebrückenkatalog auf CD-ROM. Ingenieurbüro Hauser, Baunatal 1998.
- [20] DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude. Deutsche Fassung EN 832:1998-12.
- [21] Hauser, G.: Vergleich des jährlichen Wärme- und Energieverbrauchs von Einfamilienhäusern in Leicht- und Schwerbauweise. Bundesbaublatt 33 (1984), H. 2, S.120-124; Bauen mit Holz 86 (1984), H. 5, S. 293-297; wksb 29 (1984), H. 18, S. 10-15.
- [22] Hauser, G.: Einfluß des Wärmedurchgangskoeffizienten und der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen auf den Heizenergieverbrauch von Gebäuden. - Literaturstudie. Bauphysik 6 (1984), H. 5, S. 180-186, H. 6, S. 207-213.
- [23] Hauser, G.: Einfluß der Baukonstruktion auf den Heizwärmeverbrauch. Beckert, Mechel, Lamprecht: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt: Beton-Verlag (1986), S. 405-417.
- [24] Hauser, G., Otto, F. und Stiegel, H.: Einfluß von Baustoff und Baukonstruktion auf den Wärmeschutz von Gebäuden - Jahres-Heizwärmeverbrauch und sommerliches Wärmeverhalten -. Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Wiesbaden, Sept. 1995, 2. überarbeitete Fassung Sept. 1997
- [25] Hauser, G. und Otto, F.: Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit auf Heizwärmeverbrauch und sommerliches Wärmeverhalten. db 134 (2000), H. 4, S. 113-118.

- [26] Hauser, G. und Otto, F.: Wärmespeicherfähigkeit und Jahresheizwärmebedarf. Mikado (1997), H.4, S.18–22
- [27] Hauser, G. und Kempkes C.: Berücksichtigung der Wärmespeicherfähigkeit in der Energieeinsparverordnung 2000. Forschungsbericht des Ingenieurbüros Prof. Dr. Hauser GmbH, Baunatal, April 2000.
- [28] Hauser, G. und Kempkes, C.: Ermittlung einer äquivalenten Nachabsenkungsdauer für Bürogebäude. Forschungsbericht des Ingenieurbüros Prof. Dr. Hauser GmbH, Baunatal, März 2000.
- [29] pr EN ISO 13786 Wärmeschutz von Bauteilelementen - Thermische Trägheit - Berechnungsverfahren (1993).
- [30] DIN EN 410: Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen. Deutsche Fassung EN 410: 1998-12.
- [31] Maas, A. und Gross, R.: Untersuchungen zur Haltbarkeit von Klebeverbindungen für Luftdichtheitsschichten, 9. BlowerDoor-Symposium, Energie- und Umweltzentrum am Deister, Springe-Eldagsen, April 2004, S. 1–9.