Ingenieurbüro
für
Bauphysik

E-9219

I
B
Hauser

Niedrigenergiehäuser in Holzbauart

von
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Dipl.-Ing. Frank Otto

Februar 1994
IBH 12/92

D-34225 Baunatal, Hessenbergstraße 71

Niedrigenergiehäuser in Holzbauart

von
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Dipl.-Ing. Frank Otto

Februar 1994
IBH 12/92

D-34225 Baunatal, Hessenbergstraße 71

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

Niedrigenergiehäuser in Holzbauart

von

G. Hauser und F. Otto

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.

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_2 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

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

zum Schutz der Erdatmosphäre" hat in umfangreichen Studien und Publikationen [1, 2] die Ursachen und Wirkungen, dieser Phänomene dargelegt.

Je nach Energieträger resultieren aus dem Energieverbrauch folgende Emissionen [2-6]:

Braunkohle	0,40 kg CO_2/kWh	[2]
Steinkohle	0,33 kg CO_2/kWh	[2]
Holz	0,36 kg CO_2/kWh	[3]
Heizöl	0,29 kg CO_2/kWh	[2]
Erdgas	0,19 kg CO_2/kWh	[2]
Fernwärme	0,24 kg CO_2/kWh	[4]
Strom Mix-Wert bisherige Bundesländer	0,56 kg CO_2/kWh	[5]
Strom Mix-Wert neue Bundesländer	1,10 kg CO_2/kWh	[6]

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 Erpreßbarkeit 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 [7]. 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 Verkehr) ergibt sich folgende Verteilung [8]:

Raumwärme	76,5 %
Warmwasser	12 %
Mechanische Energie	6 %
Prozeßwärme	4 %
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 [9-39]. Diese sind im wesentlichen in folgende Kategorien einordenbar:

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 36

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, 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 Wärmegewinne 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 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.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

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.

Die Simulationsrechnungen werden mit einem dynamischen Mehrzonenmodell durchgeführt. Das verwendete Programm HAUSer wurde im Rahmen zahlreicher Forschungsarbeiten verifiziert und angewendet. Eine ausführliche Erläuterung des Programms enthält [40-42].

4.1 Vorentwurfsphase: Gebäudegeometrie

Für die Simulation der Gebäude werden die betrachteten Gebäudetypen in Dreizonenmodelle überführt. Eine detailliertere Betrachtung ist für die Fragestellung nicht sinnvoll. Die Untersuchungen werden an freistehenden Gebäuden, Reihenmittel- und Reihenendhäusern durchgeführt. Für die Wohnfläche werden 150 m^2 beim freistehenden Gebäude, 110 m^2 beim Reihenmittelhaus und 125 m^2 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^2, für die Reihenmittelhäuser 132 m^2 und für die Reihenendhäuser 150 m^2.

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
- Seitenverhältnis a/b der Gebäude
- Länge der Seitenwand a
- Zentriwinkel (Kreissegment-Haus)
- Verteilung der Fensterfläche

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

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 4.1-1 enthält eine Zusammenstellung der Parametervariation für alle Gebäudetypen.

Die Fensterfläche beträgt bei diesen Gebäuden 30 m^2. Die Fensterverteilung variiert zwischen gleichmäßiger und konzentrierter Verteilung. Die Anordnung der Fenster kann für die betrachteten Gebäudetypen Tabelle 4.1-1 entnommen werden. Den Fensterkonstruktionen liegt ein Rahmenanteil von 30 % zugrunde.

