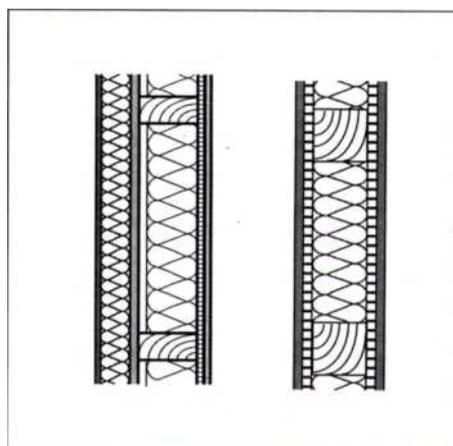
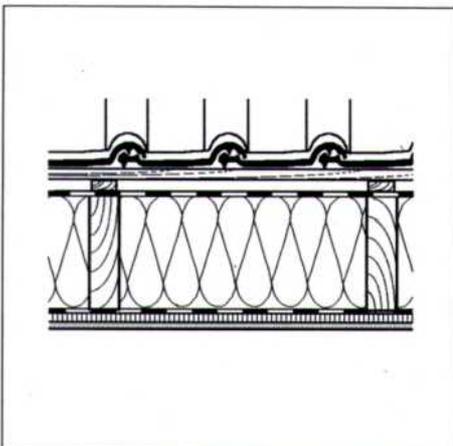
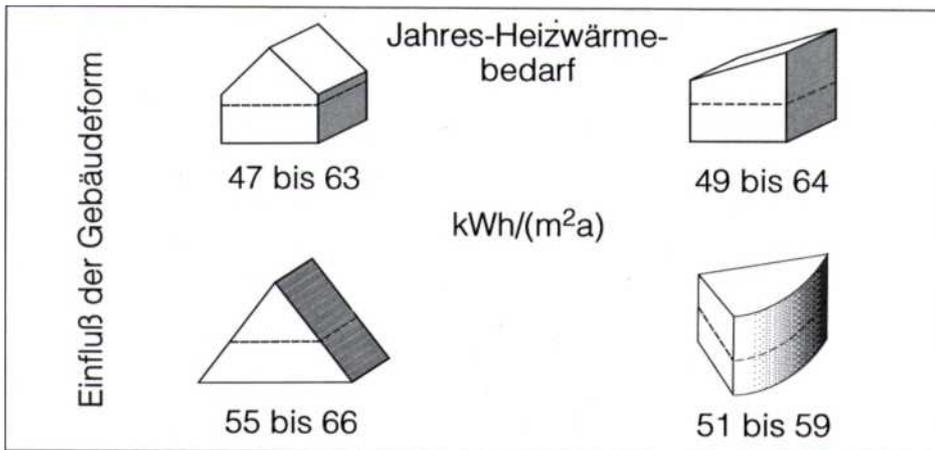


# INFORMATIONSDIENST **HOLZ**

## **Niedrigenergiehäuser - bauphysikalische Entwurfsgrundlagen**



|   |       |
|---|-------|
| <b>Inhalt</b>                                       | Seite |
| 1 Einführung  | 2     |
| 2 Bedeutung von Niedrigenergiehäusern               | 2     |
| 3 Energiesparkonzepte                               | 3     |
| 4 Bauliche Einflußgrößen                            | 3     |
| 4.1 Vorentwurfsplanung: Gebäudegeometrie            | 3     |
| 4.1.1 Randbedingungen und Annahmen                  | 4     |
| 4.1.2 Einfluß der Geometrie                         | 5     |
| 4.2 Ausführungsplanung                              | 8     |
| 4.2.1 Randbedingungen und Annahmen                  | 9     |
| 4.2.2 Wärmedämmung der Außenbauteile                | 10    |
| 4.2.3 Wirkung der Wärmebrücken                      | 10    |
| 4.2.4 Lüftung                                       | 10    |
| 4.2.5 Temporärer Wärmeschutz                        | 11    |
| 4.2.6 Gebäudeorientierung                           | 11    |
| 4.2.7 Fensterflächenanteil                          | 14    |
| 4.2.8 Verschattung                                  | 14    |
| 4.2.9 Farbgebung der Außenbauteile                  | 14    |
| 4.2.10 Transluzente Wärmedämmung                    | 14    |
| 4.2.11 Wintergärten                                 | 15    |
| 4.2.12 Einfluß der Bauart (Wärmespeicherefähigkeit) | 16    |
| 5 Haustechnik                                       |       |
| 5.1 Raumheizung                                     | 16    |
| 5.2 Lüftungstechnik                                 | 18    |
| 6 Einfluß der Nutzung                               |       |
| 6.1 Raumlufttemperaturniveau                        | 19    |
| 6.2 Intermittierende Nutzung                        | 19    |
| 6.3 Lüftungsverhalten                               | 20    |
| 6.4 Interne Wärmequellen                            | 20    |
| 7 Standort  | 20    |
| 8 Zusammenfassung                                   | 20    |
| 9 Literatur   | 23    |

## Impressum

Das **holzbau handbuch** ist eine gemeinsame Schriftenreihe von

- Arbeitsgemeinschaft Holz e. V., Düsseldorf
- Bund Deutscher Zimmermeister (BDZ) im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V., Bonn
- Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e. V., München

## 1 Einführung

Niedrigenergiehäuser sind heute bei Neubauten nahezu eine Selbstverständlichkeit, zumindest was die Zielvorgabe angeht. Selbst die Tagespresse bemächtigt sich dieses Themas und der Gesetzgeber fordert bei Neubauten wärmeschutztechnische Ausführungen, die bis zum Jahre 2000 dem Niedrigenergiehaus-Niveau entsprechen. Die Schritte auf dem Wege zu diesem Ziel sind jedoch in vielen Fällen unklar oder sogar divergierend. Deshalb sollen im weiteren die wesentlichen Elemente von Niedrigenergiehäusern in ihrer Wirkung quantifiziert werden, um auf diese Weise dem Planer Entscheidungen zu erleichtern und dem Ausführenden die Wirkung von Detailausbildungen darzulegen. Die Ausführungen konzentrieren sich dabei auf Einfamilienhäuser in Holzbauart. Im einzelnen handelt es sich um:

- Fertighäuser in Holztafel- und -skelettbauart
- Häuser in Holzrahmen- und -skelettbauart

Die Quantifizierung erfolgt über Simulationsrechnungen mit dem Programm HAUSer, das im Rahmen zahlreicher Forschungsarbeiten verifiziert und angewendet wurde. Eine ausführliche Erläuterung des Programms enthält [1-3]. Die Genauigkeit von Gebäudesimulationen ist bei den heute zur Verfügung stehenden, verifizierten Berechnungsmodellen im allgemeinen hoch. Insbesondere für Vergleichszwecke und für die Darstellung der Auswirkungen einzelner Einflußgrößen sind rechnerische Untersuchungen experimentellen überlegen.

## 2 Bedeutung von Niedrigenergiehäusern

Die Einführung von Niedrigenergiehäusern ist primär aus umweltschutztechnischen Gesichtspunkten erforderlich. Die Konditionierung unserer Gebäude - Beheizung, Kühlung, Belüftung, Be- und Entfeuchtung sowie Versorgung mit Licht - erfolgt zum Großteil über den Einsatz

von Energie, bei deren Erzeugung durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe Schadstoffe und CO<sub>2</sub> an die Umwelt abgegeben werden, die zu Umweltschäden an Pflanzen (Waldsterben) und Gebäuden (aggressive Niederschläge) und Klimaveränderungen (Treibhauseffekt) führen. Die Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" hat in umfangreichen Studien und Publikationen [4, 5] die Ursachen und Wirkungen, dieser Phänomene dargelegt.

Je nach Energieträger resultieren aus dem Energieverbrauch folgende Emissionen [5-9]:

|                                       |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Braunkohle                            | 0,40 kg CO <sub>2</sub> /kWh [5] |
| Steinkohle                            | 0,33 kg CO <sub>2</sub> /kWh [5] |
| Holz                                  | 0,36 kg CO <sub>2</sub> /kWh [6] |
| Heizöl                                | 0,29 kg CO <sub>2</sub> /kWh [5] |
| Erdgas                                | 0,19 kg CO <sub>2</sub> /kWh [5] |
| Fernwärme                             | 0,24 kg CO <sub>2</sub> /kWh [7] |
| Strom Mix-Wert bisherige Bundesländer | 0,56 kg CO <sub>2</sub> /kWh [8] |
| Strom Mix-Wert neue Bundesländer      | 1,10 kg CO <sub>2</sub> /kWh [9] |

Die fossilen Energieträger werden zum Großteil in Form von Erdöl, Erdgas und Kohle eingeführt. Hieraus resultiert eine Importabhängigkeit, welche durch das Schlagwort Opec-Kartell am markantesten verdeutlicht wird und zur Abhängigkeit ganzer Staaten führen kann.

Die Vorräte an Kohle, Öl, Gas und Uran sind begrenzt und reichen bei unveränderter Weltförderung, z. B. für Erdöl noch ca. 35 (sichere Reserven) bis 80 (geschätzte Reserven) Jahre [10]. Zur Daseinsvorsorge gehört deshalb ein möglichst sparsamer Umgang mit Energie. Das gewaltige Wachstum der Erdbevölkerung verschärft das Problem dramatisch.

Die Beheizung unserer Gebäude verursachte 1991 in Deutschland 32 % des gesamten Endenergieverbrauchs. Bezogen auf den Endenergieverbrauch der Haushalte (ohne Verbrauchssektor Verkehr) ergibt sich folgende Verteilung [11]:

### Technische Anfragen an:

Arbeitsgemeinschaft Holz e. V.  
Postfach 30 01 41  
40401 Düsseldorf  
Tel. : 0211-47 81 8-0  
Fax : 0211-45 23 14  
[eMail: argeholz@argeholz.de](mailto:argeholz@argeholz.de)  
<http://www.argeholz.de>

Erschienen: August 1994  
Unveränd. Nachdruck: September 1998  
ISSN-Nr. 0466-2114

|                     |      |
|---------------------|------|
| Raumwärme           | 76,5 |
| Warmwasser          | 12,0 |
| Mechanische Energie | 6,0% |
| Prozeßwärme         | 4,0% |
| Licht               | 1,5  |

Somit kommt dem Bereich Raumwärme eine sehr große Bedeutung zu. Einsparmaßnahmen müssen hier ansetzen. Gebäude mit niedrigem Energieverbrauch - Niedrigenergiehäuser - müssen zum Standard werden.

### 3 Energiesparkonzepte

Die Einsparung von Energie für die Beheizung von Gebäuden kann durch zahlreiche Einzelmaßnahmen erfolgen. Die Fachliteratur enthält umfangreiche Angaben über deren Wirkung [12-42]. Diese sind im wesentlichen in folgende Kategorien einordenbar:

#### a) Verlustreduzierende Elemente

Hierzu gehören alle Maßnahmen zur Reduzierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie auch der Umwandlungs-, Verteilungs- und Stillstandsverluste bei der Wärmeerzeugung.

Wesentliche Elemente sind hierbei Außenbauteile mit kleinen Wärmedurchgangskoeffizienten und Bauteilanschlüsse mit kleinen Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Erläuterung Seite 7), eine weitgehend luftdichte Gebäudehülle und eine dem Bedarf angepaßte Lüftung mit Wärmerückgewinnung sowie eine Anlagentechnik mit möglichst hohem Jahresnutzungsgrad.

#### b) Gewinnsteigernde Elemente

Zur Steigerung der Wärmegevinne gehören alle Maßnahmen, durch welche verstärkt Sonnenenergie aufgenommen wird und ebenso die Maßnahmen, die eine verstärkte Nutzung dieser Sonnenenergie, aber auch interner Wärmequellen ermöglicht. 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 vorgeschalteter Erdwärmetauscher wird durch den bei Niedrigenergiehäusern notwendigen Einsatz von Lüftungstechnik immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Bei der Planung von Niedrigenergiehäusern 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 Anlagentechnik 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.

### 4 Bauliche 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 wesentlicher Einflußparameter auf den Jahres-Heizwärmebedarf aufgezeigt. Als charakteristische Größe für das energetische Verhalten der Gebäude wird der auf die Nutzfläche bezogene Jahres-Heizwärmebedarf herangezogen.

#### 4.1 Vorentwurfsplanung: Gebäudegeometrie

Die Untersuchungen werden an freistehenden Gebäuden, Reihenmittel- und

Reihenendhäusern durchgeführt. Bei der Gebäudesimulation bleiben Innenwände unberücksichtigt. Eine detailliertere Betrachtung ist für die Fragestellung nicht sinnvoll. Allen Gebäudegeometrien liegt eine lichte Raumhöhe von 2,50 m zugrunde. Für die Wohnfläche werden 150 m<sup>2</sup> beim freistehenden Gebäude, 110 m<sup>2</sup> beim Reihenmittelhaus und 125 m<sup>2</sup> beim Reihenendhaus festgelegt. Die Ermittlung erfolgt in Anlehnung an DIN 283 [43]. Da die Festlegung von konkreten Grundrissen, die in diesem Abschnitt abzuleitenden Aussagen nur einengen würde, wird die Geometrie der Gebäudehülle unter Zugrundelegung einer vergrößerten Wohnfläche, die im folgenden als Nutzfläche bezeichnet wird, außenmaßbezogen ermittelt. Für die Baukonstruktionen wird pauschal eine Fläche von 20 %, bezogen auf die Wohnfläche, in Ansatz gebracht. Für die Nutzfläche der freistehenden Gebäude ergeben sich inklusive der Baukonstruktionen 180 m<sup>2</sup>, für die Reihenmittelhäuser 132 m<sup>2</sup> und für die Reihenendhäuser 150 m<sup>2</sup>.

Zunächst werden freistehende Gebäude betrachtet. Für die Untersuchungen finden übliche Gebäudetypen Verwendung. Dazu gehören Satteldach-Häuser, Pultdach-Häuser, Prisma-Häuser (Hügel-Häuser) und Kreissegment-Häuser. Die folgenden Parameter werden variiert:

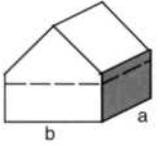
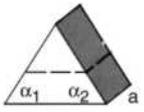
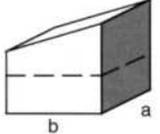
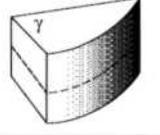
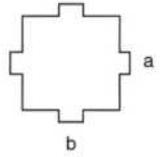
- Dachneigung  $\alpha$
- Seitenverhältnis  $a/b$  der Gebäude
- Länge der Seitenwand  $a$
- Zentriwinkel  $\gamma$  (Kreissegment-Haus)
- Verteilung der Fensterfläche

Der Einfluß einer starken Gebäudegliederung in Form von Rechteckprismen, die an jeder Gebäudeseite angeordnet sind, wird am Beispiel Satteldach-Haus dargestellt. Der Einfluß der Orientierung wird durch Drehung der Gebäude in 45°-Schritten aufgezeigt. Tabelle 4.1 enthält eine Zusammenstellung der Parametervariation für alle Gebäudetypen.

Die Fensterfläche beträgt bei diesen Gebäuden 30 m<sup>2</sup>. Die Fensterverteilung variiert zwischen gleichmäßiger und konzentrierter Verteilung. Die Anordnung der Fenster kann für die betrachteten Gebäudetypen Tabelle 4.1 entnommen werden. Die Fensterkonstruktionen weisen einen Rahmenanteil von 30 % auf. Den Simulationsrechnungen liegen die folgenden Wärmedurchgangskoeffizienten zugrunde:

- $k_w = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Außenwand
- $k_D = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Dachkonstruktion
- $k_F = 1,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Fenster
- $k_v = 1,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,  $g = 0,62$  Vergl.
- $k_G = 0,41 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Kellerdecke

**Tabelle 4.1** Zusammenstellung der bei den Simulationsrechnungen variierten Parameter für die freistehenden Häuser. Die Nutzfläche der Gebäude beträgt in allen Fällen 180 m<sup>2</sup>. Die in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 markierte Fläche wird für die Kennzeichnung der Orientierung benutzt, wobei die Tabellenwerte dem Fall "Südorientierung" entsprechen.

| Gebäudeform  | Dachneigung<br>$\alpha$<br>[°] | Seitenlänge a<br>[m] | Seitenverhältnis a/b<br>[-] | Zentriwinkel<br>$\gamma$<br>[°] | Verteilung der Fensterflächen $A_F$ [m <sup>2</sup> ] |           |           |           | Vergrößerung der Hüllfläche<br>[-] |      |  |     |
|--|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|------|--|-----|
|  |                                |                      |                             |                                 | N<br>Wand   | O<br>Dach | S<br>Wand | W<br>Dach |                                    |      |  |     |
| Satteldach-Haus<br>     | 22                             | 7,07                 | 0,5 <sup>1)</sup>           |                                 | 4,5   | 3,0       | 7,5       | 4,5       | 3,0                                | 7,5  |  |     |
|  | 30                             |                      |                             |                                 | 1,5   |           | 3,9       | 16,1      | 4,6                                | 3,9  |  |     |
|  | 38                             | 10,0                 | 1,0                         |                                 | 4,5   | 3,0       | 7,5       | 4,5       | 3,0                                | 7,5  |  |     |
|  | 45                             |                      |                             |                                 | 1,5   |           | 2,25      | 19,4      | 4,6                                | 2,25 |  |     |
|  |                                |                      | 12,25                       | 1,5                             |   | 4,5       | 3,0       | 7,5       | 4,5                                | 3,0  |  | 7,5 |
|  |                                |                      |                             |                                 | 1,5   |           | 2,25      | 19,4      | 4,6                                | 2,25 |  |     |
| Prisma-Haus<br>         | $\alpha_1$                     | $\alpha_2$           | 8,0                         |                                 | 4,0   | 7,0       | 12,0      | 7,0       |                                    |      |  |     |
|  | 45 °                           | 45 °                 | 10,0                        |                                 |   |           |           |           |                                    |      |  |     |
|  | 60 °                           | 60 °                 | 12,5                        |                                 |   |           |           |           |                                    |      |  |     |
|  | 45 °                           | 90 °                 |                             |                                 |   |           |           |           |                                    |      |  |     |
| Pultdach-Haus<br>     | 10                             | 7,07                 | 0,5                         |                                 | 7,5   | 7,5       | 7,5       | 7,5       |                                    |      |  |     |
|  | 22                             | 10,0                 | 1,0                         |                                 | 1,5   | 2,25      | 24,0      | 2,25      |                                    |      |  |     |
|  |                                | 12,25                | 1,5                         |                                 | 12,0  | 12,0      | 2,25      | 1,5       |                                    | 2,25 |  |     |
| Kreissegment-Haus<br> | 15                             |                      |                             | 90                              | je Giebel 2,25 m <sup>2</sup>                         |           |           |           |                                    |      |  |     |
|  |                                |                      |                             | 135                             | 25,5 m <sup>2</sup> Fensterfläche in der gekrümmten   |           |           |           |                                    |      |  |     |
|  |                                |                      |                             | 180                             | Fassade gleichmäßig verteilt                          |           |           |           |                                    |      |  |     |
| Gegliedertes Haus<br> | 30                             | 10,0                 | 1,0                         |                                 | 1,5   | 2,25      | 19,4      | 4,6       | 2,25                               | 1,1  |  |     |
|  |                                |                      |                             |                                 |   |           |           |           |                                    |      |  | 1,2 |
|  |                                |                      |                             |                                 |   |           |           |           |                                    |      |  |     |

1) Aus geometrischen Gründen ist die maximale Fenstergröße beim Seitenverhältnis  $a/b = 0,5$  reduziert.

#### 4.1.1 Randbedingungen und Annahmen

Der Jahres-Heizwärmebedarf von Gebäuden wird durch interne Wärmegevinne reduziert. Die Höhe der internen Wärmegevinne wird in der Fachliteratur unterschiedlich festgelegt. Der Gebäudenutzung liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Das Tagesprofil der Wärmeproduktion kann [44] entnommen werden. Der Tagesgang stellt die Summe der raumspezifischen Tagesprofile, die in Abschnitt 4.2.1 festgelegt werden, dar.

Für die meteorologischen Randbedingungen finden die Daten von Würzburg [45]

Verwendung. Die Auswahl erfolgt auf der Grundlage einer in [46] durchgeführten Untersuchung, welcher zu entnehmen ist, daß die Daten hinsichtlich der Jahresmitteltemperaturen und der Sonneneinstrahlung im Mittelfeld der meteorologischen Daten liegen und somit Durchschnittswerte für Deutschland darstellen (vgl. Abschnitt 7).

Ein zentraler Punkt bei der Untersuchung von Niedrigenergiehäusern ist der Wärmeverlust infolge Luftwechsel. Die bisher übliche Lüftungsart ist die natürliche Lüftung. Bei dieser Lüftungsart wird zwischen dem Luftaustausch infolge Undich-

tigkeiten (Fenster- und Türfugen sowie undichte Bauteilanschlüsse) sowie dem Luftaustausch durch das Öffnen von Fenstern unterschieden. In beiden Fällen ist die Ursache der Gebäudedurchströmung ein Gesamtdruckgefälle, welches sich infolge der Gebäudeanströmung oder Temperaturunterschieden zwischen der Innen- und Außenluft einstellt. Aus vielen Schadensanalysen und theoretischen Untersuchungen ist bekannt, daß der Luftwechsel die entscheidende Größe zur Einhaltung eines hygienisch einwandfreien Raumklimas ist. Als Folge dieser Forderung ergibt sich ein Mindestluftwechsel für Wohngebäude. In situ-Mes-

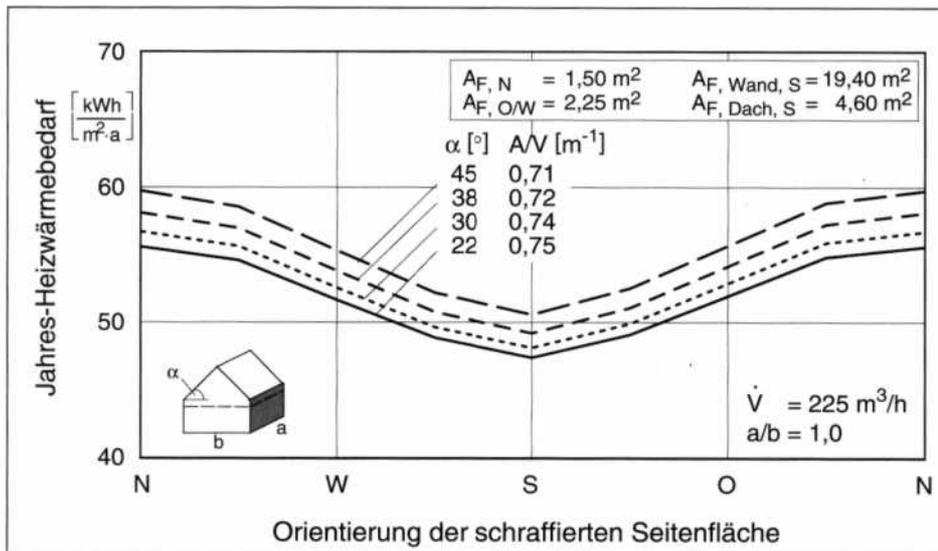


Bild 4.1 Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung.