Im Anschluß an die freistehenden Gebäude werden Reihenmittel- 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 Platzersparnis deutlich ansteigen. Um dieses Marktsegment bei der Untersuchung zu berücksichtigen, wird das eingangs beschriebene Reihenmittelhaus und Reihenendhaus untersucht. Die Wohnfläche verteilt sich über zwei Vollgeschosse. Die Fensterfläche errechnet sich, bezogen auf die 30 m^2 große Fensterfläche beim freistehenden Haus in Abhängigkeit von der Wohnfläche zu 22 m^2 für das Reihenmittelhaus und zu 25 m^2 für das Reihenendhaus. Wie beim freistehenden Haus wird sowohl eine konzentrierte als auch eine gleichmäßige Fensterverteilung betrachtet. Das Dachgeschoß ist nicht ausgebaut. Tabelle 4.1-2 zeigt eine Zusammenstellung der variierten Parameter. Die Dachgeschoßdecke stellt die thermische Trennung des 1. Obergeschosses dar. Der Wärmedurchgangskoeffizient wird zu 0,2 W/(m^2K) festgelegt. Für die Berechnungen wird ein auf die Nutzfläche bezogener, konstanter Luftwechsel von 0,5 h^{-1} zugrunde gelegt. Da in der Regel von einer Nutzung des Dachgeschosses ausgegangen werden kann, erfolgt zusätzlich eine Dämmung der Dachflächen mit einem k-Wert von 0,2 W/(m^2K) sowie die Berücksichtigung eines 0,5fachen Luftwechsels im Dachgeschoß.

4.1.1 Randbedingungen und Annahmen

Der Jahres-Heizwärmebedarf von Gebäuden wird durch interne Wärmegewinne reduziert. Die Höhe der internen Wärmegewinne wird in der Fachliteratur unterschiedlich festgelegt. Der Gebäudenutzung liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. In Bild 4.1-1 ist der zugrunde gelegte zeitliche Verlauf der Wärmeproduktion über 24 Stunden aufgetragen. Der Tagesgang stellt die Summe der raumspezifischen Tagesprofile, die in Kapitel 4.2.1 festgelegt werden, dar.

Für die meteorologischen Randbedingungen finden die Daten von Würzburg [44] Verwendung. Die Auswahl erfolgt auf der Grundlage einer in [45] 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.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

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 Undichtigkeiten (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 Messungen haben gezeigt, daß auch bei konsequentem Öffnen der Fenster in ungünstig gelegenen Räumen der Mindestluftwechsel unterschritten werden kann [29]. Bei einer Belüftung von Gebäuden durch natürliches Lüften kann es zu einer ungenügende Luftqualität kommen. Die o. g. Nachteile der natürlichen Lüftung können durch eine kontrollierte Lüftung mit einer Lüftungsanlage vermieden werden. Mit derartigen Systemen können zusätzlich bei Verwendung zentraler Systeme durch getrennte Zu- und Abluftführung sowie durch den Einbau einer Wärmerückgewinnung weitere Energieeinsparungen erreicht werden. Dabei 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 Untersuchung des Geometrieeinflusses 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 Grenzwert für die Beheizung 10 °C. Eine Wärmerückgewinnung, die an konkrete Raumlufttemperaturen gekoppelt ist, kann deshalb bei dem Dreizonenmodell nicht praxisgerecht berücksichtigt werden. Für die Simulationsrechnungen wird in allen Fällen ein konstanter Luftwechsel von 0,5 h^{-1}, bezogen auf die Nutzfläche, in Ansatz gebracht. Der Volumenstrom beträgt 225 m^3/h für das freistehende Haus, 165 m^3/h für das Reihenmittelhaus und 187,5 m^3/h für das Reihenendhaus.

4.1.2 Untersuchungsergebnisse

Eine Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse enthalten die Tabellen 4.1-3 bis 4.1-7. Aus der Vielzahl der Berechnungsergebnisse werden die wesentlichen Informationen an Hand von Bildern dokumentiert und erläutert.

a) Satteldach-Haus

Die interessantesten Ergebnisse sind für diesen Gebäudetyp in den Bildern 4.1-2 bis 4.1-5 zusammengestellt. Folgende Schlußfolgerungen können gezogen werden:

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

- 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 0/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 kWh/(m^2a) und 9,2 kWh/(m^2a) bei maximal knapp 20 %.
- Seitenverhältnis
  Das Gebäudeseitenverhältnis wird in den Schritten 0,5, 1,0, und 1,5 variiert. Nennenswerte Unterschiede treten nur in dem Berech zwischen 0,5 und 1,0 auf. Die Änderung der Jahres-Heizwärmebedarfs schwanken zwischen 1,4 kWh/(m^2a) und 4,5 kWh/(m^2a). Der prozentuale Unterschied beträgt maximal 8,2 %.
- Dachneigung
  Die Dachneigung variiert zwischen 22°, 30°, 38° und 45°. Für die Gebäude schwankt die Änderung der Jahres-Heizwärmebedarfe zwischen 0,6 kWh/(m^2a) und 5,6 kWh/(m^2a). Damit errechnet sich der prozentuale Einfluß zu maximal 9,8 %.
- A/V-Verhältnis
  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 4.1-3 ist zu entnehmen, daß mit zunehmendem A/V-Verhältnis 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 4.1-3 entnommen werden. Bei dem Diagramm ist auf der Abszisse das Verhältnis der wärmetauschenden Fläche und der Nutzfläche von 180 m^2 aufgetragen.

b) Prisma-Haus

Eine Skizze des Prisma-Hauses mit der Verteilung der Fensterfläche und dem Jahres-Heizwärmebedarf ist in Bild 4.1-6 wiedergegeben. 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 Giebellänge im Vergleich zum Satteldach-Haus wird aus Gründen der Tageslichtversorgung die in Bild 4.1-6 in der Skizze oben wiedergegebene 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 4.1-6 ist neben der

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

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. Der Einfluß der Seitenlänge wird an dem Gebäude mit der Dachneigung 45°/45° in Bild 4.1-7 aufgezeigt. 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 Prisma-Häuser mit 54,8 kWh/(m^2a) 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 den Bildern 4.1-8 und 4.1-9 dargestellt. Die Skizze des Gebäudetyps mit der Verteilung der Fensterfläche zeigt Bild 4.1-8 oben. 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^2a). Der Einfluß des Seitenverhältnisses a/b ist in Bild 4.1-9 für die Dachneigung 10° dargestellt. Die Abweichung beträgt, bezogen auf den geringeren Wert, 2,2 %. Beim Pultdach-Haus werden drei Varianten für die Fensterverteilung betrachtet. Dabei handelt es sich, wie aus Tabelle 4.1-1 zu ersehen, um eine gleichmäßige Verteilung, eine konzentrierte Variante mit der Fensterfläche von 24 m^2 in der Längswand unter dem First und einer Verteilung der Fensterfläche von je 12 m^2 auf das Dach und die Seitenwand im Bereich der Fußpfette. Der letztgenannte Gebäudetyp stellt für die untersuchten Pultdach-Häuser die optimale Lösung dar. Der geringste Jahres-Heizwärmebedarf mit 48,5 kWh/(m^2a) 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 m^2 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 m^2. Die verbleibende Fensterfläche von 25,5 m^2 wird gleichmäßig über die gekrümmte Fassade verteilt angesetzt. Bild 4.1-10 läßt sich der Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Orientierung für die drei Zentriwinkel entnehmen. Der geringste spezifische Heizwärmebedarf von 51,1 kWh/(m^2a) errechnet sich für den Zentriwinkel 90°. Die Schwankungsbreite beträgt bezogen auf den kleinsten Wert bei dem Gebäude mit Südorientierung 4,1 %.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

e) Gebäudegliederung

Die untersuchten Satteldach-, Pultdach-, Kreissegment-Haustypen haben keine Gliederung. 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 beträgt, wie bei allen anderen Gebäudetypen 180 m^2. Es wird der Gebäudetyp mit konzentrierter Fensterverteilung mit dem Seitenverhältnis a/b = 1,0 für alle Dachneigungen betrachtet. Die Vergrößerung 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 4.1-11 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/(m^2a).