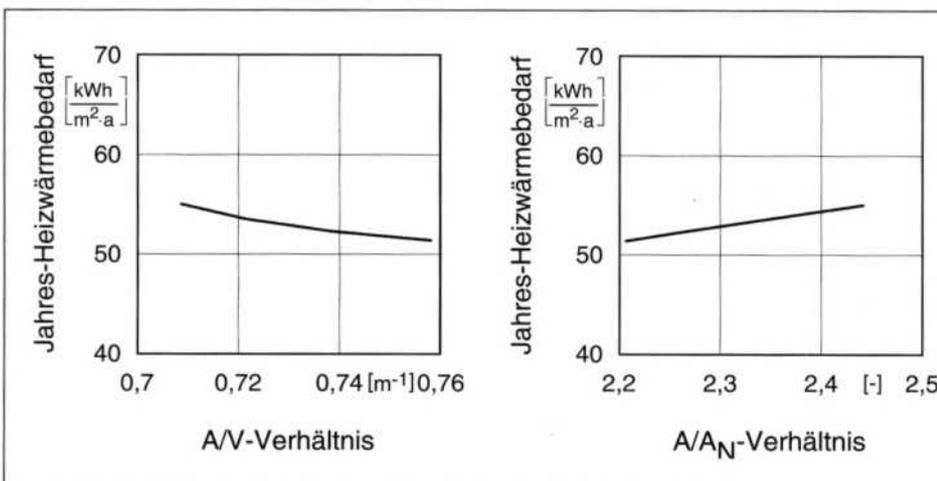


Bild 4.2 Einfluß des A/V-Verhältnisses auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung und einer Dachneigung von 30° (linkes Diagramm) sowie des Verhältnisses der Hüllfläche A zur Nutzfläche AN (rechtes Diagramm). Das Seitenverhältnis a/b beträgt 1.

sungen haben gezeigt, daß auch bei konsequentem Öffnen der Fenster in ungünstig gelegenen Räumen der Mindestluftwechsel unterschritten werden kann [32]. Bei einer Belüftung von Gebäuden durch natürliches Lüften kann es zu einer ungenügenden Luftqualität kommen. Die o. g. Nachteile der natürlichen Lüftung können durch eine kontrollierte Lüftung mit einer Lüftungsanlage vermieden werden. Mit derartigen Systemen können zusätzlich durch den Einbau einer Wärmerückgewinnung weitere Energieeinsparungen erreicht werden. Bei zentralen Systemen strömt die Zuluft in Wohn- und Schlafräume ein und die Abluft wird aus Räumen mit Geruchs- und Feuchteanfall (Küche, Bad, WC) abgesaugt und ein Teil der in der Fortluft enthaltenen Wärme mit einem Wärmetauscher zurückgewonnen.

Bei den Gebäudetypen, die der Untersu-

chung des Geometrieinflusses zugrunde liegen, können raumspezifische Daten, wie beispielsweise eine erhöhte Raumtemperatur (Badezimmer), nicht berücksichtigt werden. Den Berechnungen liegt ein Sollwert für die Raumlufttemperatur von 20 °C in der Zeit von 6 Uhr bis 22 Uhr zugrunde. Außerhalb der Nutzung beträgt der Sollwert der Raumlufttemperatur 10 °C. Eine Wärmerückgewinnung, die an konkrete Raumlufttemperaturen gekoppelt ist, kann deshalb bei dem Dreizonenmodell nicht praxistgerecht berücksichtigt werden. Für die Simulationsrechnungen wird in allen Fällen ein konstanter Luftwechsel von ca. 0,5 h<sup>-1</sup> in Ansatz gebracht. Der Volumenstrom V beträgt 225 m<sup>3</sup>/h für das freistehende Haus, 165 m<sup>3</sup>/h für das Reihenmittelhaus und 187,5 m<sup>3</sup>/h für das Reihenendhaus.

#### 4.1.2 Einfluß der Geometrie

Eine Zusammenstellung aller Berechnungsergebnisse enthält [44]. Die wesentlichen Berechnungsergebnisse werden im folgenden dokumentiert und erläutert.

##### a) Satteldach-Haus

Folgende Schlußfolgerungen können aus den Simulationsergebnissen gezogen werden:

- Gebäudeorientierung  
Der Einfluß der Orientierung wird generell bei allen Untersuchungen betrachtet. Die Gebäude werden in 45°-Schritten gedreht. Bei einer gleichmäßigen Fensterverteilung ist der Jahres-Heizwärmebedarf für alle Orientierungen erwartungsgemäß praktisch gleich. Die kleinen Schwankungen (Minimum bei O/W-Orientierung) ergeben sich durch die Unterschiede bei der Absorption der Sonneneinstrahlung auf den Dachflächen. Die Schwankungen betragen 0,7 %.

Bei der konzentrierten Fensterverteilung ändert sich die Charakteristik vollständig. Die Schwankungsbreite liegt für alle Gebäude mit Werten zwischen 7,0 und 9,2 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf 47,3 kWh/(m<sup>2</sup>a), bei maximal knapp 20 %. In Bild 4.1 ist das wärmetechnische Verhalten eines Satteldach-Hauses für eine konzentrierte Fensterverteilung in Abhängigkeit von der Orientierung und der Dachneigung dargestellt. Die Kennzeichnung der Fenstergröße bezieht sich, wie auch in den folgenden Bildern, auf den Fall "Orientierung der Seitenfläche Süd".

- Seitenverhältnis  
Das Gebäudeseitenverhältnis a/b wird in den Schritten 0,5, 1,0, und 1,5 variiert. Nennenswerte Unterschiede treten nur in dem Bereich zwischen 0,5 und 1,0 auf. Die Änderung des Jahres-Heizwärmebedarfs schwankt zwischen 1,4 und 4,5 kWh/(m<sup>2</sup>a).
- Dachneigung  
Die Dachneigung a variiert zwischen 22°, 30°, 38° und 45°. Für die Gebäude schwankt die Änderung der Jahres-Heizwärmebedarfe zwischen 0,6 und 5,6 kWh/(m<sup>2</sup> a). Damit errechnet sich der prozentuale Einfluß zu maximal 9,8 %.

- A/V-Verhältnis (wärmetauschende Hüllfläche zu Gebäudevolumen)  
Es zeigt sich, daß das A/V-Verhältnis nicht die maßgebende Größe für die energetische Beurteilung der Gebäudegeometrie ist, falls man von einer konstanten Nutzfläche und nicht von einem konstanten Volumen ausgeht. Dem linken Diagramm in Bild 4.2 ist zu entnehmen, daß mit zunehmendem A/V-Ver-

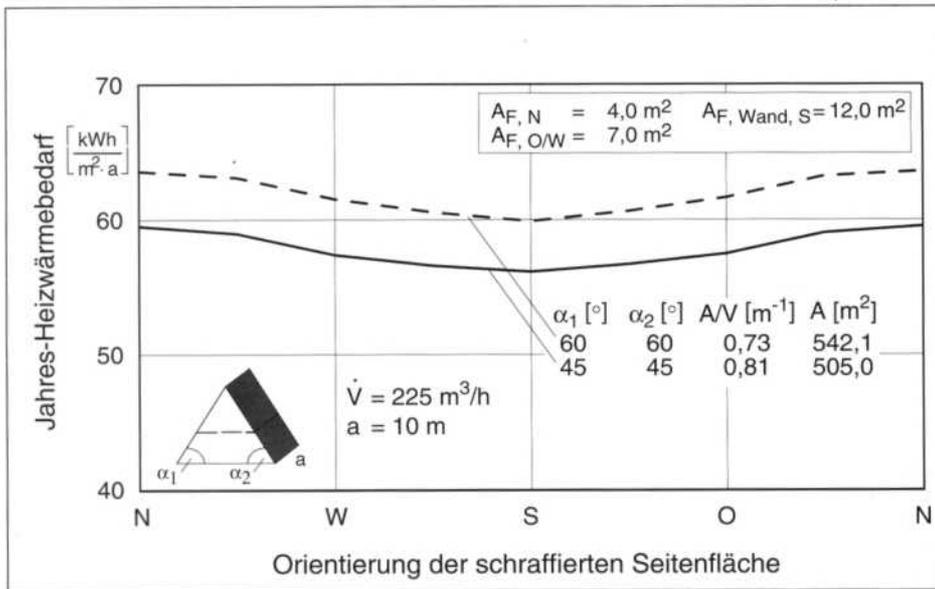


Bild 4.3 Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Prisma-Haus.

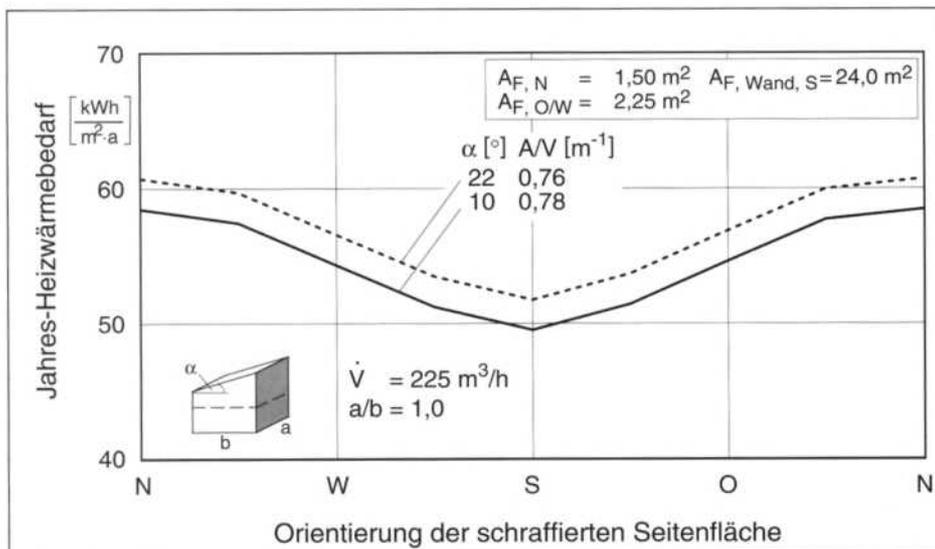


Bild 4.4 Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Pultdach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung.

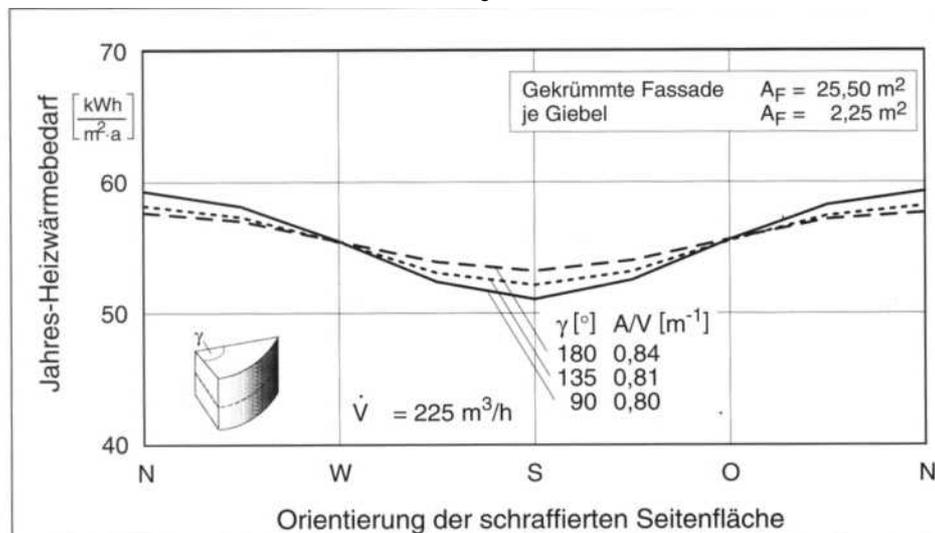


Bild 4.5 Einfluß der Orientierung und des Zentriwinkels auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Kreissegment-Haus.

hältnis der Jahres-Heizwärmebedarf abnimmt. Die Ursache für dieses Phänomen ist die größere Zunahme des Raumvolumens im Verhältnis zur Vergrößerung der wärmetauschenden Fläche. Daß der Jahres-Heizwärmebedarf erwartungsgemäß mit der Vergrößerung der Gebäudehülle ansteigt, kann dem rechten Diagramm in Bild 4.2 entnommen werden. Bei dem Diagramm ist auf der Abszisse das Verhältnis der wärmetauschenden Fläche und der Nutzfläche von 180 m<sup>2</sup> aufgetragen.

b) Prisma-Haus

Die Hüllfläche wird maßgeblich von der Neigung der Dachflächen bestimmt. Den geringsten Wärmebedarf hat das Gebäude mit dem beidseitig unter 45° geneigten Dach. Wegen der deutlich größeren Ortganglänge im Vergleich zum Satteldachhaus wird aus Gründen der Tageslichtversorgung die in Tabelle 4.1 beschriebene Fensterverteilung festgelegt. Der Wärmebedarf der Gebäude mit der Dachneigung 45°/45° und 90°/45° weichen nur geringfügig voneinander ab. Die Gebäude mit der Dachneigung 60°/60° haben einen um 10 % höheren Wärmebedarf. In dem Diagramm in Bild 4.3 ist neben der Dachneigung auch das A/V-Verhältnis und die gesamte wärmetauschende Fläche ausgewiesen. Auch bei diesem Gebäudetyp zeigt sich, daß das A/V-Verhältnis eine energetische Bewertung der Gebäude und den Vergleich untereinander nicht zuläßt. An Hand der Hüllfläche ist jedoch zu erkennen, daß das Gebäude mit der größten Fläche auch den größeren Wärmebedarf hat. Die Untersuchung der Seitenlänge erfolgt in den Schritten 8 m, 10 m und 12,5 m. Der Einfluß liegt bei 15 %. Den geringsten Wärmebedarf der Prismahäuser mit 54,8 kWh/(m<sup>2</sup>a) hat das Gebäude mit der Dachneigung 90°/45°, der Südorientierung und der Seitenlänge 12,5 m

c) Pultdach-Haus

Die Untersuchungsergebnisse für das Pultdach-Haus sind auszugsweise in Bild 4.4 dargestellt. Die betrachtete Fensterverteilung kann Tabelle 4.1 entnommen werden. Dem Diagramm ist der Einfluß der Dachneigung auf den Wärmebedarf zu entnehmen. Die Abweichung zwischen der Dachneigung von 10° und 22° beträgt 4,4 %, bezogen auf das Gebäude mit dem geringsten Wärmebedarf von 49,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Einfluß des Seitenverhältnisses a/b beträgt für die Dachneigung von 10°, bezogen auf den geringeren Wert, 2,2 %. Beim Pultdach-Haus werden drei Varianten für die Fensterverteilung betrachtet. Der letztgenannte Ge-

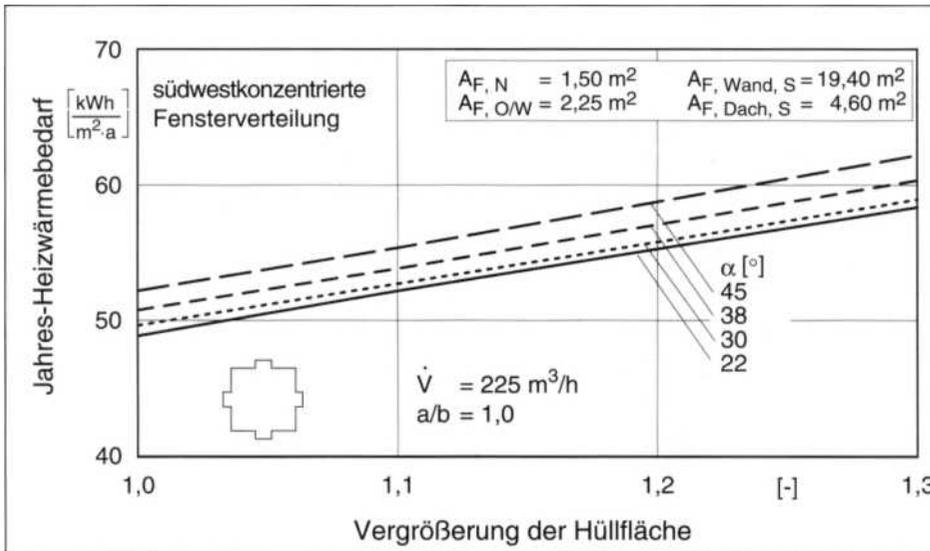


Bild 4.6 Einfluß der Größe der Hüllfläche sowie der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung und Südorientierung.

bäudetyp stellt für die untersuchten Pultdach-Häuser die optimale Lösung dar. Der geringste Jahres-Heizwärmebedarf mit 48,5 kWh/(m²a) ergibt sich für das Gebäude mit dem Seitenverhältnis a/b = 1,5 und der Dachneigung 22°.

d) Kreissegment-Haus

Eine Planungsempfehlung für den Entwurf von Niedrigenergiehäusern, die häufig in der Literatur genannt wird, zielt auf eine Minimierung der wärmetauschenden Fläche mit Nordorientierung ab. Eine Möglichkeit, ein derartiges Konzept zu verwirklichen, ist das Kreissegment-Haus. Ausgehend von der 180 m² großen Nutzfläche wird der Zentriwinkel in den Schritten 90°, 135° und 180° variiert. Die Dachneigung beträgt konstant 15°. Bei diesem Gebäudetyp wird nur eine konzentrierte Fensterverteilung betrachtet. Die Fensterfläche in den Giebeln beträgt jeweils 2,25 m². Die verbleibende Fensterfläche von 25,5 m² wird gleichmäßig über die gekrümmte Fassade verteilt angesetzt. Bild 4.5 läßt sich der Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Orientierung für die drei Zentriwinkel entnehmen. Der geringste spezifische Heizwärmebedarf von 51,1 kWh/(m²a) errechnet sich für den Zentriwinkel 90°. Die Schwankungsbreite beträgt bezogen auf den kleinsten Wert bei dem Gebäude mit Südorientierung 4,1

e) Fassadengliederung

Die untersuchten Satteldach-, Pultdach-, Kreissegment-Haustypen haben eine glatte Fassade. Aus architektonischen Gründen kommen immer häufiger Versprünge und Erker zur Ausführung. Eine Gebäudegliederung bedeutet eine Vergrößerung der wärmetauschenden Fläche und damit verbunden einen größeren

Wärmeverlust. Für die Untersuchung einer Gebäudegliederung wird das Satteldach-Haus verwendet. Die berücksichtigte Gebäudeerweiterung besteht aus rechteckigen Erkern, die an jeder Gebäudeseite mit den gleichen Abmessungen angeordnet sind. Die Nutzfläche inklusive Erker beträgt, wie bei allen anderen Gebäudetypen 180 m². Es wird der Gebäudetyp mit konzentrierter Fensterverteilung mit dem Seitenverhältnis a/b = 1,0 für alle Dachneigungen betrachtet. Die Vergröße-

rung der Hüllfläche variiert in den Schritten 1,1, 1,2 und 1,3. Die Abhängigkeit des Jahres-Heizwärmebedarfs von der Vergrößerung der Hüllfläche ist in Bild 4.6 wiedergegeben. Der Zusammenhang zwischen den beiden Größen ist in dem betrachteten Bereich linear. Im Mittel ergibt sich für eine Vergrößerung der Hüllfläche von 10 ° ein Anstieg des Jahres-Heizwärmebedarfs um 3 kWh/(m²a), was 6 entspricht.

f) Wärmebrückenwirkung

Bei den bisher beschriebenen Untersuchungen wird ausschließlich der Wärmeverlust über den Regelquerschnitt der Bauteile betrachtet. Demgegenüber stellt sich im Bereich von Wärmebrücken ein zwei- oder dreidimensionaler Wärmestrom ein. Um zu dokumentieren, welchen Einfluß die Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf haben, werden Simulationsrechnungen mit einem erweiterten Berechnungsmodell durchgeführt. Die Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses basiert auf dem in [47, 48] ausführlich erläuterten, für eine Vielzahl von Details bestimmten Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV). Dieser Wert quantifiziert den zusätzlichen Wärmeverlust, bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz für linien- und punktförmige Wärmebrücken im stationären Zustand. Der Einfluß der Wärme-

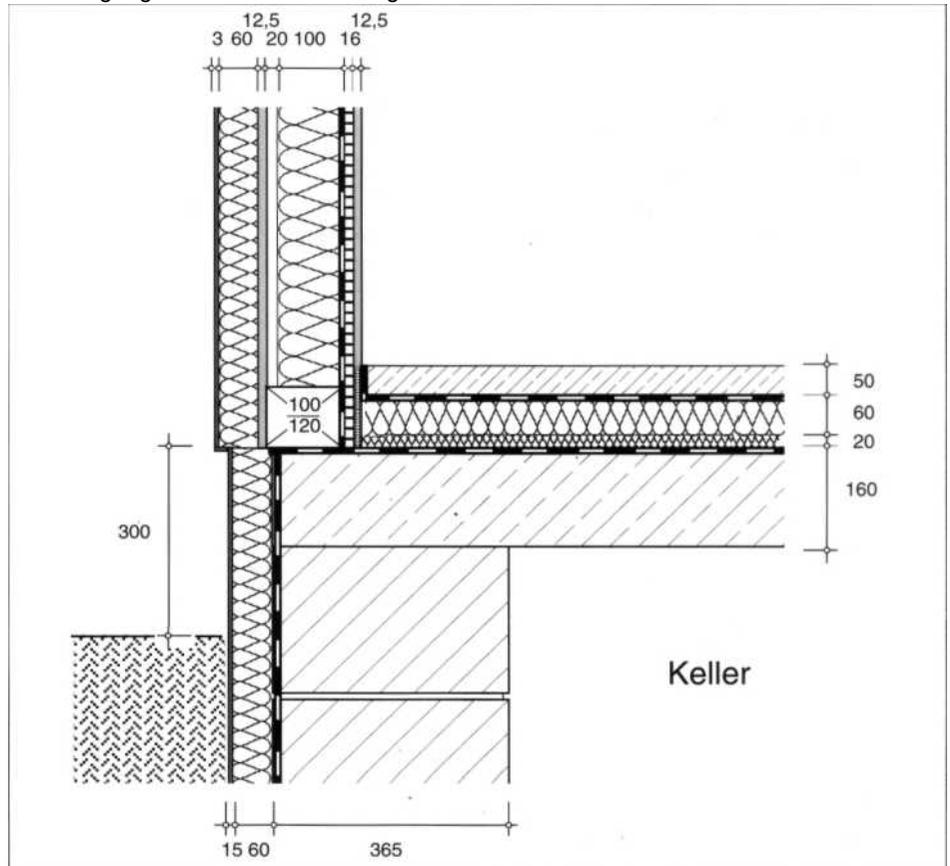


Bild 4.7 Wärmetechnisch „günstige“ Sockelausbildung für die Tafelbauart.