f) Wärmebrückenwirkung

Bei den bisher beschriebenen Untersuchungen wird ausschließlich der Wärmeverlust über den Regequerschnitt 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 [46, 47] ausführlich erläuterten, für eine Vielzahl von Details bestimmten WBV-Werten. Dieser Wert quantifiziert den zusätzlichen Wärmeverlust, bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz für linien- und punktförmige Wärmebrücken im stationären Zustand. Der Einfluß der Wärmebrücken wird bei den Simulationsrechnungen durch den WBV-Wert und die aktuelle Temperaturdifferenz ermittelt. Dabei handelt es sich um ein Näherungsmodell, welches die Speichereffekte bei der instationären Berechnung vernachlässigt. Für die Untersuchungen wird die Tafelbauart zugrunde gelegt. Eine detaillierte Beschreibung der Anschlußdetails mit den jeweiligen WBV-Werten erfolgt in Kapitel 4.5.2. Rolladenkästen werden aufgrund ihrer ungünstigen WBV-Werte nicht berücksichtigt. Für Niedrigenergiehäuser in Holzbauart ist die Ausführung des Sockelanschlusses entscheidend. Um diesen Einfluß zu verdeutlichen, werden die Simulationsrechnungen für eine energetisch günstige sowie eine ungünstigen Ausführung durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse sind für die Gebäude mit der günstigen Sockelausbildung in Tabelle 4.1-4 und für die ungünstige Sockelausbildung in Tabelle 4.1-5 zusammengestellt. 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 Verwen-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49495 · Fax: (0561) 49435

dung von Außenmaßen gut berücksichtigt wird. Die Berechnungen zeigen, daß auf die Sockelausbildung ein besonderes Augenmerk gelegt werden muß.

Aus den Berechnungsergebnissen lassen sich hinsichtlich der Gebäudegeometrie die folgenden Essentials für den Planer 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 A/V-Verhältnis erfolgen.
6. Eine Vergrößerung der Hüllfläche durch Erker oder Versprünge um 10 % ergibt einen Anstieg des Jahres-Heizwärmebedarfs um ca. 6 %.

Bild 4.1.1-12 zeigt eine Übersicht über den Jahres-Heizenergiebedarfe der unter a) bis d) erläuterten Berechnungsergebnisse. Als energetisch beste Lösung hinsichtlich der Gebäudegeometrie stellt sich das Satteldach-Haus dar.

g) Reihendhaus

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 4.1-6 für das Reihenmittel- und das Reihenendhaus wiedergegeben. Der Vergleich zwischen dem freistehenden Haus , dem Reihenmittel- und das Reihenendhaus läßt sich Bild 4.1-13 entnehmen.

h) Drehbares Haus

Ein neues Konzept für die Maximierung 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. Um die Berechnungsergebnisse der drehbaren Häuser mit sonnenstandsabhängiger Nachführung, Tabelle 4.1-7, mit den Ergebnissen der feststehenden Gebäude, Tabelle 4.1-3, vergleichen zu können, werden die Ergebnisse in Spalte 1 bzw. Spalte 2 gekennzeichnet.

Der Tabelle 4.1-7 ist zu entnehmen, daß eine Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs nur mit einer konzentrierten Fensterverteilung möglich ist. Eine gleichmäßige Fensterverteilung ergibt eine Erhöhung des Jahres-Heizwärmebedarfs um ca. 2 %, wie die Variante R01 zeigt. Die durchschnittliche Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs errechnet sich zu 1,8 kWh/(m^2K). Unter Berücksichtigung des großen konstruktiven Aufwands sowie des Stromverbrauchs für die Gebäudedrehung, ist der sinnvolle Einsatz einer derartigen Maßnahme zweifelhaft.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

4.2 Bauliche 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 Maßnahmen aufgezeigt. Die Basis der Untersuchungen ist ein freistehendes Einfamilienhaus mit einem Vierpersonenhaushalt. Das Objekt ist 1 1/2geschossig und hat ein Satteldach mit einer Neigung von 30°. Bild 4.2-1 zeigt den Erdgeschoßgrundriß, den Dachgeschoßgrundriß und einen Schnitt des Gebäudes. Die Wohnfläche errechnet sich nach DIN 283 [43] im Erdgeschoß zu 88,6 m^2 und im Dachgeschoß zu 61,4 m^2. Die Fensterfläche beträgt 2,34 m^2 bei der Nordfassade, 7,73 m^2 bei der Ostfassade, 13,05 m^2 bei der Südfassade und 5,16 m^2 bei der Westfassade. Die Dachflächen sind fensterlos. Das Gebäude ist unterkellert. Der Kellergeschoßgrundriß wird nicht weiter detailliert, da von einem nichtbeheizten Keller ausgegangen wird.