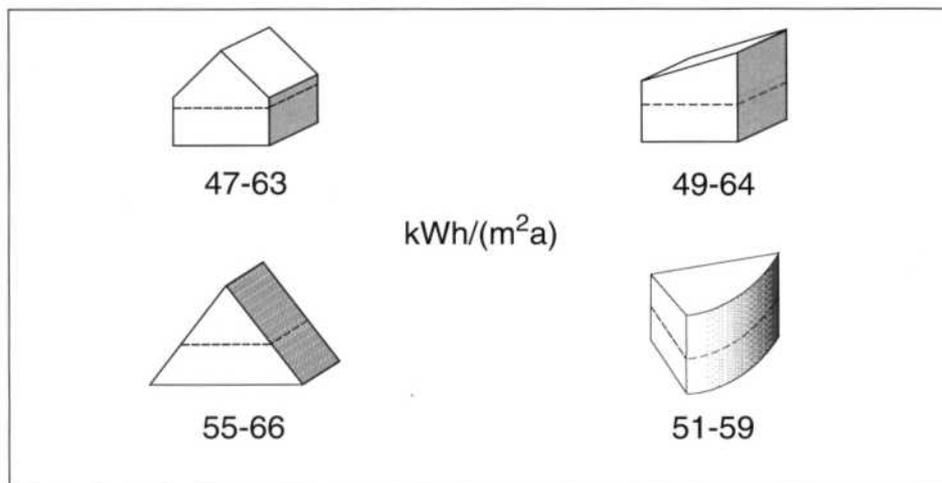


Bild 4.8 Einfluß der Gebäudeform der untersuchten freistehenden Gebäude auf den Jahres-Heizwärmebedarf.

brücken wird bei den Simulationsrechnungen durch den WBV-Wert und die aktuelle Temperaturdifferenz ermittelt. Für die Untersuchungen wird die Tafelbauart zugrunde gelegt. Eine detaillierte Beschreibung der Anschlußdetails kann [44] entnommen werden. Rolladenkästen finden aufgrund ihrer ungünstigen WBV-Werte keine Berücksichtigung. Die WBV-Werte zeigen, daß eine günstige Ausführung des Sockelanschlusses für Niedrigenergiehäuser wichtig ist. Bild 4.7 läßt sich eine günstige Sockelausbildung für die Tafelbauart entnehmen. Um diesen Einfluß zu verdeutlichen, werden die Simulationsrechnungen für eine energetisch günstige sowie eine ungünstigen Ausführung durchgeführt [44]. Bei der günstigen Sockelausbildung verringert sich der Jahres-Heizwärmebedarf um durchschnittlich 1,6 %. Eine Erhöhung von durchschnittlich 10,5 % ergibt sich hingegen bei der ungünstigen Ausbildung des Sockelanschlusses. Als wesentliches Fazit ist für die Ausführung des Sockelanschlusses mit der günstigen Lösung festzuhalten, daß der Einfluß der Wärmebrückeneffekte durch Verwendung von Außenmaßen gut berücksichtigt wird.

Aus den Berechnungsergebnissen lassen sich für den Gebäudeentwurf die folgenden Empfehlungen ableiten:

1. Satteldach-Haus und Pultdach-Haus sind für die Konzeption eines Niedrigenergiehauses gut geeignet.
2. Ohne spezielle Maßnahmen für die Nutzung der Sonnenenergie, wie beispielsweise die transluzente Wärmedämmung, stellen "exotische" Gebäudeformen (Kreissegment-Haus) keine optimale Lösung dar.
3. Der Einfluß der Orientierung bei Gebäuden mit einer konzentrierten Fensterverteilung liegt im Bereich bis

knapp 20 %.

4. Bei rechteckigen Grundrissen sollte die längere Gebäudeseite nach Süden gerichtet sein.
5. Eine nutzflächenbezogene, energetische Bewertung von Gebäuden mit konstanter Nutzfläche kann nur durch die Hüllfläche und nicht mit dem AN-Verhältnis erfolgen.
6. Eine Vergrößerung der Hüllfläche durch Erker oder Versprünge um 10 ergibt einen Anstieg des Jahres-Heizwärmebedarfs um ca. 6 %.

Bild 4.8 zeigt eine Übersicht über den Jahres-Heizwärmebedarf der unter a) bis d) erläuterten Berechnungsergebnisse. Als energetisch beste Lösung hinsichtlich der Gebäudegeometrie stellt sich das Satteldach-Haus dar.

#### g) Reihenhäuser

Im Anschluß an die freistehenden Gebäude werden Reihennittel- und Reihenendhäuser untersucht. Aufgrund der steigenden Bevölkerungsdichte nehmen die für freistehende Einfamilienhäuser zur Verfügung stehenden Bauplätze ständig ab. Eine immer dichter werdende Bebauung ist die Folge. Deshalb wird der Anteil der Reihenhäuser bei den Neubauten in Zukunft aus Gründen der Platzerparnis deutlich ansteigen. Um dieses Marktsegment bei der Untersuchung zu berücksichtigen, wird das eingangs beschriebene Reihennittelhaus und Reihenendhaus untersucht. Die Wohnfläche verteilt sich über zwei Vollgeschosse. Die Fensterfläche errechnet sich, bezogen auf die 30  $\text{m}^2$  große Fensterfläche beim freistehenden Haus in Abhängigkeit von der Wohnfläche zu 22  $\text{m}^2$  für das Reihennittelhaus und zu 25  $\text{m}^2$  für das Reihenendhaus. Wie beim freistehenden Haus wird sowohl eine konzentrierte als auch eine gleichmäßige Fensterverteilung betrach-

tet. Das Dachgeschoß ist nicht ausgebaut. Tabelle 4.2 zeigt eine Zusammenstellung der variierten Parameter. Die Dachgeschoßdecke stellt die thermische Trennung des 1. Obergeschosses dar. Der Wärmedurchgangskoeffizient wird zu  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  festgelegt. Da in der Regel von einer nachträglichen Nutzung des Dachgeschosses ausgegangen werden kann, erfolgt zusätzlich eine Dämmung der Dachflächen mit einem k-Wert von  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Für die Berechnungen wird ein konstanter Luftwechsel von  $0,5 \text{ h}^{-1}$  zugrunde gelegt.

Wie zu erwarten, ist beim Reihenendhaus der Jahres-Heizwärmebedarf deutlich und beim Reihennittelhaus wesentlich niedriger als beim freistehenden Einfamilienhaus, siehe Bild 4.9.

#### h) Drehbares Haus

Ein neues Konzept für die Maximierung der Nutzung der Sonneneinstrahlung stellt ein drehbares Haus dar. Der Aufwand für die bewegliche Lagerung von Gebäuden ist immens. Erprobte Anlagen für die Haustechnik werden derzeit noch nicht angeboten.

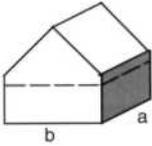
Die Berechnungsergebnisse zeigen, daß eine Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs nur mit einer konzentrierten Fensterverteilung möglich ist. Eine gleichmäßige Fensterverteilung ergibt im Vergleich zur Südorientierung eine Erhöhung des Jahres-Heizwärmebedarfs um ca. 2 %. Die durchschnittliche Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs errechnet sich zu  $1,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{K})$ . Unter Berücksichtigung des großen konstruktiven Aufwands sowie des Strombedarfs für die Gebäudedrehung, ist der sinnvolle Einsatz einer derartigen Maßnahme zweifelhaft.

## 4.2 Ausführungsplanung

Im folgenden werden die Elemente, die den Wärmeverlust von Gebäuden verursachen, an einem konkreten Objekt untersucht. An Hand von Parameterstudien werden dem Planer die Auswirkungen verlustmindernder und gewinnsteigernder Maßnahmen aufgezeigt. Die Basis der Untersuchungen ist ein freistehendes Einfamilienhaus mit einem Vierpersonenhaushalt. Die Gebäudegeometrie sowie die charakteristischen Nutzungsdaten können Bild 4.10 auf Seite 12 entnommen werden. Die Dachflächen sind fensterlos. Die Abseitenwände sind nicht gedämmt. Das Gebäude ist unterkellert. Eine detaillierte Betrachtung des Kellergeschoßgrundrisses erfolgt nicht, da von einem nichtbeheizten Keller ausgegangen wird. Als thermische Trennung des Dachgeschosses von der

Tabelle 4.2 Zusammenstellung der bei den Simulationsrechnungen variierten Parameter für die Reihenhäuser.

Die Nutzfläche beträgt 132 m<sup>2</sup> beim Reihenmittelhaus und 150 m<sup>2</sup> beim Reihenendhaus. Die in der Gebäudeskizze in Spalte 1 gekennzeichnete Fläche ist südorientiert.

| Gebäudeform   | Gebäudetyp       | Dachneigung<br>$\alpha$ | Seitenverhältnis a/b<br>[-] | Nutzfläche<br>[m <sup>2</sup> ] | Verteilung der Fensterflächen $A_F$ [m <sup>2</sup> ] |          |           |           |
|---|------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|----------|-----------|-----------|
|   |                  |                         |                             |                                 | N<br>0°   | O<br>90° | S<br>180° | W<br>270° |
|  | Reihenmittelhaus | 30 °                    | 0,5                         | 132                             | 11,0  | -        | 11,0      | -         |
|   |                  |                         | 1,0                         |                                 | 2,8   | -        | 19,2      | -         |
|   |                  |                         | 1,5                         |                                 |   |          |           |           |
|   | Reihenendhaus    | 30 °                    | 0,5                         | 150                             | 12,5  | -        | 12,5      | -         |
|   |                  |                         | 1,0                         |                                 | 3,1   | -        | 21,9      | -         |
|   |                  |                         | 1,5                         |                                 |   |          |           |           |

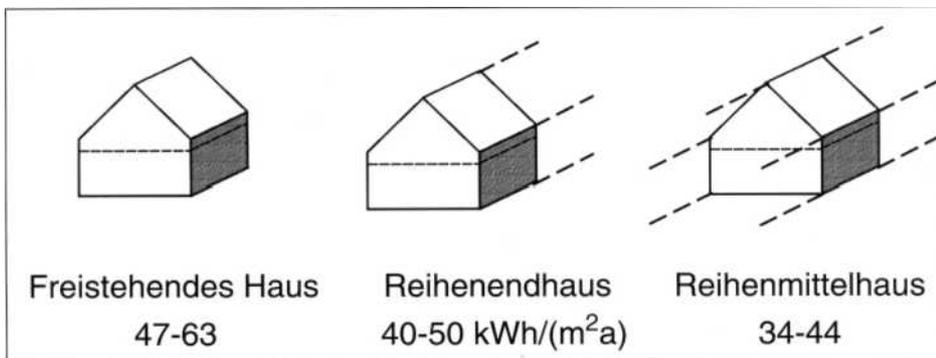


Bild 4.9 Vergleich zwischen freistehenden Häusern, Reihenmittel- und Reihenendhäusern. Zugrunde gelegte Daten: Satteldach mit 30°-Dachneigung. Nutzung gemäß Kapitel 4.1.1.

Außenluft wirkt die Dachfläche.

Um einen Vergleichsmaßstab für die Darstellung der Berechnungsergebnisse zu definieren, wird zunächst für die Baukonstruktionen und die Gebäudenutzung ein Standard festgelegt. Bei der Betrachtung einzelner Effekte werden dann die Änderungen im Vergleich zum Standardfall aufgezeigt. Eine Zusammenstellung der Baukonstruktionen für den Standardfall ist in Bild 4.11 auf Seite 13 enthalten. Weitere baukonstruktive Lösungen sind in [49] wiedergegeben. Den Außenbauteilen liegen die folgenden Wärmedurchgangskoeffizienten zugrunde:

- $k_w = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Außenwand
- $k_D = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Dachkonstruktion
- $k_F = 1,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Fenster
- $k_v = 1,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,  $g = 0,62$  Vergl.
- $k_G = 0,41 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  Kellerdecke

Dem Standardfall liegt bei Fenstern ein temporärer Wärmeschutz (z. B. Rolläden) mit einem Wärmedurchlaßwiderstand von 1,0 m<sup>2</sup>K/W zugrunde.

#### 4.2.1 Randbedingungen und Annahmen

Die während der Beheizung einzuhaltenen Lufttemperaturen werden für die einzelnen Räume in Abhängigkeit von der Nutzung fixiert. Für die Raumlufttempera-

turen werden Werte festgelegt, die ein angenehmes, behagliches Klima gewährleisten. Die Einflußmöglichkeiten von Nutzern, beispielsweise eine Absenkung des Temperaturniveaus während der Nutzung, wird im Abschnitt 6 untersucht.

#### a) Raumlufttemperaturen

Beim Standardfall wird eine intermittierende Nutzung vorausgesetzt. Die tägliche Nutzungsdauer beträgt 16 h. Der Sollwert der Raumlufttemperatur ist für die einzelnen Räume in Bild 4.10 wiedergegeben. Bei den Simulationsrechnungen wird für die Aufheizphase eine Rampe (Temperaturanstieg bis zum Erreichen des Sollwerts) von 3 K/h in Ansatz gebracht.

#### b) Luftwechsel

Die Lüftungswärmeverluste sind bei Niedrigenergiehäusern ein wichtiger Aspekt mit großem Einfluß. Beim Luftwechsel wird zwischen natürlicher und kontrollierter Lüftung unterschieden. Er ergibt sich entweder aus dem planmäßigen Lüften durch das Öffnen von Fenstern (natürliche Lüftung) oder einer raumlufttechnischen Anlage. Infolge von Undichtigkeiten stellt sich ein zusätzlicher Luftwechsel ein. Der Luftwechsel durch Undichtigkeiten im Regelquerschnitt und im Bereich von Anschlußdetails muß durch geeignete

Dichtungskonzepte und Materialien soweit wie möglich reduziert werden. Die Anforderungen zur Begrenzung der Wärmeverluste infolge von Undichtigkeiten bei Fenstern und Fenstertüren sind in der Wärmeschutzverordnung [50] festgelegt. Die Einhaltung der Anforderungen ist eine zwingende Notwendigkeit, um eine kontrollierte Lüftung mit einer Lüftungsanlage wirksam betreiben zu können. Eine zentrale Lüftungsanlage hat zudem den Vorteil, daß zur weiteren Verminderung der Lüftungswärmeverluste ein Wärmetauscher eingebaut werden kann. Im Standardfall wird für den Luftwechsel infolge Undichtigkeiten der konstante Wert  $n_i = 0,1 \text{ h}^{-1}$  angesetzt. Des weiteren wird von einer raumlufttechnischen Anlage mit einem Volumenstrom von 190 m<sup>3</sup>/h sowie einem Wärmetauscher mit einem Wirkungsgrad von 65 % ausgegangen. Der Volumenstrom wird in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur geregelt. Oberhalb von 0 °C beträgt der Volumenstrom 190 m<sup>3</sup>/h. In dem Temperaturbereich zwischen -5 °C <  $t_{\text{la}} < 0$  °C reduziert sich der Wert auf 80 % und unterhalb von -5 °C auf 50 %. Die Zu- und Abluftströme verteilen sich wie folgt:

|         |                |                      |
|---------|----------------|----------------------|
| Zuluft: | Wohnzimmer     | 60 m <sup>3</sup> /h |
|         | Eßbecke        | 40 m <sup>3</sup> /h |
|         | Kinderzimmer 1 | 30 m <sup>3</sup> /h |
|         | Kinderzimmer 2 | 30 m <sup>3</sup> /h |
|         | Schlafzimmer   | 30 m <sup>3</sup> /h |
| Abluft: | Küche          | 70 m <sup>3</sup> /h |
|         | WC             | 30 m <sup>3</sup> /h |
|         | Bad            | 90 m <sup>3</sup> /h |

Für den Betrieb der Lüftungsanlage werden je 30 W Ventilatorleistung mit dem Wirkungsgrad 50 % für die Zu- und die Abluft in Ansatz gebracht. Die Zulufttemperatur errechnet sich aus der Energiebilanz unter Berücksichtigung des Wärmetauschers und der Ventilatoren.

## c) Strombedarf für Kunstlicht

Ein wichtiger Aspekt bei der Bestimmung des Wärmebedarfs von Gebäuden ist das zur Verfügung stehende Tageslicht, weil hiervon die Einschaltdauer der Kunstlichtbeleuchtung abhängig ist. Der für den Kunstlichtbetrieb benötigte Strom wird dem Gebäude als Wärme zugeführt und mindert damit den Jahres-Heizwärmebedarf. Eine ausführliche Beschreibung des Berechnungsverfahrens kann [3] entnommen werden. Das Einschalten des Kunstlichts mit der spezifischen Wärmeabgabe von  $1,25 \text{ W/m}^2$  erfolgt bei Unterschreitung der Beleuchtungsstärke von  $150 \text{ lx}$ . Maßgebend ist die Beleuchtungsstärke in dem in Bild 4.10 eingetragenen Bezugspunkt im Wohnzimmer. Bei Unterschreitung des Sollwertes während der Nutzungszeit zwischen 6.00 Uhr und 22.00 Uhr wird das Kunstlicht im Wohnzimmer, in der Eßecke, in der Küche, in den Kinderzimmern und im Flur eingeschaltet. Beim Windfang, dem WC, dem Bad und dem Schlafzimmer wird von einer deutlich geringeren Einschaltdauer ausgegangen, so daß in diesen Räumen interne Wärmequellen durch Kunstlicht unberücksichtigt bleiben.

## d) Interne Wärmequellen

Bei der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs gehen die internen Wärmegevinne verbrauchsmindernd ein. Für die Simulationsrechnungen werden raumbezogene Nutzungsprofile entwickelt. Bei der Ermittlung der Tagesprofile für die internen Wärmequellen werden die folgenden Prozesse betrachtet:

- Wärmeabgabe der Bewohner
- Stromeinsatz für den Betrieb von elektrischen Geräten
- Warmwasserverbrauch
- Kaltwasserverbrauch

Andere Prozesse, wie beispielsweise die Verdunstung von Wasser durch Pflanzen oder durch Spritzwasser im Bad, die der Raumluft Wärme entziehen, werden aufgrund der fehlenden statistischen Angaben über die transportierten Wassermassen vernachlässigt. Der Kaltwasserabfluß wird als Wärmesenke in Küche, Bad und WC in Ansatz gebracht. Die im Rahmen der Simulationsrechnungen zugrunde gelegten Tagesprofile für die Wärmeproduktion basieren auf den Arbeiten [32, 51, 52] und hinsichtlich der Verbrauchsangaben auf [53-55].

Eine Zusammenstellung der Tagessummen für die wesentlichen Prozesse kann Tabelle 4.3 entnommen werden. Die gesamte tägliche Wärmeproduktion errechnet sich zu  $13,6 \text{ kWh/d}$ .

Tabelle 4.3 Interne Wärmequellen eines Vierpersonenhaushalts.

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Fernseher                   | 0,6 kWh/d         |
| Kühlschrank                 | 0,7 kWh/d         |
| Gefrierschrank              | 1,1 kWh/d         |
| Elektroherd                 | 0,6 kWh/d         |
| Geschirrspülmaschine        | 0,3 kWh/d         |
| Sonstige elektrische Geräte | 1,9 kWh/d         |
| Warmwasserversorgung        | 3,3 kWh/d         |
|                             | <b>8,5 kWh/d</b>  |
| Personen                    | 5,3 kWh/d         |
| Beleuchtung                 | 1,4 kWh/d         |
|                             | <b>15,2 kWh/d</b> |
| Kaltwasserversorgung        | -1,6 kWh/d        |
|                             | <b>13,6 kWh/d</b> |

## 4.2.2 Wärmedämmung der Außenbauteile

Für die Simulationsrechnungen werden 3 Dämmniveaus der Außenbauteile festgelegt. Variante II entspricht dem Standardfall. Der Einfluß der Wärmebrückeneffekte wird nur für den Standardfall dokumentiert (vgl. Abschnitt 4.2.3).

Bild 4.12 zeigt den Jahres-Heizwärmebedarf der drei Varianten. Der Standardfall mit Orientierung der Terrassenfassade nach Süden hat einen Jahres-Heizwärmebedarf von  $45,8 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ . Bei Drehung des Gebäudes in die vier Haupthimmelsrichtungen ergeben sich für die Ostorientierung  $48,2$ , für die Westorientierung  $47,4$  und für die Nordorientierung  $50,1 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ . Variante III entspricht dem mit einer monolithischen Bauart noch sinnvoll erreichbaren Dämmniveau. Für den Jahres-Heizwärmebedarf ergibt sich dabei für alle Orientierungen eine Erhöhung um  $16 \%$ . Eine Verringerung des Heizwärmebedarfs von  $25 \%$  stellt sich bei der Anhebung des Dämmniveaus aller Außenbauteile entsprechend der Variante I ein.

Die Wirksamkeit der einzelnen Dämmmaßnahmen ist unterschiedlich. Durch Verbesserung des Dämmniveaus nur eines Außenbauteils im Vergleich zum Standardfall wird in Bild 4.13 die Sensitivität einzelner Änderungen dargestellt. Als effektivste Maßnahme mit einer Minderung des Jahres-Heizwärmebedarfs um  $14 \%$  erweist sich die Variante V mit einer Verbesserung des k-Wertes der Außenwand von  $0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  auf  $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Eine Verbesserung des k-Wertes der Kellerdecke (Variante IV) ergibt mit  $3,7 \%$  nur eine geringe Abminderung des Heizwärmebedarfs. Die Änderung des k-Wertes der Dachkonstruktion (Variante VI) von  $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  auf  $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ergibt eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs

um  $5,3 \%$ . Der Einsatz der "Superglazing" (Variante VII) verringert den Heizwärmebedarf um  $4,1 \%$ .