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 ausführliche Zusammenstellung von baukonstruktiven Lösungen für Niedrigenergiehäuser in Holzbauart ist in Kapitel 5 enthalten. Dem Standardfall liegen die Konstruktionen in den Bildern 4.2-2 und 4.2-3 mit den folgenden Wärmedurchgangskoeffizienten zugrunde:

- k_W = 0,23 W/(m^2K) Außenwand, Konstruktion W3
- k_D = 0,20 W/(m^2K) Dachkonstruktion, Konstruktion D2
- k_F = 1,40 W/(m^2K) Fenster, k_V = 1,2 W/(m^2K), g_F = 0,62
- k_G = 0,41 W/(m^2K) Kellerdecke, Konstruktion K2

4.2.1 Randbedingungen und Annahmen

Die während der Beheizung einzuhaltenden Lufttemperaturen werden für die einzelnen Räume in Abhängigkeit von der Nutzung fixiert. Für die Raumlufttemperaturen werden Werte festgelegt, die ein angenehmes, behagliches Klima gewährleisten. Die Einflußmöglichkeiten von Nutzern, beispielsweise eine Absenkung des Temperaturniveaus während der Nutzung, wird im Kapitel 7 untersucht.

a) Raumlufttemperaturen

Für den Sollwert der Raumlufttemperaturen während der Nutzung werden beim Standardfall die folgenden Werte festgelegt:

- Wohnzimmer und Eßecke ϑ_{Li} = 22 °C
- Küche ϑ_{Li} = 20 °C
- Flur ϑ_{Li} = 20 °C

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

- Windfang $\vartheta_{Li} = 15\ °C$
- WC $\vartheta_{Li} = 20\ °C$
- Kinderzimmer 1 $\vartheta_{Li} = 22\ °C$
- Kinderzimmer 2 $\vartheta_{Li} = 22\ °C$
- Schlafzimmer $\vartheta_{Li} = 18\ °C$
- Bad $\vartheta_{Li} = 24\ °C$

b) Luftwechsel

Die Lüftungswärmeverluste sind bei Niedrigenergiehäusern ein wichtiger Aspekt mit großem Einfluß. Beim Luftwechsel wird zwischen natürlicher und kontrollierter Lüftung unterschieden. Der Luftwechsel ergibt sich entweder aus dem planmäßigen Lüften durch das Öffnen von Fenstern (natürliche Lüftung) oder einer raumlufttechnischen Anlage. Infolge von Undichtigkeiten stellt sich eine 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. Geeignete konstruktive Lösungen hierfür sind in Kapitel 5 zusammengestellt. Die Anforderungen zur Begrenzung der Wärmeverluste infolge von Undichtigkeiten bei Fenstern und Fenstertüren sind in der Wärmeschutzverordnung [48] 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 $n_a = 0{,}1\ h^{-1}$ angesetzt. Des weiteren wird von einer raumlufttechnischen Anlage mit einem Volumenstrom von 190 m^3/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^3/h. In dem Temperaturbereich zwischen $-5\ °C \leq \vartheta_{La} \leq 0\ °C$ 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^3/h
	Eßecke	40 m^3/h
	Kinderzimmer 1	30 m^3/h
	Kinderzimmer 2	30 m^3/h
	Schlafzimmer	30 m^3/h
Abluft:	Küche	70 m^3/h
	WC	30 m^3/h
	Bad	90 m^3/h

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

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 [42] entnommen werden. Das Einschalten des Kunstlichts mit der spezifischen Wärmeabgabe von 1,25 W/m^2 erfolgt bei Unterschreitung der Beleuchtungsstärke von 150 lx. Maßgebend ist die Beleuchtungsstärke in dem in Bild 4.2-4 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. Die o. erläuterten Randbedingungen sind für das Standardgebäude in Bild 4.2-4 zusammengestellt.

Bei der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs gehen die internen Wärmegewinne verbrauchsmindernd ein. Die Wärme wird bei den einzelnen Prozessen konvektiv dem Raum zugeführt. Für die Simulationsrechnungen werden für die Räume Nutzungsprofile entwickelt, welche auf Stundenmittelwerten für einen Tageszyklus basieren. 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 [29, 49, 50] sowie hinsichtlich der Verbrauchsangaben [51-53]. Im folgenden werden die einzelnen Prozesse diskutiert.