## 4.2.3 Wirkung der Wärmebrücken

Der im Bereich von Wärmebrücken zusätzlich auftretende Wärmeverlust wird mit einem Modell berücksichtigt, welches auf den in [47, 48] erläuterten und quantifizierten WBV-Werten basiert. [48] ist zu entnehmen, daß eine zweidimensionale Betrachtung (linienförmige Wärmeverluste) ausreicht. Dreidimensionale Wärmebrücken (punktförmige Wärmeverluste) sind dagegen marginal. Der Wärmeverlust durch die Regelquerschnitte und die Bauteilanschlüsse wird bei energetisch günstigen Holzkonstruktionen gut approximiert. Eine ausführliche Darstellung von Anschlußdetails kann [44, 49] entnommen werden. Der Jahres-Heizwärmebedarf errechnet sich für den Standardfall mit Südorientierung zu  $45,8 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ . Der Einfluß beträgt  $-0,24 \%$ .

## 4.2.4 Lüftung

Mit zunehmender Dämmung der Außenbauteile steigt der Anteil des Lüftungswärmeverlustes am Jahres-Heizwärmebedarf. Lüftungskonzepte, die auf einer Fugenlüftung oder einer freien Stoßlüftung basieren, sind wegen des in weiten Bereichen nicht kontrollierbaren, schwankenden Luftwechsels für Niedrigenergiehäuser ungeeignet [32]. Der im Mittel notwendige Luftwechsel von  $\text{ca. } 0,5 \text{ h}^{-1}$  ist andererseits nicht mit hinreichender Sicherheit in ungünstig gelegenen Bereichen gewährleistet. Deshalb wird bei dem Standardhaus eine zentrale Lüftungsanlage berücksichtigt. Durch Bild 4.14 wird deutlich, daß mit zunehmender Gebäudeundichtigkeit (Infiltration) die Wirksamkeit der Lüftungsanlage erheblich abnimmt. Der Einfluß der Durchlässigkeit der Gebäudehülle wird durch Variation eines konstanten Luftwechsels infolge Infiltration  $n_i$  in den Schritten  $0,05 \text{ h}^{-1}/0,10 \text{ h}^{-1}/0,20 \text{ h}^{-1}$  aufgezeigt. Im Vergleich zum Standardfall mit dem  $n_i$ -Wert von  $0,10 \text{ h}^{-1}$  verringert sich der Heizwärmebedarf bei  $n_i = 0,05 \text{ h}^{-1}$  um  $4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ . Bei einer weniger dichten Hülle mit  $n_i = 0,20 \text{ h}^{-1}$  steigt der Heizwärmebedarf um  $9 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ .

Die Luftdichtigkeit von Gebäuden wird im allgemeinen mit Hilfe des  $n_{50}$ -Wertes gekennzeichnet, der den Luftwechsel bei  $50 \text{ Pa}$  Druckdifferenz beinhaltet.

Erfahrungen in Schweden [32] zeigen, daß eine ausreichende Gebäudedichtigkeit erst bei einem  $n_{50} < 1 \text{ h}^{-1}$  erreicht wird. In der Schweiz werden, je nach Ge-

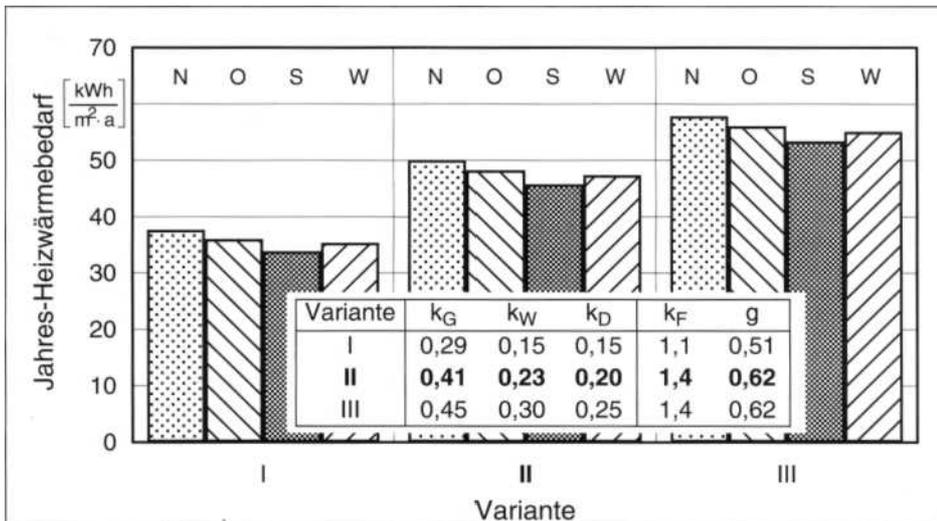


Bild 4.12 Einfluß des Dämmniveaus auf den Jahres-Heizwärmebedarf für drei Dämmstandards. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (Variante II), jedoch k- und g-Werte wie angegeben.

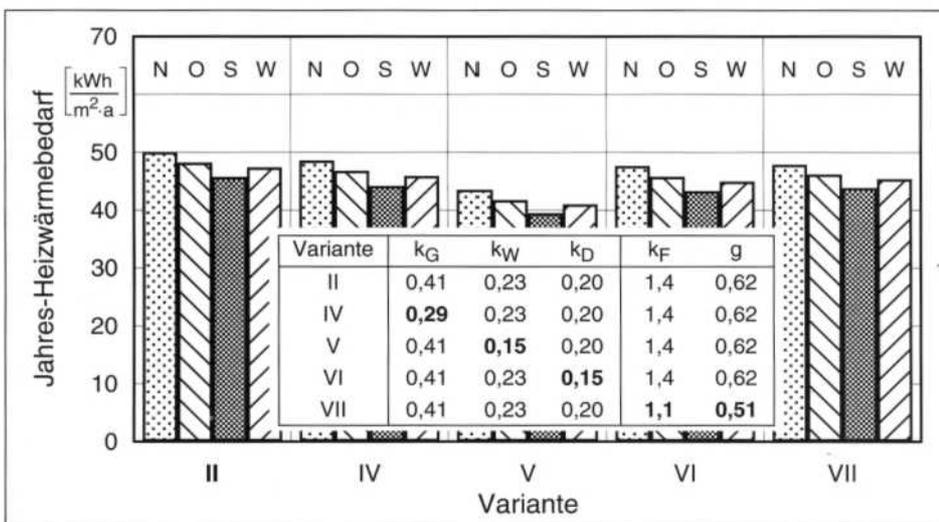


Bild 4.13 Einfluß des Dämmniveaus einzelner Bauteile auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (Variante II), jedoch k- und g-Werte wie angegeben.

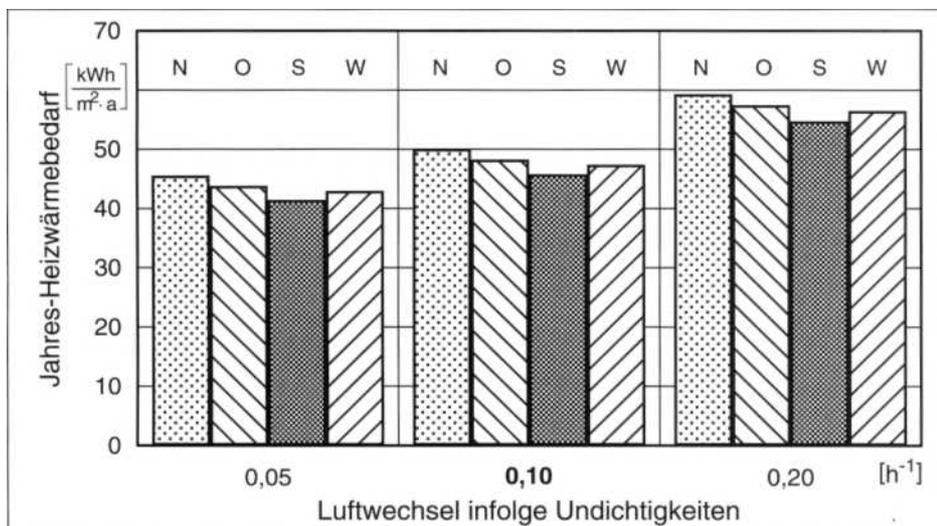


Bild 4.14 Einfluß der Gebäudedichtigkeit auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (0,10 0), jedoch variable Luftwechsel infolge von Undichtigkeiten.

bäudetyp, Werte zwischen 1,0 und 4,5 h<sup>-1</sup> gefordert [56]. Die Messung erfolgt gemäß [57]. Bisher ist es nicht möglich, eine exakte Zuordnung zwischen n<sub>50</sub>-Wert und dem infolge Infiltration im Durchschnitt zu erwartenden Luftwechsel  $n_i$  vorzunehmen.

Eine hohe Luftdichtigkeit erfordert eine besondere Sorgfalt bei der Planung und Ausführung der Luftsperrung sowie deren Anschlüsse. Beispiele für luftdichte Anschlüsse können [44, 49] entnommen werden.

#### 4.2.5 Temporärer Wärmeschutz

Das Fenster stellt in Phasen ohne Sonneneinstrahlung im Vergleich zur Außenwand ein Bauteil mit hohen Wärmeverlusten dar. Eine Möglichkeit, das energetische Verhalten von Fenstern zu verbessern, ist die Verwendung eines temporären Wärmeschutzes. Dabei handelt es sich um ein bewegliches Dämmelement, welches in der Nacht vor oder hinter die Fensteröffnung gebracht wird. Die Ausführung **von Dämmelementen ist vielfältig**. Bei den Simulationsrechnungen wird von einer idealen Ausführung ausgegangen, d. h., daß der temporäre Wärmeschutz dicht schließt und keine Durchströmung des Luftzwischenraums und keine zusätzlichen Wärmeverluste im Bereich der Abdichtung auftritt. Für die Parameterstudie wird der temporäre Wärmeschutz durch einen zusätzlichen Wärmedurchlaßwiderstand bei den Fensterelementen außenseitig in den Schritten 0, 0,5 und 2,0 m<sup>2</sup>K/W variiert. Der Einsatz des temporären Wärmeschutzes ist auf den Zeitraum ohne Sonneneinstrahlung beschränkt. Die Berechnungsergebnisse sind in Bild 4.15 dargestellt. Der Heizwärmebedarf des Standardgebäudes beträgt 45,8 kW/(m<sup>2</sup>a). Übliche Rolläden aus Holz oder Kunststoff liefern Werte von 0,15 bis 0,3 m<sup>2</sup>K/W [58, 59]. Dabei wird von einer dichten Ausführung ausgegangen. Bei undichten Systemen sinken die Werte bis auf ca. 0,05 m<sup>2</sup>K/W ab.

Der Jahres-Heizwärmebedarf erhöht sich um 9,2 % bei der Variante ohne temporären Wärmeschutz sowie um 2,8 % bei der Variante mit der Dämmung von 0,5 m<sup>2</sup>K/W. Im Vergleich zum Standardfall verringert sich der Wärmebedarf um 2,4 % bei einem Wärmedurchlaßwiderstand von 2,0 m<sup>2</sup>K/W.

#### 4.2.6 Gebäudeorientierung

Der optimalen Orientierung von Niedrigenergiehäusern wurde in der Vergangenheit ein großes Gewicht beigemessen. Zu

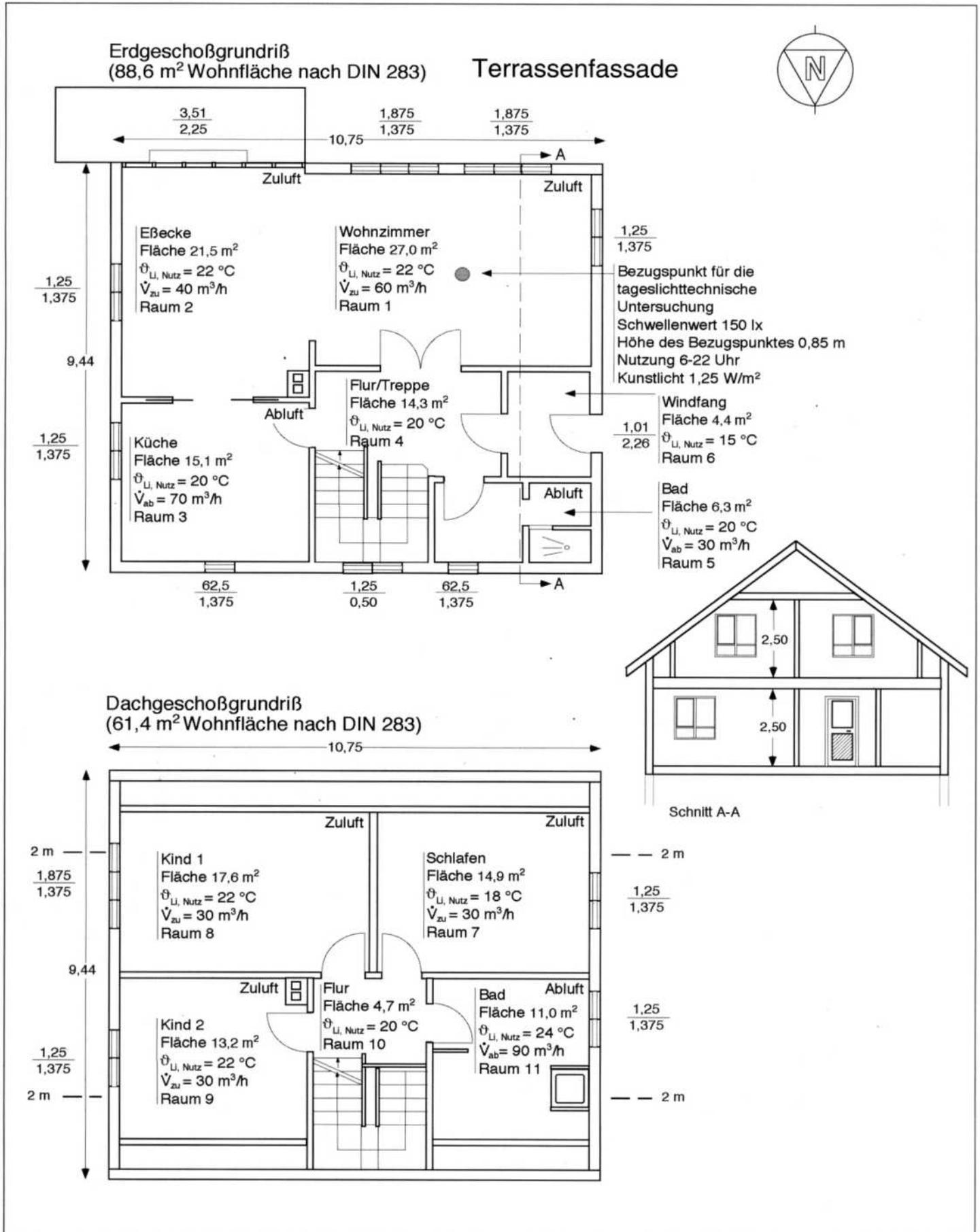
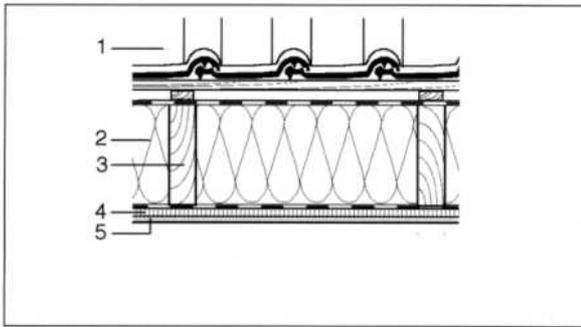
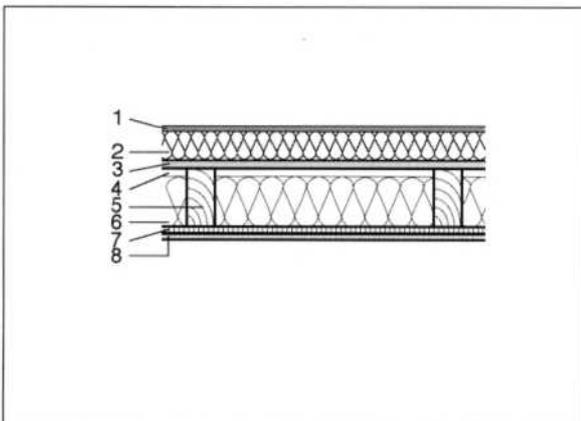


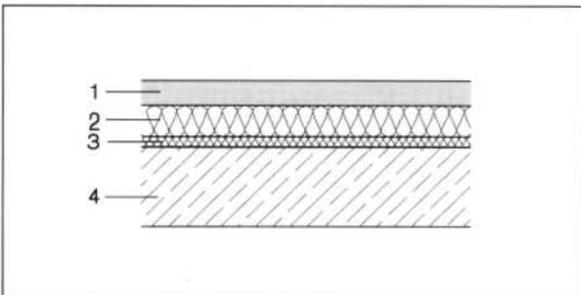
Bild 4.10 Standardgebäude für die Simulationsrechnungen.



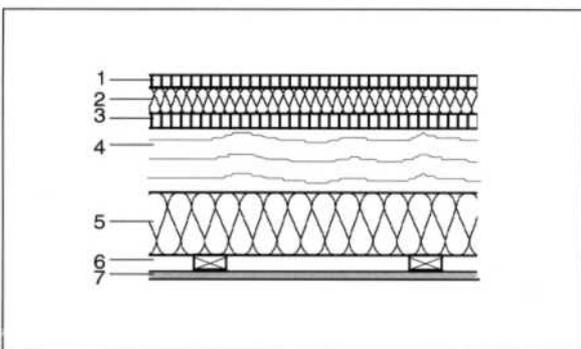
| Dach                       |        |                       |           |                           |
|----------------------------|--------|-----------------------|-----------|---------------------------|
| Baustoff                   | s      | p                     |           |                           |
|                            | [ cm ] | [ kg/m <sup>3</sup> ] | [W/(m K)] |                           |
| 1 Dachstein u. Lattung     |        |                       |           |                           |
| 2 Dämmung                  | 22     | 20                    | 0,04      |                           |
| 3 Rippe 6/22, Achsmaß 62,5 | 62,5   | 22                    | 600       |                           |
| 4 Spanplatte               | 1,6    | 700                   | 0,13      |                           |
| 5 Gipskarton-Bauplatte     | 1,25   | 900                   | 0,21      |                           |
|                            |        |                       | km =      | 0,20 W/(m <sup>2</sup> K) |



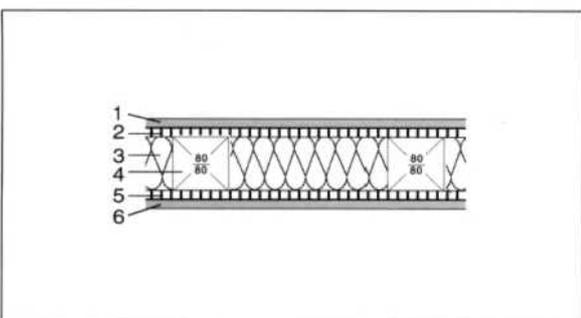
| Außenwand                  |        |                       |           |  |
|----------------------------|--------|-----------------------|-----------|--|
| Baustoff                   | s      | p                     |           |  |
|                            | [ cm ] | [ kg/m <sup>3</sup> ] | [W/(m K)] |  |
| 1 Außenputz                | 0,3    | 1100                  | 0,7       |  |
| 2 Dämmung                  | 6      | 20                    | 0,04      |  |
| 3 Gipsfaserplatte          | 1,25   | 1200                  | 0,36      |  |
| 4 Luftschicht              | 2      | -                     | -         |  |
| 5 Rippe 6/12, Achsmaß 62,5 | 12     | 600                   | 0,13      |  |
| 6 Dämmung                  | 10     | 20                    | 0,04      |  |
| 7 Spanplatte               | 1,6    | 700                   | 0,13      |  |
| 8 Gipskarton-Bauplatte     | 1,25   | 900                   | 0,21      |  |



| Kellerdecke  |        |                       |           |                           |
|--------------|--------|-----------------------|-----------|---------------------------|
| Baustoff     | s      | p                     |           |                           |
|              | [ cm ] | [ kg/m <sup>3</sup> ] | [W/(m K)] |                           |
| 1 Estrich    | 5      | 2000                  | 1,4       |                           |
| 2 Dämmung    | 6      | 20                    | 0,04      |                           |
| 3 Dämmung    | 2      | 20                    | 0,04      |                           |
| 4 Stahlbeton | 16     | 2400                  | 2,1       |                           |
|              |        |                       | km =      | 0,41 W/(m <sup>2</sup> K) |



| Erdgeschoßdecke            |        |                       |           |  |
|----------------------------|--------|-----------------------|-----------|--|
| Baustoff                   | s      | p                     |           |  |
|                            | [ cm ] | [ kg/m <sup>3</sup> ] | [W/(m K)] |  |
| 1 Spanplatte               | 1,9    | 700                   | 0,13      |  |
| 2 Dämmung                  | 4      | 20                    | 0,04      |  |
| 3 Spanplatte               | 2,2    | 700                   | 0,13      |  |
| 4 Rippe 8/20, Abstand 62,5 | 20     | 600                   | 0,13      |  |
| 5 Dämmung                  | 10     | 20                    | 0,04      |  |
| 6 Luftschicht              | 2,4    | 1                     | 0,14      |  |
| 7 Gipskarton-Bauplatte     | 1,25   | 900                   | 0,21      |  |



| Trennwände                |        |                       |           |  |
|---------------------------|--------|-----------------------|-----------|--|
| Baustoff                  | s      | p                     |           |  |
|                           | [ cm ] | [ kg/m <sup>3</sup> ] | [W/(m K)] |  |
| 1 Gipskarton-Bauplatte    | 1,25   | 900                   | 0,21      |  |
| 2 Spanplatte              | 1,3    | 700                   | 0,13      |  |
| 3 Dämmung                 | 8      | 20                    | 0,04      |  |
| 4 Rippe 8/8, Abstand 62,5 | 8      | 600                   | 0,13      |  |
| 5 Spanplatte              | 1,3    | 700                   | 0,13      |  |
| 6 Gipskarton-Bauplatte    | 1,25   | 900                   | 0,21      |  |

Bild 4.11 Regelquerschnitte des Standardfalles für die Simulationsrechnungen.

Beginn der Entwicklung von Niedrigenergiehäusern wurde häufig ausschließlich dem Eintrag der Sonneneinstrahlung Aufmerksamkeit zuteil. Da der Orientierung in der Diskussion über Niedrigenergiehauskonzepte ein derart großes Gewicht beigemessen wurde, werden bei nahezu allen Simulationsrechnungen die Ausrichtung der Terrassenfassade in die Haupthimmelsrichtungen berücksichtigt. Aus den Berechnungen läßt sich ableiten, daß der Orientierungseinfluß bisher weit überschätzt wurde. Beim Standardfall beträgt der Unterschied zwischen Nord- und Südorientierung mit 4,3 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf die Südorientierung 9,3 %<sup>1</sup>. In der gleichen Größenordnung liegt der Einfluß bei allen anderen Berechnungen.