Die Wärmeabgabe der Bewohnern ist von einer Vielzahl von Einflußgrößen, wie beispielsweise der Aktivität, der Größe der Person, der Bekleidung sowie der Raumluftfeuchte und der Raumluft-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 36

peratur abhängig. Für die Simulationsrechnungen wird eine konstante, personenbezogene Wärmeproduktion von 80 W unabhängig von der Aktivität und dem Raumklima für die gesamte Nutzungsdauer zugrunde gelegt. Hinsichtlich der Anwesenheit der Nutzer wird angenommen, daß sich ein Erwachsener 13 h, der andere Erwachsene 21 h und die Kinder 16 h am Tag in dem Gebäude aufhalten. Für die Bewohner errechnet sich die Wärmeabgabe zu 5,28 kWh/d.

Der Ermittlung der ansetzbaren elektrischen Energie für die internen Wärmequellen liegen die Arbeiten [50, 51] zugrunde. Die Haushaltsstromverbräuche für Fernseh- und Radiogeräte, Kühlschrank, Gefrierschrank sowie sonstige elektrische Kleingeräte werden in vollem Umfang als Wärmequelle in Ansatz gebracht. Für den Elektroherd findet der Wert von Rouvel [50] Verwendung, der auf einer Verfügbarkeit von 5 % basiert. Die Verfügbarkeit des Stromverbrauchs des Geschirrspülers errechnet sich aus dem nutzbaren Anteil von 25 % nach Rouvel [50] und dem mittleren Stromverbrauch von 1,07 kWh/d gem. VDEW [51].

Bei der Warmwasserversorgung wird dem Gebäude durch das Zapfen und die Zirkulationsverluste Wärme zugeführt. Die durch das Zapfen von Warmwasser dem Raum zugeführt Wärme ist deutlich geringer als der im abfließenden Wasser verbleibende Wärmeinhalt. Der nutzbare Anteil wird gem. [29] zu 5 % angesetzt. Der Wasserverbrauch betrug 1991 in den alten Bundesländern 145 l/(a·Pers.) und in den neuen Bundesländern 118 l/(a·Pers.) [52]. Bei den Berechnungen wird von dem höheren Wert als Bezugsgröße ausgegangen, da mit einem Angleich der neuen Bundesländer an die alten zu rechnen ist. Der Warmwasseranteil beträgt 45 % vom gesamten Wasserverbrauch. Durch die Verwendung von Geräten mit einem geringeren Wasserverbrauch sowie wassersparenden Zapfhähnen kann der Wasserverbrauch reduziert werden. Um die Wasserversorgung auch in Zukunft sichern zu können, ist der Einsatz derartiger Maßnahmen notwendig. Deshalb wird der heutzutage übliche Wasserverbrauch um 25 % gesenkt. Die beim Zapfen vorhandene Wassertemperatur beträgt bei Mischbatterien ca. 38 °C bis 40 °C. Der sich hieraus ergebende Wärmegewinn beträgt 0,2 kWh/d für Bad, WC und Küche. Demgegenüber ist der Wärmegewinn durch die Zirkulationsleitungen deutlich höher. Für den spezifischen Wärmeverlustkoeffizienten der Zirkulationsleitungen wird gem. [29] ein Wert von $k^* = 0{,}15$ W/(mK) in Ansatz gebracht. Unter Berücksichtigung der Zirkulationsverluste errechnen sich die Wärmegewinne zu 1,1 kWh/d für die Küche, zu 0,7 kWh/d für den Flur im Erdgeschoß, zu 0,9 kWh/d für das WC und zu 0,6 kWh/d für das Bad.

Durch den Kaltwasserverbrauch wird den Räumen mit Zapfstelle Wärme entzogen. Der Kaltwasseranteil am Gesamtverbrauch beträgt 55 %. Unter Zugrundelegung einer Zuflußtemperatur von 11 °C und einer Abwassertemperatur von 17 °C errechnet sich die entzogene Wärme für einen Tag zu ca. -1,6 kWh/d.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49495 · Fax: (0561) 49435

Eine Zusammenstellung der Tagessummen für die wesentlichen Prozesse kann Tabelle 4.2-1 entnommen werden. Die Tagesprofile der Wärmeproduktion für die Räume sind in den Bildern 4.2-5 bis 4.2-7 zusammengestellt. Die Tagessumme errechnet sich zu 13,6 kWh/d.