4.2.7 Fensterflächenanteil

Eine Vielzahl von Planern vertritt die Auffassung, daß eine Maximierung der nach Süden orientierten Fensterfläche eine deutliche Erhöhung der nutzbaren Solargewinne bedeuten. Um den Einfluß des Fensterflächenanteils der Terrassenfassade zu dokumentieren, erfolgt eine Untersuchung des Fensterflächenanteils in den Schritten  $f = 0/0,25/0,50/0,75/1,0$ . Bild 4.16 zeigt die Summe aus Jahres-Heizwärmebedarf und Strombedarf für Kunstlicht (mit 2,5 entsprechend dem Primärenergiebedarf gewichtet) in Abhängigkeit von der Orientierung der Terrassenfassade. Der Wärmebedarf ist nahezu konstant. Der äquivalente k-Wert der Fenster [3, 60-69] entspricht in etwa dem äquivalenten k-Wert der Außenwand [3]. Der

Einfluß der Orientierung beträgt 3 bei einem Fensterflächenanteil von 25 %, 4 bei einem 50%igen Fensterflächenanteil, 5 bei 75 % und 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei 100 Fensterflächenanteil. Der Rahmenanteil liegt bei allen Fensterkonstruktionen bei 30 %. Die Untersuchung zeigt, daß die vom Planer in der Regel nicht beeinflussbaren Festlegungen in den Bebauungsplänen bezüglich der Gebäudeorientierungen kompensiert werden können.

4.2.8 Verschattung

Die Verschattungswirkung einer Nachbarbebauung auf die auftreffende Strahlung kann gern. [70] abgeschätzt werden. Bild 4.17 gibt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der auftreffenden Sonneneinstrahlung wieder. Die mit der Verringerung der Sonneneinstrahlung einhergehende Vergrößerung des Strombedarfs für Kunstlicht wird bei den Berechnungen berücksichtigt. Dem Diagramm ist zu entnehmen, daß die Sonneneinstrahlung erheblich zur Verringerung des Heizwärmebedarfs beiträgt. Bei der vollständigen Verschattung aller Außenbauteile steigt der Wärmebedarf um 67 %. Eine Verschattung von 40 % ergibt beispielsweise eine Erhöhung um 18 %.

4.2.9 Farbgebung der Außenbauteile

Die Farbgebung der Außenbauteile beeinflusst die Absorption (as) der Sonneneinstrahlung. Durch die Wärmequelle infolge der Strahlungsabsorption erhöht sich die Außenoberflächentemperatur und verringert damit den Wärmeverlust durch das Bauteil. Mit zunehmendem Dämmniveau der Außenbauteile nimmt dieser Einfluß jedoch ab. Der Einfluß einer hellen Hüllfläche (as = 0,3) und einer dunklen Hüllfläche (as = 0,9) im Vergleich zum Standardfall (as = 0,6) ist in Bild 4.18 wiedergegeben. Die helle Hüllfläche (Außenwände, Fensterrahmen und Dächer) ergibt für die Südorientierung eine Erhöhung des Jahres-Heizwärmebedarfs um 4 %. Bei der dunklen Hüllfläche liegt der Jahres-Heizwärmebedarf um 4,2 % niedriger als der Heizwärmebedarfs des Standardfalls. as-Werte einzelner Farben finden sich in [70, 71]

4.2.10 Transluzente Wärmedämmung

Durch die Verwendung transluzenter Dämm-Materialien ist es möglich, die Sonneneinstrahlung für die Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs stärker zu nutzen [3, 72-77].

Das hier betrachtete Element besteht aus einem Glaspaneel aus 4 mm dicken Glas-

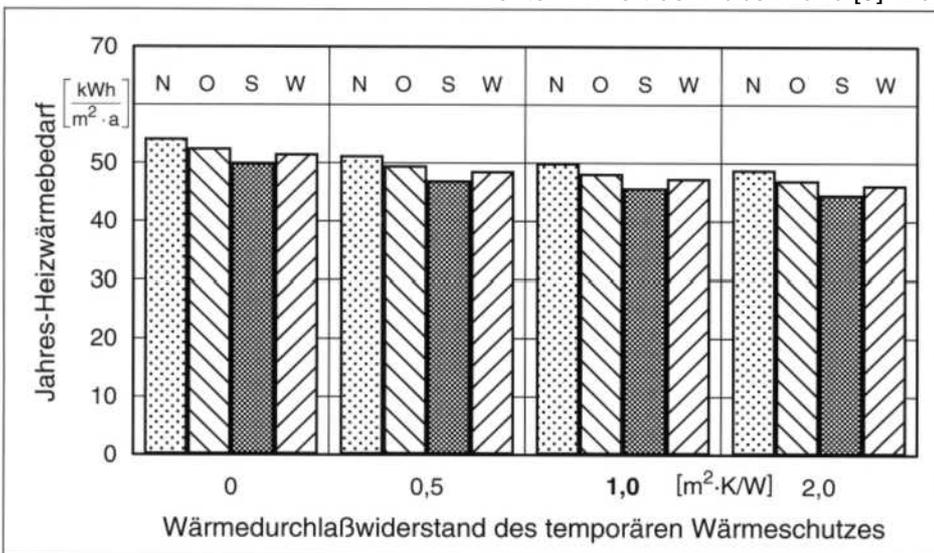


Bild 4.15 Einfluß der Wärmedämmung des temporären Wärmeschutzes auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (1,0 m<sup>2</sup>·KW), jedoch mit unterschiedlichem Wärmeschutz vor allen Fenstern, der mit Sonnenauf- bzw. -untergang bedient wird.

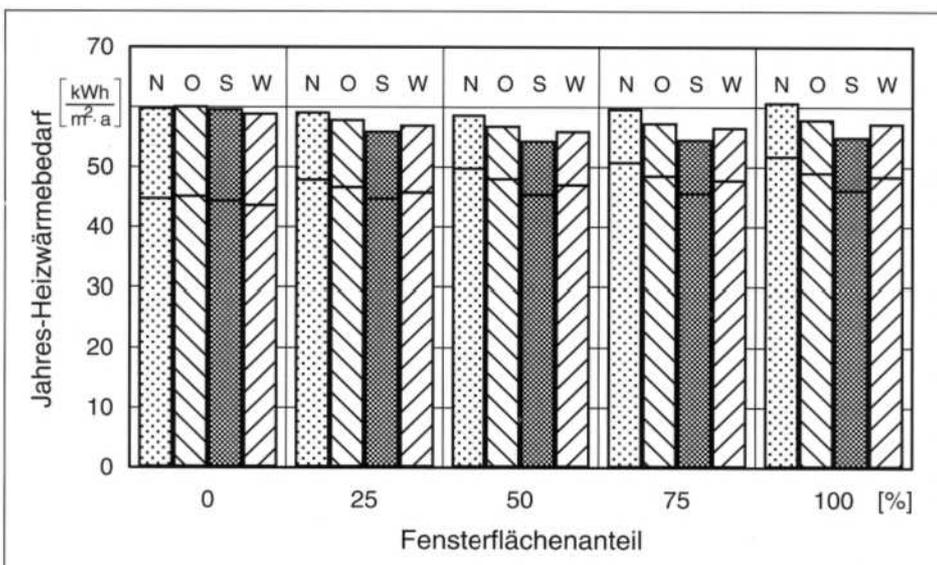


Bild 4.16 Einfluß des Fensterflächenanteils in der Terrassenfassade auf den Jahres-Heizwärmebedarf, inklusive Strombedarf für Kunstlicht (oberhalb des Strichs, Energieäquivalent 2,5). Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Fensterflächenanteil wie angegeben.

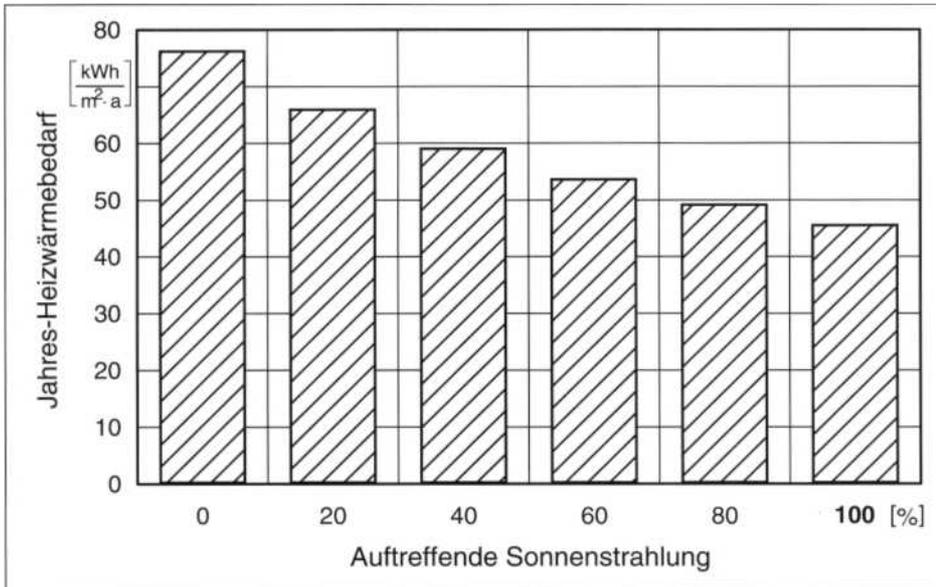


Bild 4.17 Einfluß der Sonneneinstrahlung auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (100 %), Südorientierung.

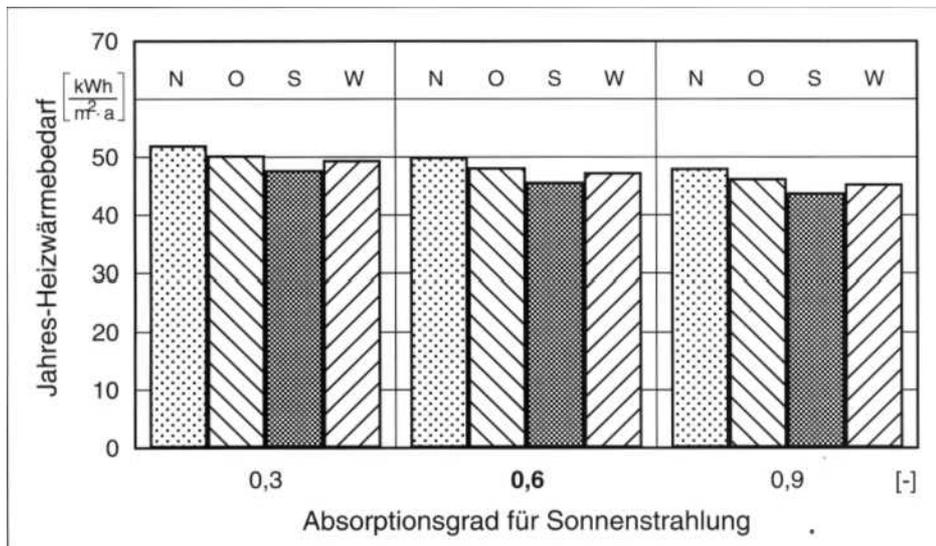


Bild 4.18 Einfluß der Farbgebung auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (0,6), jedoch variable Absorptionsgrade für kurzwellige Strahlung.

scheiben und senkrecht zur Oberfläche orientierten dünnwandigen Röhrcchen im Luftzwischenraum mit einer Schichtdicke von 122 mm. Der Wärmedurchlaßwiderstand des Systems beträgt 1,37 m<sup>2</sup>K/W. Die Abhängigkeit der Strahlungstransmission des Elementes vom Einstrahlwinkel wird entsprechend den Herstellerangaben berücksichtigt. Für die Absorption der Sonneneinstrahlung hinter der transluzenten Wärmedämmung wird eine 20 cm dicke Betonwand mit einem Absorptionsgrad von 0,96 zugrunde gelegt. Für den Einbau der transluzenten Wärmedämmung mit Betonwand steht in der Terrassenfassade im Erdgeschoß eine Wandfläche von 13,53 m<sup>2</sup> zur Verfügung. In Bild 4.19 ist der Jahres-Heizwärmebedarf für den Standardfall sowie für das Gebäude mit transluzenter Wärmedämmung wiedergegeben. Im

günstigsten Fall reduziert sich der Jahres-Heizwärmebedarf auf 39,3 kWf/(m<sup>2</sup>a). Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß derartige Systeme einen hocheffektiven Sonnenschutz benötigen, da anderenfalls zu hohe Innenoberflächentemperaturen im Wohnraum sowie für die transluzente Wärmedämmung unzulässig hohe Temperaturen in der absorbierenden Grenzschicht auftreten können.

4.2.11 Wintergärten

Die Wirkung von Wintergärten auf den Heizwärmebedarf erfolgt auf dreierlei Art und Weise: Einerseits wird durch die bei Wintergärten im allgemeinen größere Glasfläche in der Fassade entsprechend mehr "Sonnenenergie" eingefangen, und andererseits gelangt infolge der Winter-

gartenhülle weniger Strahlungsenergie in den Raum, der hinter dem Wintergarten angeordnet ist. Des weiteren entsteht durch den Wintergarten eine Zwischenzone zwischen Raum- und Außenklima, eine sogenannte Pufferzone. Der Energieeinspareffekt der Pufferzone beruht auf der kleineren Temperaturdifferenz zwischen Raum und Pufferzone gegenüber Raum und Außenluft und wirkt auch ohne Sonneneinstrahlung. Dabei werden durch die Pufferzone die Transmissionswärmeverluste und, wenn der Luftaustausch über die Pufferzone erfolgt, was üblicherweise der Fall ist, auch die Lüftungswärmeverluste verringert. Die energetische Wirkung von Wintergärten wird u. a. in [78-88] behandelt.

Für das im vorliegenden Fall betrachtete Objekt soll die Wirkung eines Wintergartens derart dargestellt werden, daß ein nichtbeheizter, wärmeschutzverglaster Wintergarten mit einem Rahmenanteil der Konstruktionselemente von 30 % vor der gesamten Terrassenfassade angeordnet ist, mit einer Tiefe von 3 m und einer oberen Begrenzung, die sich durch die Verlängerung der Dachfläche jedoch in verglaster Ausführung ergibt. Die Bodenplatte des Wintergartens besteht aus einer ungedämmten Betonplatte. Der Wintergarten sei relativ dicht, so daß sich im Regelfall ein Luftwechsel von 0,2 h<sup>-1</sup> zwischen Wintergarten und Außenluft einstellt. Bei Temperaturen im Wintergarten zwischen 24 und 26 °C werden jedoch Lüftungskappen betätigt, so daß der Luftwechsel auf 5 h<sup>-1</sup> und bei Wintergartentemperaturen über 26 °C auf 20 h<sup>-1</sup> ansteigt. Die Versorgung des angrenzenden Wohnzimmers und der Eßecke mit Frischluft erfolgt nach wie vor über die mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und der zusätzliche Luftaustausch über Infiltration durch die Undichtigkeiten wird unverändert beibehalten. Um auch den Fall zu untersuchen, daß der Nutzer verstärkt das zum Teil hohe Temperaturniveau im Wintergarten zur Minderung des Heizwärmebedarfs nutzt, wird noch folgender, zusätzlicher Fall betrachtet: Sobald die Lufttemperatur im Wintergarten 24 °C übersteigt und die Raumlufttemperatur ihren Soll-Wert nicht mehr als 2 K übersteigt, wird ein Luftaustausch zwischen Wintergarten und Wohnzimmer von 50 m<sup>3</sup>/h angesetzt.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Orientierung des Gebäudes mit dem Wintergartensystem sind die Jahres-Heizwärmebedarfswerte für die betrachteten Fälle dem Fall "ohne Wintergarten" in Bild 4.20 gegenübergestellt. Erwartungsgemäß ist der

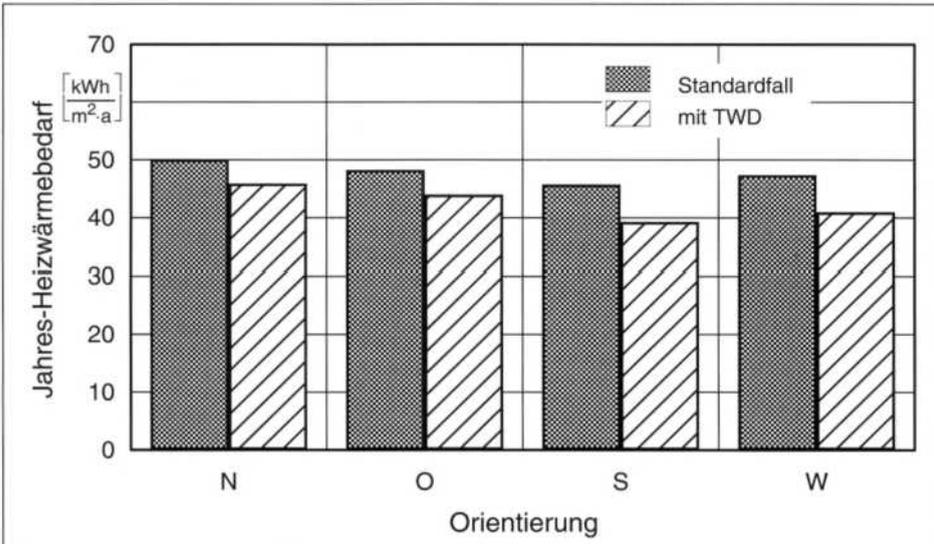


Bild 4.19 Einfluß der transluzenten Wärmedämmung (TWD) auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, sowie Außenwand mit TWD.

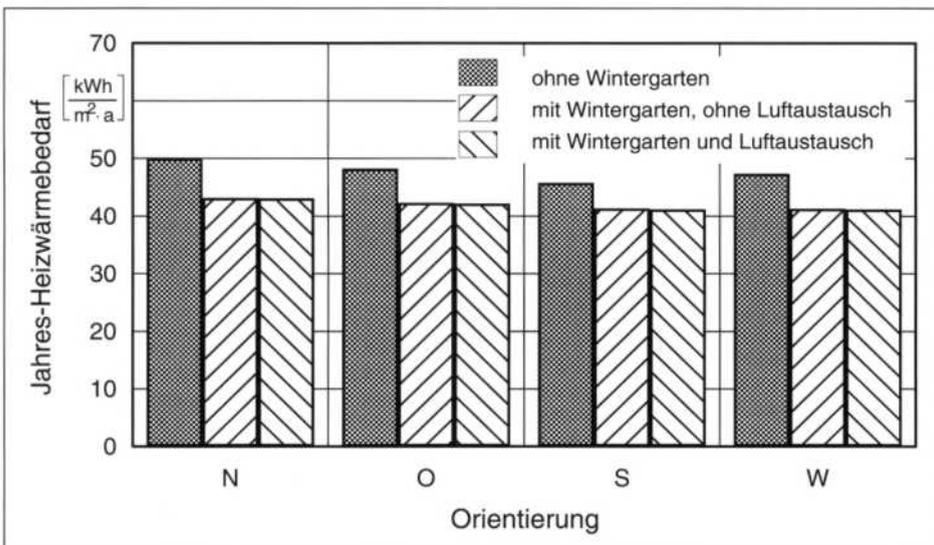


Bild 4.20 Einfluß des Wintergartens auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (ohne Wintergarten), sowie Gebäude mit Wintergarten an der Terrassenfassade, mit und ohne Luftaustausch zwischen Wintergarten und Wohn-/Eßzimmer.

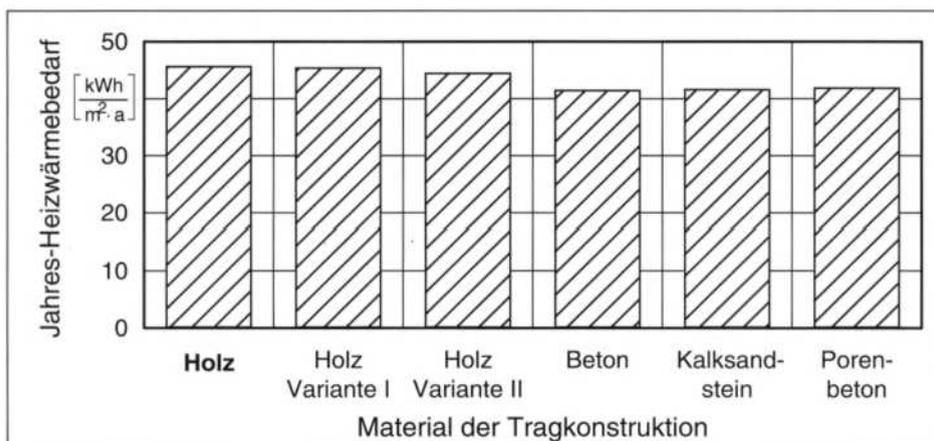


Bild 4.21 Einfluß der Bauart auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, Südorientierung Variante I, wie Standardfall, zusätzlich Zementestrich in der Obergeschoßdecke Variante II, wie Variante I. zusätzlich Verbundestrich in der Kellerdecke

Orientierungseinfluß relativ klein - bei Nordorientierung ergeben sich etwas höhere Einsparungen als bei Südorientierung - und die Jahres-Heizwärmebedarfs-Minderungen betragen 4-7 kWh/(m²a).

Die zusätzlich untersuchte Lüftungsstrategie des Luftaustausches zwischen Wintergarten und Wohnraum bei einem Temperaturgefälle vom Wintergarten hin zum Wohnraum wirkt sich energetisch nicht aus.

#### 4.2.12 Einfluß der Bauart (Wärmespeicherefähigkeit)

Die Holzbauart ist im Vergleich zur Massivbauart durch eine geringere Speicherefähigkeit gekennzeichnet. Gerade im Hinblick auf die Nutzung der Sonnenenergie wird mit der Speicherefähigkeit als besonders wirksame Komponente argumentiert. Dies läßt vermuten, daß Niedrigenergiehäuser in Holzbauart nicht möglich sind. Um diesem Irrtum entgegenzuwirken, wird das Standardgebäude für verschiedene Materialien (Beton, Kalksandstein und Porenbeton) untersucht, wobei die k-Werte konstant gehalten werden. Die Konstruktionen können [44] entnommen werden. Der Vergleich der Jahres-Heizwärmebedarfswerte ist in Bild 4.21 enthalten werden. Bei dem betrachteten Gebäude ist der Jahres-Heizwärmebedarf der Ausführung in Beton am geringsten. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei geringer Wärmespeicherefähigkeit die empfundene Raumtemperatur, die für die Behaglichkeit maßgebend ist, höher liegt weshalb in der Praxis kleinere Unterschiede bzw. sogar Tendenzumkehrungen auftreten können.

## 5 Haustechnik

### 5.1 Raumheizung

Alle in Abschnitt 4 durchgeführten Berechnungen weisen den Jahres-Heizwärmebedarf bei ideal flinkem Heizsystem aus. Der erforderliche Wärmebedarf für die einzelnen Zonen wird an Hand des vorgegebenen Sollwertes der Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von den internen Wärmequellen und den Wärmeverlusten exakt bestimmt. Dieses Modell stellt einen Idealfall dar. Durch Heizungssysteme treten zusätzlich Verluste infolge der Verteilung und der Umwandlung auf. Die bei der Idealisierung als fixer Wert vorgegebene Schwelle für die Regelung der Heizleistung muß bei der Untersuchung der Heizungsart durch eine temperaturabhängige Regelung der Heizleistung für jeden Raum ersetzt werden. Für die Simulationsrechnungen werden die Modelle für

eine thermostatisch geregelte Luft- sowie Warmwasserheizung verwendet. Bei der Wärmeabgabe der Warmwasserheizung finden Plattenheizkörper und Flächenheizungen (Fußbodenheizung) Berücksichtigung.

Für das Heizungsmodell werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Heizung befindet sich im Keller. Ein Teil der Verteilungsverluste wird im Keller freigesetzt und steht zur Minderung des Heizungswärmebedarfes nicht zur Verfügung.
- Die Warmwasserbereitung erfolgt separat.
- Die Verteilungsverluste im beheizten Bereich werden pauschal in Abhängigkeit vom Wärmebedarf der einzelnen

Räume ermittelt und vollständig der jeweiligen Zone als interne Wärmequelle zugeordnet.

- Die Verteilungsverluste im unbeheizten Bereich werden in Abhängigkeit von der Außenluft zwischen 0 W und 300 W angesetzt.
- Die Heizkörper werden mit einem Thermostatventil geregelt.

Der Jahres-Heizenergiebedarf des gesamten Gebäudes errechnet sich aus der Summe der für die Aufrechterhaltung der Sollwerte der Raumlufttemperaturen notwendigen Wärmeabgabe der Heizkörper, den Verteilungsverlusten sowie dem Kesselwirkungsgrad. Die Abhängigkeit des Kesselwirkungsgrads von der Kesselauslastung kann [44] entnommen werden. Um den Einfluß der installierten Kessellei-

stung auf den Jahres-Heizenergiebedarf aufzuzeigen, werden vier Kesselgrößen in den Leistungsstufen 10 kW, 15 kW, 20 kW und 25 kW untersucht. Grundlage der Untersuchung ist der Standardfall, jedoch mit einer Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern. Bild 5.1 zeigt den Anstieg des Jahres-Heizenergiebedarfs mit zunehmender Kesselleistung. Der Jahresnutzungsgrad schwankt zwischen 88 bei 25 kW Kesselleistung und 98 % bei 10 kW Kesselleistung.

Für die Fußbodenheizung wird eine maximale Heizleistung von 150 W/m<sup>2</sup> in Ansatz gebracht. Die Regelung erfolgt über die Außenlufttemperatur und zusätzlich mit Thermostatventilen in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur. Die für die Beheizung notwendige Leistung wird als Wärmequelle im Estrich, 2 cm über der Wärmedämmung, angesetzt. Der im Standardfall für die Kellergeschoßdecke vorhandene k-Wert von 0,41 W/(m<sup>2</sup>K) wird den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung [50] im Falle der Fußbodenheizung, wo maximal 0,35 W/(m<sup>2</sup>K) gefordert werden, angepaßt. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerdecke zwischen Heizebene und Keller beträgt 0,32 W/(m<sup>2</sup>K).

Beim Vergleich der Heizungssysteme werden vier Systeme miteinander verglichen. Die optimale Lösung stellt eine trägheitslose Luftheizung ohne Regelabweichung der Raumlufttemperatur dar. Alle bisher durchgeführten Berechnungen basieren auf diesem Modell. Bei der vergleichenden Untersuchung werden eine trägheitslose Luftheizung, eine Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern sowie eine Warmwasserfußbodenheizung miteinander verglichen. Die Steuerung der Heizung erfolgt nach der Raumlufttemperatur. Bei Regelung nach der empfundenen Temperatur verringert sich der Wärmebedarf für die Flächenheizung, da die Raumlufttemperatur abgesenkt werden kann. Bild 5.2 zeigt den Vergleich der Jahres-Heizwärme- und -energiebedarfswerte für das Standardgebäude. Durch die Berücksichtigung der Regelungstechnik bei der Luftheizung erhöht sich der Heizwärmebedarf von 45,8 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 46,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Jahresnutzungsgrad errechnet sich zu 98,7 %. Aufgrund der schlechteren Regelungsfähigkeit durch die Speichereffekte bei der Warmwasserheizung mit Plattenheizkörper steigt der Jahres-Heizwärmebedarf um 12 % auf 51,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) und der Wärmebedarf für die Fußbodenheizung um 18 % auf 54,0 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Jahreswirkungsgrad der Warmwasserheizung mit

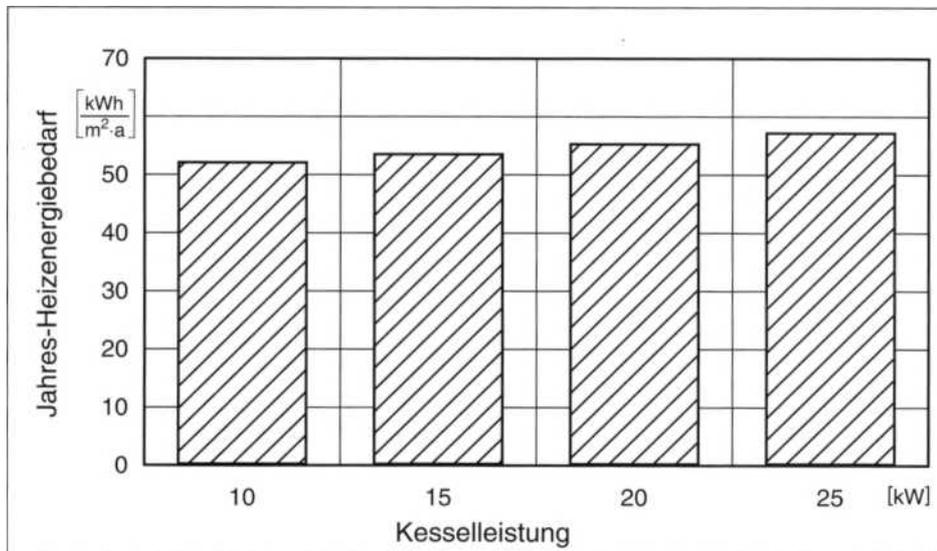


Bild 5.1 Einfluß der installierten Kesselleistung auf den Jahres-Heizenergiebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (ideale Luftheizung), jedoch Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern.

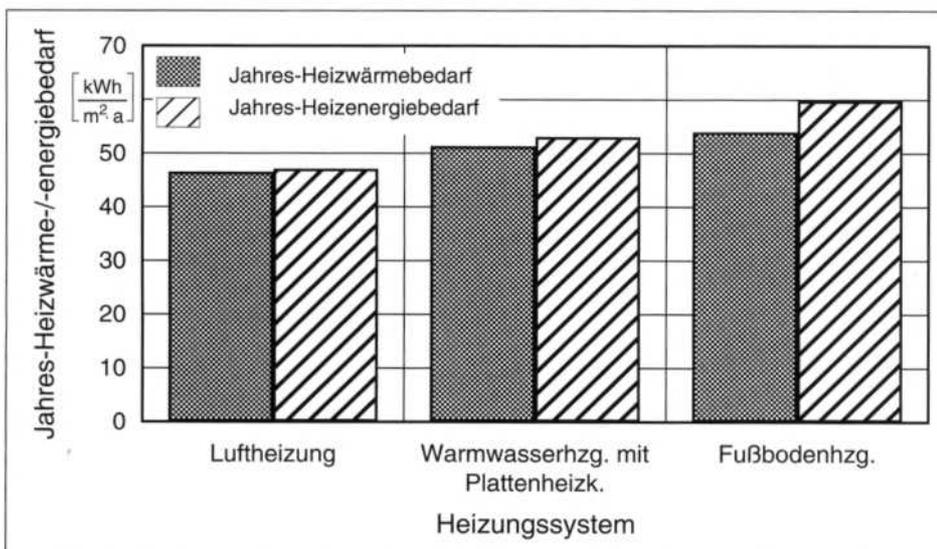


Bild 5.2 Einfluß des Heizungssystems auf den Jahres-Heizwärmebedarf und den Jahres-Heizenergiebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (ideale Luftheizung), jedoch geregelte Luftheizung, Warmwasserheizung mit Plattenheizkörper sowie Fußbodenheizung.

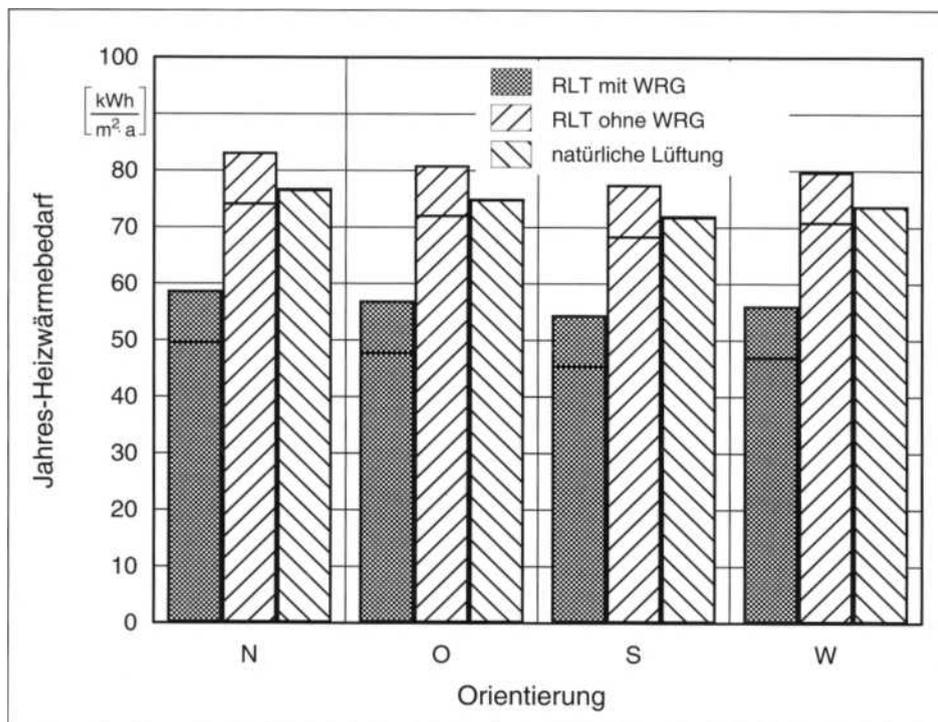


Bild 5.3 Einfluß der Lüftungsanlage auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (RLT mit WRG), jedoch RLT ohne WRG sowie natürliche Lüftung mit einem konstanten Luftwechsel von  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Der Strich markiert den Anteil des Jahres-Heizwärmebedarfs allein, der darüberliegende Bereich den Strombedarf.

Plattenheizkörpern errechnet sich zu 96,6 % und der Fußbodenheizung zu 89 %.

Die Ergebnisse machen deutlich, daß für die Beheizung eines Niedrigenergiehauses ein flinkes Heizungssystem mit geringer Speicherefähigkeit vorteilhaft ist. Eine

Verbesserung des Regelungsverhaltens von Fußbodenheizungen kann durch den Einbau von Trockenestrichen und einer Erhöhung der Wärmedämmung zum Keller hin erreicht werden. Dem Aspekt der thermostatischen Regelung mittels einer

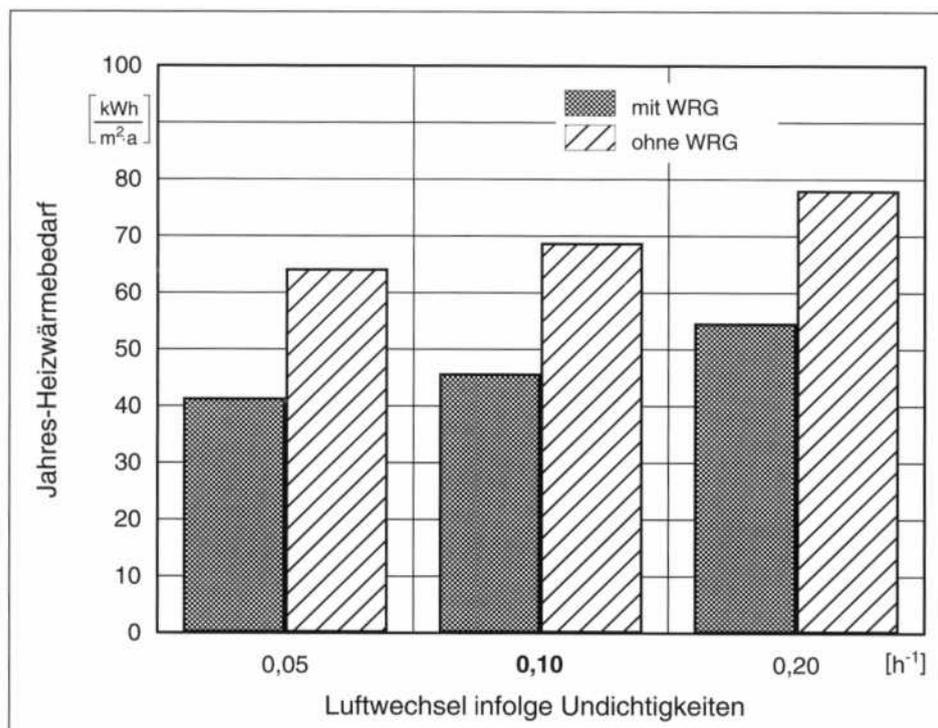


Bild 5.4 Einfluß der Gebäudedichtigkeit auf den Jahres-Heizwärmebedarf bei Gebäuden mit Lüftungsanlage mit und ohne Wärmerückgewinnung. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall ( $0,10 \text{ h}^{-1}$ ), Südorientierung, Wärmerückgewinnung  $n = 65 \%$ .

operativen Lufttemperatur wird bei der Simulation keine Rechnung getragen. Damit wird der Effekt vernachlässigt, daß bei Flächenheizungen zur Erlangung gleicher Behaglichkeit wie bei kleinformatigen Heizkörpern die Lufttemperatur abgesenkt und Energie eingespart werden kann.

## 5.2 Lüftungstechnik

Für Niedrigenergiehäuser ist eine Lüftungsanlage notwendig. Mit einem zentralen Zu- und Abluftsystem wird eine hohe Luftqualität erreicht. Durch den Einbau einer Zu- und Ablufführung kann die in der Fortluft enthaltene Wärme durch einen Wärmetauscher genutzt werden. Um die angestrebte Energieeinsparungen mit der Lüftungsanlage zu erreichen, ist eine sorgfältige Konzipierung und regelmäßige Wartung notwendig. Die in dem Standardgebäude untersuchte Lüftungsanlage verfügt über eine Wärmerückgewinnung mit einem Nutzungsgrad von konstant 65

Die Wirkung der raumlufttechnischen Anlage mit und ohne Wärmerückgewinnung (WRG) sowie der Einfluß der natürlichen Lüftung auf den Jahres-Heizenergiebedarf läßt sich Bild 5.3 entnehmen. Bei der natürlichen Lüftung errechnet sich der Jahres-Heizwärmebedarf für die Südorientierung zu  $72 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Der Jahres-Heizwärmebedarf verringert sich bei der Lüftungsanlage ohne WRG auf  $68,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Kommt hingegen eine Lüftungsanlage mit WRG zum Einsatz, so reduziert sich der Jahres-Heizwärmebedarf auf  $45,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ; gegenüber der natürlichen Lüftung beträgt die Verringerung 37 %.

Der Einfluß der Gebäudedichtigkeit für eine RLT mit und ohne Wärmerückgewinnung läßt sich Bild 5.4 entnehmen.

Eine weitere Reduzierung der Lüftungswärmeverluste wird durch die Vorerwärmung der Außenluft erreicht. Ein System, welches bisher bei einigen Objekten realisiert wurde, ist der Erdkanal. Bei diesem System liegt ein Zuluftkanal im Erdreich. Der Wirkungsgrad des Erdwärmetauschers wird zu 80 % angenommen. Dies entspricht einer Rohrlänge von ca. 50 m. Eine ausführliche Beschreibung des Berechnungsmodells enthält [89]. Bild 5.5 gibt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Einbautiefe des Erdkanals und der Lüftungsart wieder. Der Erdkanal mindert den Jahres-Heizwärmebedarf wie in Tabelle 5.1 angegeben.

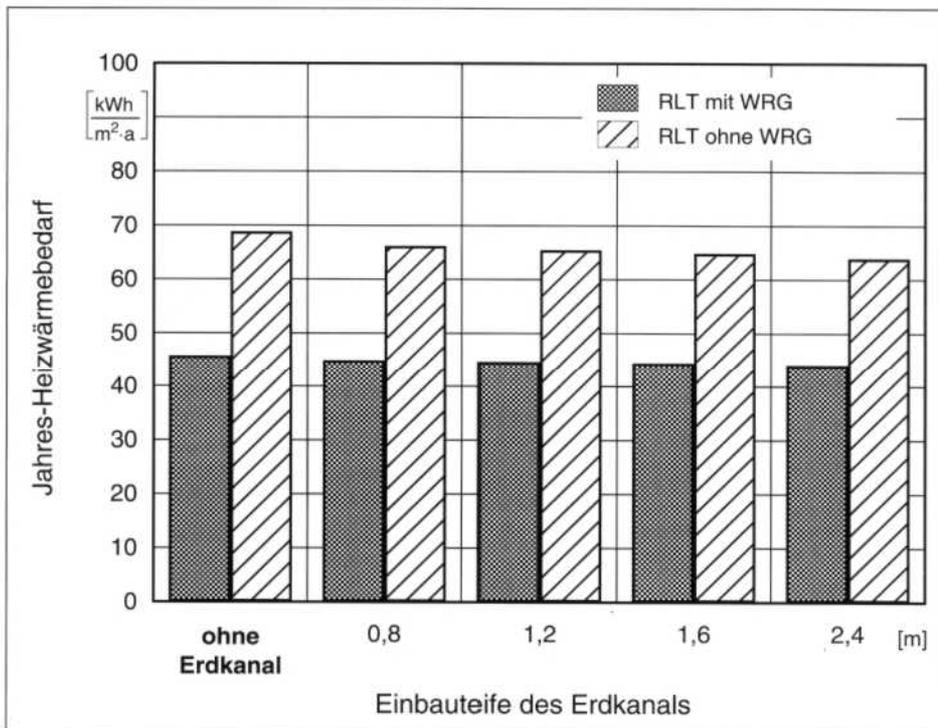


Bild 5.5 Einfluß des Erdkanals auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (ohne Erdkanal), jedoch Erwärmung der Zuluft mit einem Erdkanal, Einbautiefe wie angegeben.

Tabelle 5.1 Minderung des Jahres-Heizwärmebedarfs mit einem Erdkanal.

| Einbautiefe | Lüftungsart  | Einsparung     |
|-------------|--------------|----------------|
| 0,80 m      | RLT ohne WRG | 2,7 kWh/(m²·a) |
|             | RLT mit WRG  | 0,8 kWh/(m²·a) |
| 1,20 m      | RLT ohne WRG | 2,7 kWh/(m²·a) |
|             | RLT mit WRG  | 0,8 kWh/(m²·a) |
| 1,60 m      | RLT ohne WRG | 3,4 kWh/(m²·a) |
|             | RLT mit WRG  | 1,1 kWh/(m²·a) |
| 2,40 m      | RLT ohne WRG | 4,0 kWh/(m²·a) |
|             | RLT mit WRG  | 1,3 kWh/(m²·a) |

## 6 Einfluß der Nutzung

Das Nutzerverhalten entscheidet darüber, ob die vom Planer gewählten Maßnahmen zum Erfolg führen. Viele Maßnahmen, insbesondere die Lüftungsanlage, ist in ihrer Wirksamkeit vom zusätzlichen Lüftungsverhalten stark abhängig. Der Einfluß der Nutzer wird an Hand der Parameter Raumlufttemperatur, Dauer der Nachtabsenkung, Lüftungsverhalten und Höhe der internen Wärmequellen aufgezeigt.

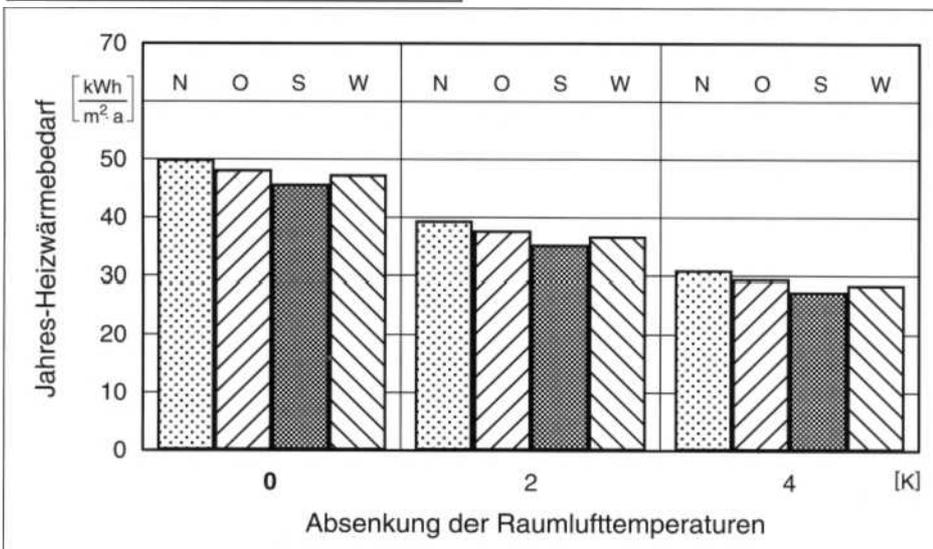


Bild 6.1 Einfluß der Absenkung des Sollwerts der Raumlufttemperaturen während der Nutzungszeit auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (0), jedoch Absenkung der Raumlufttemperaturen wie angegeben.