4.2.2 Untersuchungsergebnisse

4.2.2.1 Wärmedämmung der Außenbauteile

Für die Simulationsrechnungen werden 3 Standards des Dämmniveaus der Außenbauteile festgelegt. Die k-Werte variieren dabei von 0,25 W/(m^{2}K) bis 0,15 W/(m^{2}K) beim Dach, von 0,3 W/(m^{2}K) bis 0,15 W/(m^{2}K) bei der Außenwand, von 0,45 W/(m^{2}K) bis 0,29 W/(m^{2}K) bei der Kellergeschoßdecke und von 1,4 W/(m^{2}K) bis 1,1 W/(m^{2}K) beim Fenster. Die Untersuchung erfolgt an Hand einer eindimensionalen Betrachtung der Bauteile. Aufgrund geometrischer sowie stoffbedingter Einflüsse weicht der tatsächlich auftretende Wärmeverlust von den getroffenen Annahmen ab. Die Wirkung der Wärmebrücken ist Gegenstand der Untersuchung in den Kapiteln 4.1.2 und 4.2.2.2.

Die betrachteten Dämmstandards und die den Simulationsrechnungen zugrundeliegenden Baukonstruktionen sind in Tabelle 4.2-2 dokumentiert. Alle übrigen Parameter entsprechen dem in Kapitel 4.2 beschriebenen Standardfall. Die Ausgangsvariante mit einer Orientierung der Terrassenfassade nach Süden hat einen Jahres-Heizwärmebedarf von 46 kWh/(m^{2}a). Bei Drehung des Gebäudes in die vier Haupthimmelsrichtungen ergeben sich für die Ostorientierung 48 kWh/(m^{2}a), für die Westorientierung 47 kWh/(m^{2}a) und für die Nordorientierung 50 kWh/(m^{2}a). Bild 4.2-8 zeigt den Jahres-Heizwärmebedarf der drei Varianten. Die Variante II beinhaltet den Standardfall. Variante III entspricht dem mit einer monolithischen Bauart sinnvoll erreichbaren Dämmstandard. Für den Jahres-Heizwärmebedarf ergibt sich dabei für alle Orientierungen eine Erhöhung um 25 %. Eine Verringerung des Heizwärmebedarfs von 30 % stellt sich bei der Anhebung des Dämmniveaus aller Außenbauteile entsprechend der Variante I ein. Die Wirksamkeit der einzelnen Dämm-Maßnahmen ist unterschiedlich. Durch Verbesserung des Dämmniveaus eines Außenbauteiles im Vergleich zum Standardfall wird in Bild 4.2-9 die Sensitivität einzelner Änderungen dargestellt. Als effektivste Maßnahme mit einer Minderung des Jahres-Heizwärmebedarfs um 14 % erweist sich die Variante IV mit einer Verbesserung des k-Wertes der Außenwand von 0,23 W/(m^{2}K) auf 0,15 W/(m^{2}K). Eine Verbesserung des k-Werts der Kellerdecke ergibt nur eine geringe Abminderung (3,7 %) des Heizwärmebedarfs. Die Änderung des k-Werts der Dachkonstruktion von 0,2 W/(m^{2}K) auf 0,15 W/(m^{2}K) ergibt eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs um 5,3 %. Der Einsatz der "Superglazing" verringert den Heizwärmebedarf um 4,1 %.