### 6.1 Raumlufttemperaturniveau

Über die Höhe der in den einzelnen Räumen eines Wohngebäudes vorliegenden Raumlufttemperatur kann keine allgemeingültige Aussage gemacht werden. Der Temperaturbereich, in dem sich ein für die Nutzer behagliches Klima einstellt, ist auch von vielen physiologischen und psychologischen Faktoren abhängig. Das in den Standarduntersuchungen verwendete Temperaturniveau wird als in allen Fällen behaglich und somit als obere Grenze angesehen. Bewohner, die den sparsamen Einsatz von Heizenergie zum Ziel haben, akzeptieren in vielen Fällen auch geringere Raumlufttemperaturen. Diesem Aspekt wird durch die Untersuchung der Standardgebäude mit einer Absenkung der Raumlufttemperaturen um 2 K und 4 K in allen Zonen Rechnung getragen. Bild 6.1 sind die Auswirkungen zu entnehmen. Eine Absenkung der Raumlufttemperaturen um 2 K verringert den Jahres-Heizwärmebedarf um 27 %. Bei einer Absenkung um 4 K mindert sich der Jahres-Heizwärmebedarf sogar um 34 %. Die Entscheidung, ob einer derartige Maßnahme für die Senkung des Heizwärmebedarfs zum Einsatz kommen kann, liegt ausschließlich beim jeweiligen Nutzer und kann nicht als generelle Lösung angesehen werden.

### 6.2 Intermittierende Nutzung

Durch die Verkürzung der täglichen Heizdauer ist ebenfalls eine Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs möglich. Für die Berechnungen wird das Standardgebäude und die Standardnutzung zugrunde gelegt. Eventuelle Änderungen der internen Wärmequellen und des Strombedarfs für Kunstlicht, die üblicherweise mit einer kürzeren täglichen Nutzungsdauer einhergehen, bleiben zur Erlangung einer Vergleichbarkeit unberücksichtigt. Für diese Untersuchung wird lediglich der Zeitraum der Beheizung zwischen 0 h und 16 h in 2 h-Schritten variiert. Der untere Grenzwert der Raumlufttemperatur beträgt bei allen Räumen 10 °C. Bild 6.2 zeigt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der täglichen Nutzungsdauer. Beim Nutzungstyp ohne Anstieg der Lufttemperatur (0 h) ist zur Aufrechterhaltung der Mindestraumlufttemperatur nur ein spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf von 4,5 kWh/(m²a) notwendig. Bleibt die tägliche Nutzungsdauer beispielsweise auf 2 h begrenzt, so verringert sich der Jahres-Heizwärmebedarf um 32 % bezogen auf den Standardfall mit 16 h Nutzungsdauer.

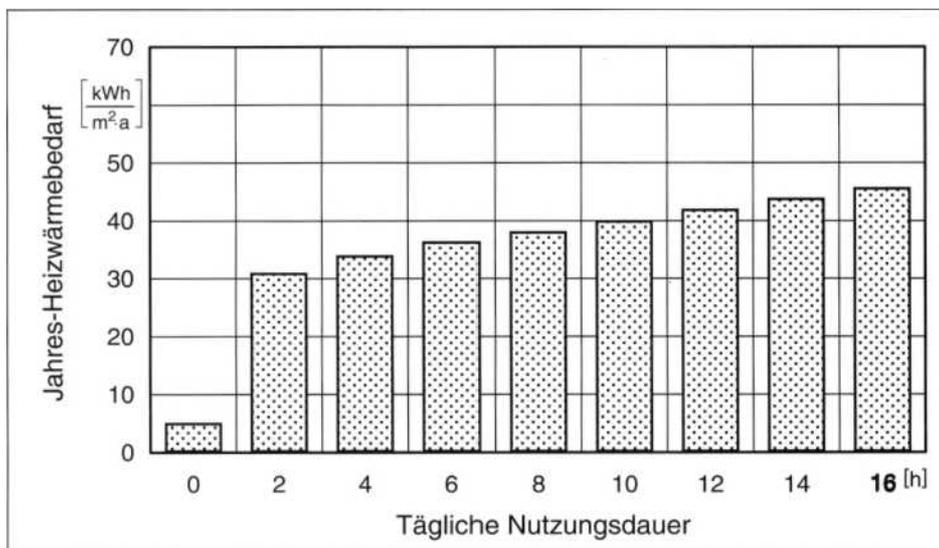


Bild 6.2 Einfluß der täglichen Dauer der Beheizung auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (16 h), jedoch Beheizungsdauer wie angegeben.

### 6.3 Lüftungsverhalten

Auf die Bedeutung der Gebäudelüftung bei Niedrigenergiehäusern wurde bereits mehrfach hingewiesen. Der Einfluß von Undichtigkeiten wurde in Abschnitt 4.2.4 untersucht. Das Ergebnis ist, daß bereits geringe Undichtigkeiten den Jahres-Heizwärmebedarf spürbar ( $19 \text{ }^\circ\text{C}$ ) erhöhen. Dies läßt vermuten, daß eine zusätzliche Stoßlüftung einen erheblichen Mehrver-

brauch bedeutet. Um den Einfluß zu dokumentieren, werden drei Lüftungszyklen für die Stoßlüftung in Kinderzimmer 1 und 2, Schlaf- und Wohnzimmer, Bad, Küche, Eßecke und WC mit einem fünffachen Luftwechsel im gesamten Gebäude untersucht. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung arbeitet parallel. Dabei handelt es sich bei Zyklus 1 um eine allmorgendliche einstündige Stoßlüftung von 8.00 bis 9.00 Uhr. Zyklus 2 bein-

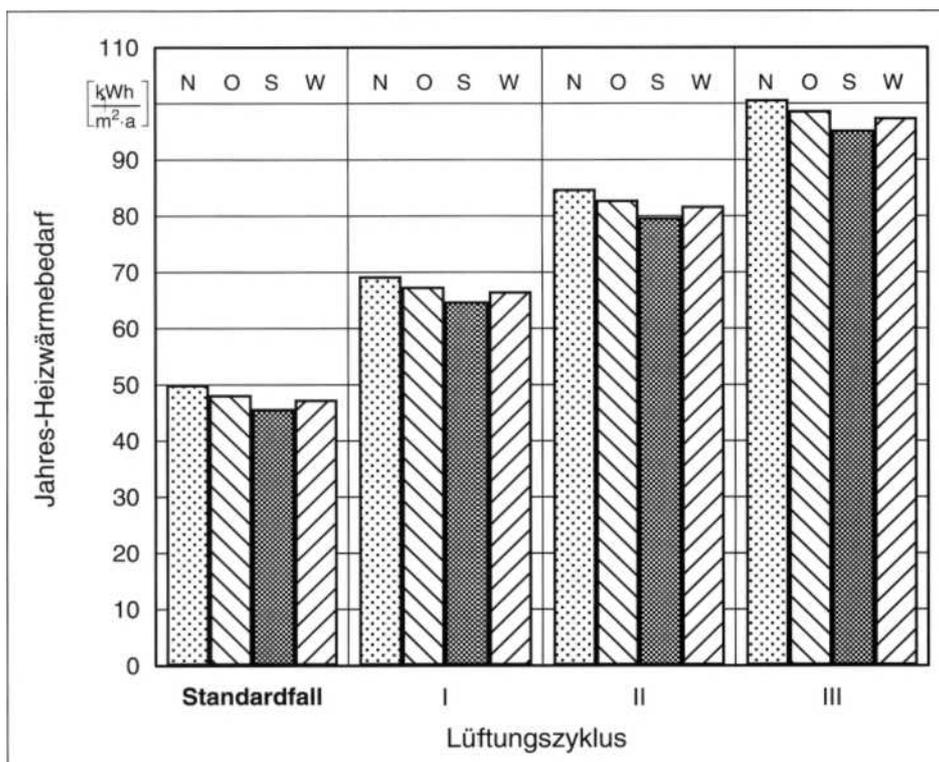


Bild 6.3 Einfluß der zusätzlichen Stoßlüftung in Kinderzimmer 1 und 2, Schlaf- und Wohnzimmer, Bad, Küche, Eßecke und WC auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten:

- Standardfall, keine Stoßlüftung
- Zyklus I, zusätzlich Stoßlüftung von 8 Uhr bis 9 Uhr mit  $n = 5 \text{ h}^{-1}$
- Zyklus II, wie Zyklus I, zusätzliches Lüften von 12 Uhr bis 13 Uhr mit  $n = 5 \text{ h}^{-1}$
- Zyklus III, wie Zyklus II, zusätzliches Lüften von 17 Uhr bis 18 Uhr mit  $n = 5 \text{ h}^{-1}$

haltet Zyklus 1 und zusätzlich eine Stoßlüftung zwischen 12.00 und 13.00 Uhr. Zyklus 3 beinhaltet Zyklus 2 und zusätzlich eine Stoßlüftung von 17.00 bis 18.00 Uhr. Der Vergleich des Standardmodells mit den Lüftungszyklen 1-3 ist in Bild 6.3 wiedergegeben. Bereits Zyklus 1 führt zu einem Anstieg des Jahres-Heizwärmebedarfes um 45 %. Bei Zyklus 2 liegt die Zunahme bereits bei 84 %. Eine Zunahme des Wärmebedarfes um 124 % stellt sich bei Zyklus 3 ein.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Anpassung des Nutzerverhaltens an die Lüftungsanlage über das Niedrigenergiekonzept entscheidet.

### 6.4 Interne Wärmequellen

Auf die Bedeutung der internen Wärmegewinne wurde bereits mehrfach hingewiesen. Um den Einfluß darzustellen, werden die in Abschnitt 4.2.1 entwickelten Profile proportional verändert. Die Untersuchung dient nur einer näherungsweise Darstellung der Abhängigkeiten. Bild 6.4 zeigt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit vom Proportionalitätsfaktor. Bei der Untersuchung wird der Bereich zwischen 0 % und 200 % betrachtet. Eine Gebäudebeheizung ohne Wärmequelle verursacht einen Mehrverbrauch von 27 %. Die Verdopplung der Standardnutzung verringert den Jahres-Heizenergiebedarf um 22 %. Eine Änderung der Wärmequellen um 20 % ergibt eine Änderung des Jahres-Heizwärmebedarfes um ca. 4,5

## 7 Standort

Die klimatischen Verhältnisse unterscheiden sich innerhalb Deutschlands hinsichtlich der Außenlufttemperatur, der Sonneneinstrahlung und der Windverhältnisse [46]. Bezogen auf den Standardfall liegt z. B. in Hof ein um  $12,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  höherer und in Freiburg ein um  $7,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  kleinerer Jahres-Heizwärmebedarf vor.

## 8 Zusammenfassung

Bei der Planung von Niedrigenergiehäusern werden bisher häufig wichtige Aspekte nur intuitiv behandelt. Dies führt zu Enttäuschungen bei den Bauherren, wenn angestrebte Energieverbräuche deutlich überschritten werden. Um dem Planer Hilfen für den Gebäudeentwurf zur Verfügung zu stellen, wird der Einfluß einzelner Parameter auf das energetische Verhalten von Gebäuden dokumentiert.

Der Vorgehensweise bei Gebäudeentwürfen entsprechend werden folgende

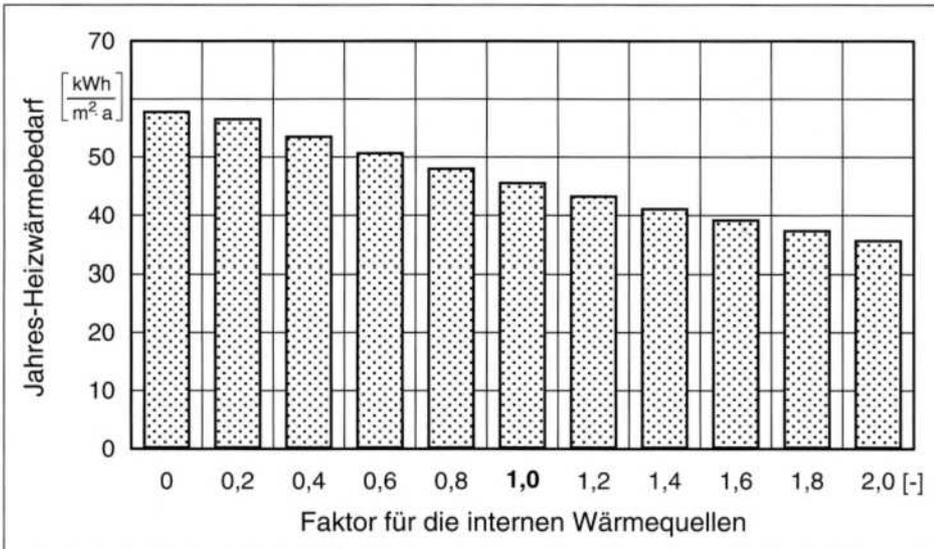


Bild 6.4 Einfluß der internen Wärmequellen auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (1,0), jedoch modifizierte interne Wärmequellen wie angegeben.

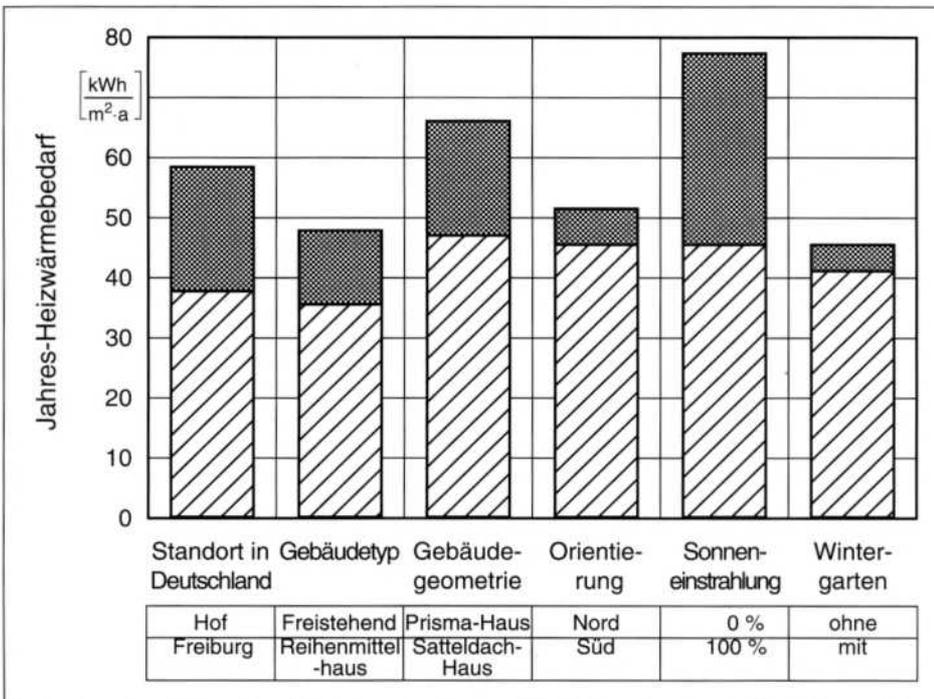


Bild 8.1 Pauschalierte Darstellung der Auswirkungen entwurfsspezifischer Einflußgrößen.

Einflußgrößen betrachtet (Bild 8.1):

**Standort**

Wenngleich die Wahl des Gebäudestandorts wohl kaum unter energetischen Gesichtspunkten getroffen wird, dient die dargestellte Bandbreite für Orte innerhalb Deutschlands zur Orientierung. Gegenüber dem "mittleren Standort Würzburg" ergeben sich Schwankungen von +13 (Hof) bis -8 kWh/(m²a) (Freiburg).

**Gebäudetyp**

Einfamilienhäuser können freistehend oder im Verbund mit anderen Gebäuden erstellt werden. Gegenüber dem freistehenden Haus führt das Reihen-

mittelhaus zu einer Bedarfsminderung von 12 kWh/(m²a).

**Gebäudegeometrie**

Niedrigenergiehäuser werden häufig mit exotischen Gebäudeformen in Zusammenhang gebracht. Diese Annahme ist häufig falsch und führt in den Beispielen zu Mehrverbräuchen von bis zu 19 kWh/(m²a).

**Gebäudeorientierung**

Bei üblicher Verteilung der Fenster auf den einzelnen Fassaden - vorliegender Ausgangsfall: Süd 33% Fensterflächenanteil; West 10 %; Nord 6%; Ost 15% - liegt der Einfluß der Gebäudeorientierung im Bereich von 6 kWh/(m²a).

- Verschattung  
Eine partielle oder gar vollständige Verschattung aller Fenster, Außenwände und Dachflächen kann den Heizwärmebedarf um 31 kWh/(m²a) anheben.

- Wintergarten  
Ein großdimensionierter, unbeheizter Wintergarten führt bei Nordorientierung zu einer Bedarfssenkung von 7 und bei Südorientierung von 4 kWh/(m²a). Die Auswirkungen der Orientierung auf die Nutzungsmöglichkeiten werden in [80] behandelt.

Im Rahmen der Ausführungsplanung wird der Heizwärmebedarf durch die in ihren Auswirkungen in Bild 8.2 aufgezeigten Parameter beeinflusst:

- Wärmeschutz  
Der Wärmeschutz der wärmetauschenden Hüllfläche wird bestimmt durch den k-Wert der einzelnen Bauteile bzw. einen km-Wert und die Ausbildung der Anschlüsse hinsichtlich Wärmebrückenwirkung und Dichtigkeit. Seine große Bedeutung geht aus Bild 8.2 hervor. Einer Erhöhung des km-Wertes um 0,12 W/(m²K) entspricht ein Anstieg des Heizwärmebedarfs von 20 kWh/(m²a).

- Wärmespeicherfähigkeit  
Gegenüber dem Wärmeschutz ist die Wärmespeicherfähigkeit von untergeordneter Bedeutung. Zwischen den Bauarten mit der geringsten und der höchsten Wärmespeicherfähigkeit liegen 4 kWh/(m²a).

- Fensterflächenanteil  
Der Einfluß des Fensterflächenanteils der Terrassenfassade liegt bei Variationen zwischen 0 und 100% bei 5 kWh/(m²a) Heizwärmebedarf. Rechnet man jedoch sinnvollerweise den Stombedarf für Kunstlicht mit - gewichtet mit 2,5 [91, 92] - so kehrt sich das Verhältnis um.

- Farbe der Außenbauteile  
Sonneneinstrahlungsabsorptionsfähige, dunkle Außenbauteile mindern den Wärmebedarf, helle erhöhen ihn. Der Einfluß liegt im Bereich vom 8 kWh/(m²a).

- Transuzente Wärmedämmung  
Eine in der Terrassenfassade angebrachte transuzente Wärmedämmung kann bis 3 kWh/(m²a) (Südorientierung) Bedarfsminderung bewirken.

Hinsichtlich der technischen Gebäudeausrüstung spielen u. a. die in Bild 8.3 genannten Größen eine Rolle:

- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnungsanlage (WRG)  
Eine Lüftungsanlage mit Wärmerück-

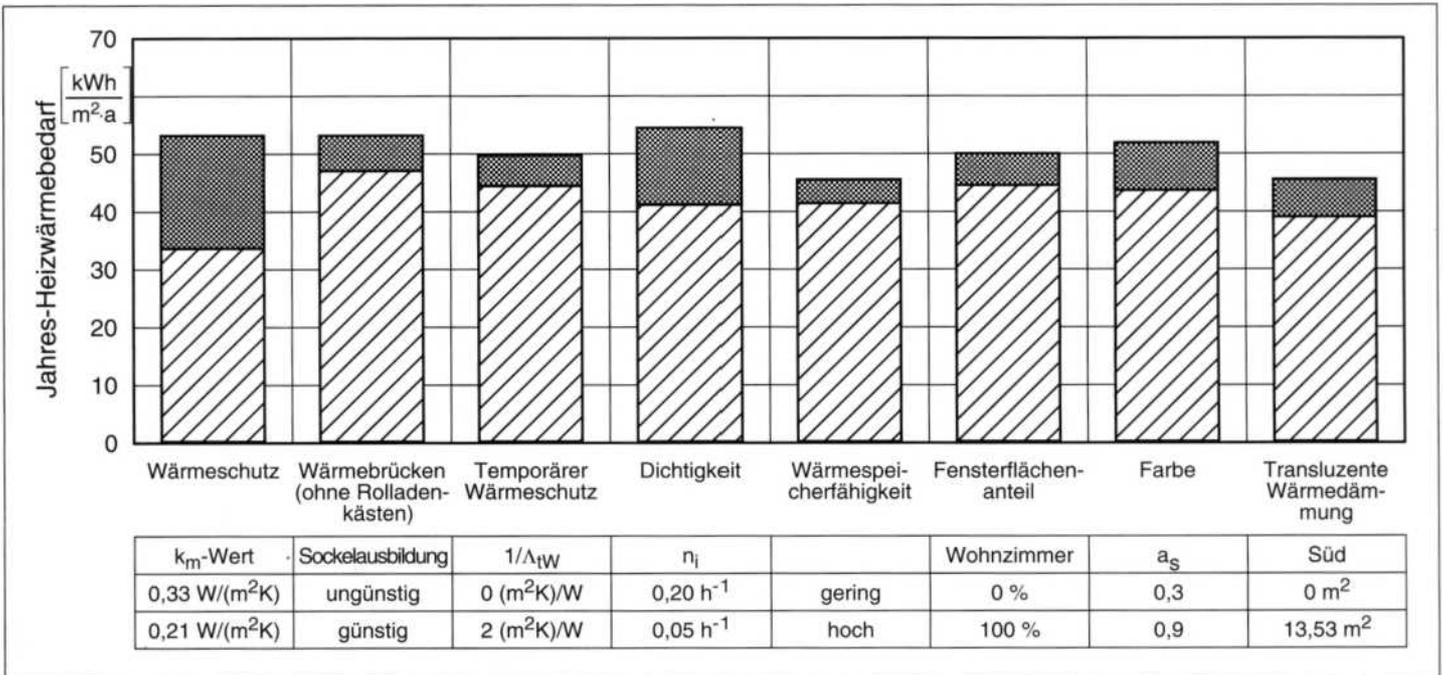


Bild 8.2 Pauschalierte Darstellung der Auswirkungen baulicher Einflußgrößen.

gewinnung ist auch bei Berücksichtigung des Strombedarfs für den Betrieb der Ventilatoren eine wesentliche Komponente eines Niedrigenergiehauses. Der Heizwärmebedarf wird um 26 kWh/(m²a) abgesenkt. Wird der Strombedarf mit 2,5 gegenüber der thermischen Energie gewichtet verbleibt eine äquivalente Bedarfsminderung von 18 kWh/(m²a).

- Erdwärmetauscher  
Ein dem Plattenwärmetauscher der Lüftungsanlage vorgeschalteter Erdwärmetauscher beeinflusst den Heiz-

wärmebedarf relativ gering - größenordnungsmäßig um 2 kWh/(m²a).

- Trägheit des Heizsystems  
Bei trägen, wenig flexiblen Heizsystemen steigt der Heizwärmebedarf um bis zu 9 kWh/(m²a).
- Kesselleistung  
Mit steigender Kesselleistung wächst der Heizwärmebedarf. Die Größenordnung liegt bei 5 kWh/(m²a).

Wenngleich an letzter Stelle genannt, jedoch keineswegs von geringster Bedeu-

tung ist das Nutzerverhalten, wie auch die Darstellung der wesentlichen Einflußparameter in Bild 8.4 zeigt:

- Lüftungsverhalten  
Werden mehrfach täglich Fenster geöffnet und wird zusätzlich zum Luftaustausch über die mechanische Lüftungsanlage über Stoßlüftung Luft ausgetauscht, können Bedarfserhöhungen von 50 kWh/(m²a) entstehen.
- Interne Wärmequellen  
Eine Verminderung der Intensität der internen Wärmequellen führt zwangsläufig zu einer Erhöhung des Jahresheizwärmebedarfs, wobei hiermit jedoch auch Stromeinsparungen verbunden sind, entsprechend deren Anteil an den internen Wärmequellen.
- Raumlufttemperatur  
Ein Absenken des Sollwertes der Raumlufttemperatur in allen Räumen um z. B. 4 K bewirkt Heizwärmebedarfsminderungen von 18 kWh/(m²a) (entsprechend 40%).
- Instationäres Heizen  
Durch die Verminderung der Stunden pro Tag zu denen der Sollwert der Raumlufttemperatur aufrechterhalten werden soll, kann ebenfalls eine merkliche Bedarfsreduzierung erzielt werden, die sich jedoch nicht proportional zu der Dauer der Unterbrechungszeit verhält.

Die aufgezeigten und erläuterten Auswirkungen einzelner Einflußgrößen gelten für das betrachtete Gebäude und die ge-

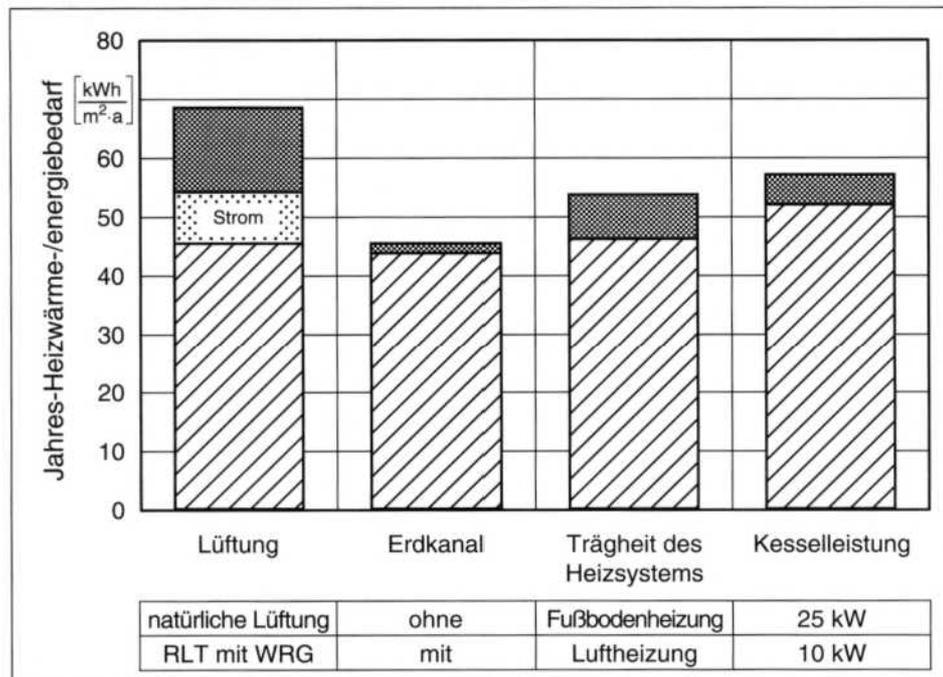


Bild 8.3 Pauschalierte Darstellung der Auswirkungen anlagentechnischer Einflußgrößen.

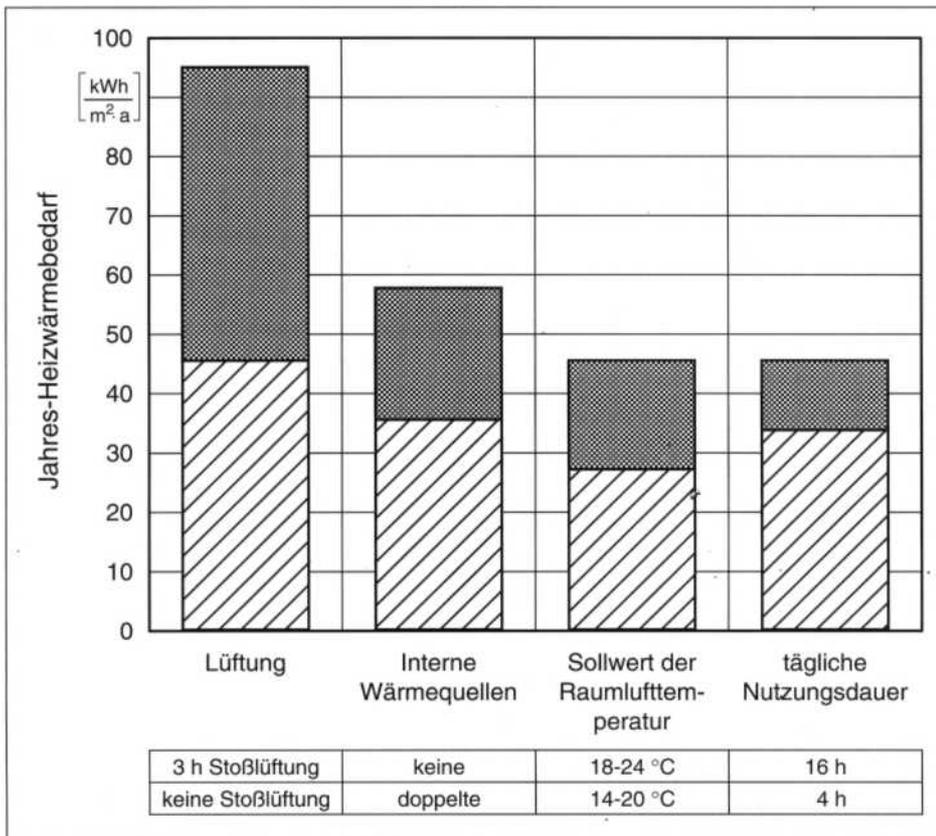


Bild 8.4 Pauschalisierte Darstellung der Auswirkungen nutzerspezifischer Einflußgrößen.

nannten Randbedingungen und Annahmen. Sie lassen sich jedoch auch auf ähnliche Fälle übertragen.

In konkreten, von den betrachteten Gegebenheiten abweichenden Fällen, können die Bedarfswerte näherungsweise durch Überlagerung abgeschätzt werden. Eine Absenkung des  $k_m$ -Wertes um  $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bewirkt z. B. eine Bedarfsreduzierung von  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (gern. Bild 8.2) und eine Absenkung um  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  von  $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Die Wirkung eines temporären Wärmeschutzes - nichtvorhanden bis sehr gut - liegt in der Größenordnung der Wirkung eines Wintergartens oder der Anpassung der Kesselleistung. Andererseits kann z. B. ein fehlender temporärer Wärmeschutz durch eine  $k_m$ -Werte-Absenkung um  $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  kompensiert werden.

Zur Vereinfachung der Vorgehensweise werden in der Zusammenfassung pauschalierende, in guter Näherung verallgemeinerungsfähige Aussagen gemacht, in erster Linie mit dem Ziel, dem Planer die Bedeutung der einzelnen Einflußparameter darzulegen.

### 9 Literatur

[1] Hauser, G.: Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten. Dissertation Universität Stuttgart (1977).

[2] Hauser, G.: Verfahren zur Berechnung des Temperaturverhaltens und Energieverbrauch von Gebäuden. Kl 6 (1978), H. 2, S. 53-56.

[3] Hauser, G.: Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände und temporäre Wärmeschutzmaßnahmen - Eine einfache Methode zur Quantifizierung durch  $k$  Werte. HLH 34 (1983), H. 3, S. 111-112, H. 4, S. 144-153, H. 5, S. 200-204, H. 6, S. 259-265.

[4] Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages. Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre. Schutz der Erde - eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik, 3. Bericht. Deutscher Bundestag Bonn (1990).

[5] Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages. Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre. Schutz der Erde - eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik, 1. Bericht. Deutscher Bundestag Bonn (1989).

[6] Wagner: Pers. Mitteilung von Dr. Wagner (KFA Jülich) bei einem Gespräch am 18. B. 1989 in Jülich mit Uwe Fritsche. ÖKO-Institut, Darmstadt.

[7] Gertis, K.: Heizenergieeinsparung bei Wohngebäuden und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik, Universität Stuttgart, Aug 1990.

[8] Lehmann, A.: Wärmepumpen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. CCI (1991), H. 2, S. 20-22.

[9] Beschluß der Bundesregierung vom 7. Nov. 1990 zur Reduzierung der CO<sub>2</sub> Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2005. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn, Nov. 1990.

[10] Recknagel, Sprenger: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. München 1981.

[11] RWE Energie Bau-Handbuch. RWE Essen, 11. Ausgabe 1993.

[12] Byberg, M. R.: Djurtoft, R. G. und Saxhof, B.: 6 Niedrigenergiehäuser in Hjortekaer. Mai 1979. Laboratorium für Wärmeisolierung. Technische Hochschule Dänemark, Bericht Nr. 83.

[13] Gertis, K.: Das hochgedämmte massive Haus. Bundesbaublatt 32 (1983), H. 3, S. 149-156; H. 4, S. 203-207.

[14] Klose, G.-R.: Ein Niedrig-Energiehaus mit außergewöhnlichem Einsatz von Faserdämmstoffen. Bauphysik 9 (1987), H. 1, S. 25-28.

[15] Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Wege zum Niedrigenergiehaus. Bonn, 1988.

[16] Informationsveranstaltung 'Wege zum Niedrigenergiehaus' des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1988) in Köln. Bonn. 1.9.1988.

[17] Ehm, H.: Wege zum Niedrigenergiehaus. wksb (1988), H. 25, S. 7-11.

[18] Werner, H.: Das Münchener Energiespar-Testhaus. IBP-Mitteilung 159, 15 (1988).

[19] Feist, W. und Bo Adamson: Konstruktionsmerkmale von Niedrigenergiehäusern in der Bundesrepublik Deutschland. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt. Nov. 1988.

[20] Feist, W.: Das Niedrigenergiehaus. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe 1989.

[21] IBK Bau-Fachtagung "Das Niedrigenergiehaus heute und morgen", Darmstadt, 14. und 15. Nov. 1990.

[22] Nill, R.: Niedrigenergiehaus als Regelfall? DAB 1991, H. 12, S. 1987-1993.

[23] Kast, W.: Gebäude ohne Heizwärmeverbrauch? Gesundheits-Ingenieur 112 (1991), H. 5, S. 268-271.

[24] Die Finanzministerin des Landes Schleswig-Holstein: Energiebewußtes, ökologisches und ökonomisches Bauen. Kiel 1991.

[25] Royer, J.: Die Bewahrung des Erdklimas. Chance für Niedrigenergiehäuser. Isoliertechnik 1992, H. 6, S. 6-23.

[26] Klose, G.-R.: Niedrigenergiehäuser als künftiger Standard. DBZ 1992, H. 6, S. 883-893.

[27] Erhorn, H. und Reiß, J.: Niedrigenergiehäuser Heldeheim. Isoliertechnik (1992), H. 6, S. 26-42.

[28] G + H ISOVER: Das Niedrigenergiehaus - Wohnmodelle der Zukunft realisieren. Ludwigshafen 1992.

[29] Feist, W.: Passive Häuser. Forschungsbericht des Instituts Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1992.

[30] IBK-Baufachtagung: Der neue Wärmeschutz - Niedrigenergiehäuser in der Praxis, Darmstadt, 2. und 3. Dez. 1992.

[31] Voss, K.; Stahl, W. und Goetzberger, A.: Das Energieautarke Solar-Haus. Bauphysik 15 (1993), H. 1, S. 10-14.

[32] Feist, W.: Passivhäuser in Europa - Theoretische Untersuchung von Simulationsmodellen für das thermische Verhalten von Gebäuden und Anwendung auf die Auslegung der Konstruktionsdetails von Passivhäusern. Dissertation Universität Kassel (1993).

[33] Der Minister für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein: Niedrig-Energie-Häuser, Kiel 1993.

[34] Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung-HEA: Handbuch Niedrigenergiehaus. Frankfurt 1993.

[35] Hausladen, G. und Springel, P.: Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Kirchheim 1993.

[36] PESAG: Das Niedrigenergiehaus, Essen 1993.

[37] Arbeitsgemeinschaft kommunaler Versorgungsunternehmen zur Förderung rationaler, sparsamer und umweltschonender Energieverwendung und rationaler Was servenutzung: Niedrigenergiehaus, Köln.

[38] Geiger, B.: Energiebedarfsdeckung im Niedrigenergiehaus. VDEW-Fachtagung "Integrierte Haustechnik im Niedrigenergiehaus" am 14. April 1994 in Bad Seegeberg.

[39] Gruber, E.; Erhorn, H. und Reichert, J.: Solarhäuser Landstuhl. Verlag TÜV Rheinland 1989.

[40] Ytong: Das Niedrigenergiehaus. München, 1993.

[41] Technische Akademie Eßlingen: Lehrgang "Niedrigenergiehaus". 9. Nov. 1992.

[42] Arbeitsgemeinschaft zur zeitgemäßen Bauen e.V.: Ökologisches Bauen Nr. 183 (1989), Nr. 186 (1990), Nr. 187 (1991).

[43] DIN 283, Blatt 2: Begriffe und Berechnung der Wohnnutzfläche (1951).

[44] Hauser, G. und Otto, F.: Niedrigenergiehäuser in Holzbauart. Forschungsbericht des Ingenieurbüros Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner. IBH 12/92 (1994).

[45] Eisdorn, H.; Fortak, H. und Jahn, A.: Entwicklung von Testreferenzahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Statusbericht 1985 "Rationelle Energieverwendung, im Haushalt und Kleinerwerb" des BMFT. Verlag TÜV Rheinland (1985), S. 424-437.

[46] Testreferenzjahre - Meteorologische Grundlagen für technische Simulation von Heiz- und raumlufttechnischen Anlagen. BINE, Prof Info-Service (Okt. 1991).

[47] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau, 2. durchgesehene Auflage, Bauverlag Wiesbaden (1993).

[48] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau. Bauverlag Wiesbaden (1992).

[49] Hauser, G. und Otto, F.: Niedrigenergiehäuser - konstruktive Lösungen. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der DGH e. V., München (1995).

[50] Wärmeschutzverordnung (Sept. 1994).

[51] Feist, W.: Innere Gewinne werden überschätzt. Son-nenergie & Wärmetechnik (1994), H. 1, S. 19.

[52] Rouvel, L.: Wärmegewinne in Wohnungen aufgrund innerer Wärmequellen: Gesundheits-Ingenieur 105 (1984), S. 140-142.

[53] VDEW-Arbeitsausschuß "Marktforschung-Elektrizitätsanwendung" Ergebnisse der Haushaltskundenbefragung 1991: VDEW, Frankfurt, Mai 1992.

[54] Heizung, Lüftung, Haustechnik 44 (1993), H. 5, S. 292.

[55] Entwicklung des Stromverbrauchs von Elektro-Hausgeräten - Energieeinsparung 1988-1991. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. [56] SIA 180 "Wärmeschutz im Hochbau, Anhang 7. ISO/DIS 9972. Thermal insulation - determination of building airtightness - fan pressurization method, 1990.

[58] Möhl, Hauser, Müller: Baulicher Wärmeschutz, Feuchtschutz und Energieverbrauch.. Expert-Verlag, Kontext & Studium, Bauwesen. Band 131. Grafenau (1984).

[59] Hauser, G.: Holz-Graskonstruktionen. Bericht Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (Sept. 1986).

[60] Rouvel, L. und Wenzl, B.: Kenngrößen zur Beurteilung der Energiebilanz von Fenstern während der Heizperiode. HLH 30 (1979), Nr. 8, S. 285-291.

- [61] Hauser, G.: Die wärmetechnische Beurteilung von Fenstern unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung während der Heizperiode. Bauphysik 1 (1979), Nr. 1, S. 12-17.
- [62] Werner, H.: Auswirkungen meteorologischer Einflußgrößen auf die Wärmebilanz von Fenstern während der Heizperiode. Ges.-Ing. 101 (1980), Nr. 3, S. 63-68.
- [63] Gertis, K.; Hauser, G.; Künzel, H.; Nikolic, V.; Rouvel, L. und Werner H.: Energetische Beurteilung von Fenstern während der Heizperiode. DAB 12 (1980), Nr. 2, S. 201-202.
- [64] Hauser, G.: Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung bei der Bestimmung der Transmissionswärmeverluste. Docu-Bulletin 13 (1981), Nr. 3, S. 2-3.
- [65] Werner, H.: Wärmedurchgang durch Fenster und Wand unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung. Ges.-Ing. 102 (1981), Nr. 3, S. 121-126.
- [66] Rouvel, L.: Energiebilanz von Gebäuden, vereinfachte Berechnungsverfahren. Praxisinformation Energieinsparung, Grundlagen. DAB 14 (1982), Nr. 3, S. 327-331, Nr. 4, S. 477-481.
- [67] Rouvel, L.: Energiekennzahlen von Gebäuden, FFE-Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft. Band 14. Praktische Energieforschung. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1981), S. 117-132.
- [68] Hauser, G.: Einfluß der Fenster auf den Heizwärmeverbrauch von Wohngebäuden. TAB 15 (1984), H. 6, S. 429-432. Glaswelt 38 (1985), H. 1, S. 24-32.
- [69] Hauser, G.: Näherungsformel zur einfachen Berechnung von Strahlungsgewinnkoeffizienten. Bauphysik 10 (1988), H. 2, S. 43-51.
- [70] Bansal, N. K.; Hauser, G. und Minke, G.: Passive Building Design. A Handbook of Natural Climatic Control. Elsevier Science B. V., Amsterdam, London, New York, Tokyo (1994).
- [71] Lutz, P., Jenisch, R., Klopfer, H., Freymuth, H. und Krampf, L.: Lehrbuch der Bauphysik. Teubner, Stuttgart (1985).
- [72] Hauser G.: Tragende Außenwände als Wärmespeicher unter Verwendung einer hochwertigen lichtdurchlässigen Wärmedämmung, Bericht RKW-Tagung "Passive Solararchitektur", Berlin (1982).
- [73] Pflüger, A. und Stahl, W.: Das Energieeinsparpotential der transparenten Wärmedämmung. Glaswelt (1986), H. 9, S. 151-158.
- [74] Gertis, K.: Außenwände mit transparenten Wärmedämmstoffen. Bauphysik 9 (1987), H. 5, S. 213-217.
- [75] Boy, E.: Transparente Wärmedämmung im Praxistest - Zwischenergebnisse aus einer zweijährigen Untersuchungsperiode. Bauphysik 11 (1989), H. 2, S. 93-99.

- [76] Voss, K.; Braun, P. O. und Schmid, J.: Transparente Wärmedämmung Materialien, Systemtechnik und Anwendung. Bauphysik 13 (1991), H. 6, S. 217-224.
- [77] Das energieautarke Solarhaus. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (1992).
- [78] Hauser, G.: Bauphysikalische Aspekte bei Wintergärten. Glaswelt 39 (1986), H. 5, S. 10-21.
- [79] Hauser, G.: Verglaste Baukörper zur passiven Sonnenenergienutzung. Bauphysik 5 (1983), H. 5, S. 147-152; Glaswelt 37 (1984), H. 4, S. 274-284; Sonnenenergie und Wärmepumpe 9 (1984), H. 3, S. 5-10.
- [80] 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.
- [81] Hauser, G.: Beeinflussung der O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen durch die Grüne Solar-Architektur. HLH 40 (1989), H. 1, S. 7-12.
- [82] Hauser, G.: Meßtechnische Untersuchung eines nach den Prinzipien der Grünen Solar-Architektur erweiterten Verwaltungsgebäudes. Bauphysik 11 (1989), H. 2., S. 77-80; H. 3, S. 127-134.
- [83] Hauser, G.: Auswirkungen von Außenwänden und Wintergärten auf das Raumklima. DAB 22 (1990), H. 3, S. 393-398.
- [84] Nikolic, V. u. a.: Bau und Energie: "Bauliche Maßnahmen zur verstärkten Sonnenenergienutzung im Wohnungsbau". Verlag TÜF Rheinland. Köln 1983.
- [85] Stricker, R. und Erhorn H.: Wintergärten - energetische sinnvoll?, Mitteilung des Fraunhoferinstituts für Bauphysik 12 (1985), Nr. 97.
- [86] Werner, H.: Bauphysikalisches Verhalten von Wintergärten - Planungs- und Nutzungsempfehlungen für die Praxis -. Deutsches Architektenblatt 20 (1988), H. 2, S. 259-262.
- [87] Sagelsdorf, R.: Forschungsarbeiten der Schweiz über Wintergärten. IBK (1986), H. 2, S. 3-9.
- [88] Werner, H.: Der Glasvorbau als "Wintergarten" oder "Pufferraum". Glas Forum 37 (1987), H. 1, S. 35-39.
- [89] Hauser, G. und Otto, F.: Erdwärmetauscher. Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. B 15 - 80 01 89 - 108 (1991).
- [90] EVDI 2067, Blatt 2: Raumheizung - Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen (1991).
- [91] VDEW "Heizungssysteme im Vergleich", Frankfurt, März 1993.
- [92] Hauser, G. und Hausladen, G.: Energiekennzahl zur Beschreibung des Heizenergieverbrauchs von Gebäuden. Hrsg. Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e. V. (1994).

## Begriffe

### Verbrauch

kennzeichnet den unter den vorhandenen meteorologischen Randbedingungen und Nutzungsgewohnheiten tatsächlich ablesbaren und meßbaren Energieverbrauch.

### Bedarf

ist ein rechnerisch bestimmter Verbrauch unter Verwendung normierter meteorologischer Randbedingungen und Nutzungsgewohnheiten.

### Heizwärmebedarf

ist die bei normierten meteorologischen Randbedingungen und Nutzungsgewohnheiten vom Heizsystem an das Gebäude abzugebende Wärme, die sich aus den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten, abzüglich der nutzbaren internen Wärme- und Solargewinne, ergibt.

### Heizenergiebedarf

ist die bei normierten meteorologischen Randbedingungen und Nutzungsgewohnheiten von einem Gebäude unter Berücksichtigung aller Verluste des Heizsystems, benötigte Heizenergie.



# EGH

Entwicklungsgemeinschaft Holzbau  
in der  
Deutschen Gesellschaft für Holzforschung

# HÖLZ®

Und Deine Welt  
hat wieder ein Gesicht.