4.2.2.2 Wirkung der Wärmebrücken

Das instationäre Verhalten der Bauteile wird durch einen eindimensionalen Wärmetransport approximiert. Durch die Geometrie sowie den Aufbau der Konstruktionen stellt sich jedoch ein dreidimensionaler Wärmestrom ein. Für die Quantifizierung der gegenüber dem eindimensionalen

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

Wärmetransport abweichenden Wärmeverluste wurden umfangreiche Berechnungen [46, 47] durchgeführt. Der von dem Regelquerschnitt abweichende Wärmeverlust aufgrund von Geometrieeinflüssen oder infolge unterschiedlicher Materialeigenschaften wird mit dem Wärmebrückenverlustkoeffizient (WBV) unter stationären Verhältnissen beschrieben. Bei der Untersuchung des Einflusses der Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf wird der zusätzliche Verlust eines Raumes durch die Wärmebrücken aus dem Produkt der aktuellen Temperaturdifferenz und der Summe der WBV-Werte multipliziert mit der jeweiligen Kantenlänge berechnet. Speichereffekte im Bereich der Wärmebrücken werden vernachlässigt. [47] ist zu entnehmen, daß eine zweidimensionale Betrachtung (linienförmige Wärmeverluste) ausreicht. Dreidimensionale Wärmebrücken (punktförmige Wärmeverluste) sind dagegen marginal. Für das gesamte Gebäude errechnet sich bei Verwendung von Außenmaßen der Einfluß der Wärmebrücken zu -0,677 W/K. Der Wärmeverlust durch die Regelquerschnitte und die Bauteilanschlüsse wird bei energetisch günstigen Holzkonstruktionen gut approximiert. Tabelle 4.2-3 enthält eine Zusammenstellung der WBV-Werte und der Kantenlängen für die einzelnen Räume. Eine ausführliche Darstellung von Anschlußdetails ist in Kapitel 4.5.2 enthalten. Der Jahres-Heizwärmebedarf errechnet sich für den Standardfall mit Südorientierung zu 45,7 kWh/(m^2a). Der Einfluß beträgt -2,4 ‰. Der Jahres-Heizwärmebedarf ist in Abhängigkeit von der Orientierung in Bild 4.2-10 wiedergegeben.

4.2.2.3 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 [29]. Der im Mittel notwendige Luftwechsel von ca. 0,5 h^{-1} ist andererseits nicht mit hinreichender Sicherheit in ungünstig gelegenen Bereichen gewährleistet. Deshalb wird bei dem Standardhaus eine zentrale Lüftungsanlage berücksichtigt. Durch Bild 4.2-11 wird deutlich, daß mit zunehmender Gebäudeundichtigkeit die Wirksamkeit der Lüftungsanlage erheblich abnimmt. Der Einfluß der Durchlässigkeit der Gebäudehülle wird durch Variation eines konstanten Luftwechsels n_a in den Schritten 0,05 h^{-1}/0,10 h^{-1}/0,20 h^{-1} aufgezeigt. Im Vergleich zum Standardfall mit dem n_a von 0,10 h^{-1} verringert sich der Heizwärmebedarf bei dem n_a von 0,05 h^{-1} um 4 kWh/(m^2a). Bei einer weniger dichten Hülle mit einem n_a von 0,20 h^{-1} steigt der Heizwärmebedarf um 9 kWh/(m^2a). Erfahrungen in Schweden [29] zeigen, daß eine ausreichende Gebäudedichtigkeit erst bei einem $n_{50} < 1\ h^{-1}$ erreicht wird. Die Messung erfolgt gemäß [54]. Bisher ist es nicht möglich, eine exakte Langzeitprognose über den Luftwechsel in Gebäuden infolge Undichtigkeit an Hand von Einzelmessungen [54] zu machen.

Die hohen schwedischen Anforderungen erfordern eine besondere Sorgfalt bei der Planung und Ausführung der Luftsperre sowie deren Anschlüsse. Beispiele für luftdichte Anschlüsse sind in Kapitel 5.5.1 zusammengestellt.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

4.2.2.4 Temporärer Wärmeschutz

Das Fenster stellt in Phasen ohne Sonneneinstrahlung im Vergleich zur Außenwand einen 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 (m^2K)/W, 0,5 (m^2K)/W und 2,0 (m^2K)/W variiert. Der Einsatz des temporären Wärmeschutzes ist auf den Zeitraum ohne Sonneneinstrahlung beschränkt. Die Berechnungsergebnisse sind in Bild 4.2-12 dargestellt. Der Heizwärmebedarf des Standardgebäudes beträgt 45 kW/(m^2a). 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^2K)/W. Im Vergleich zum Standardfall verringert sich der Wärmebedarf um 2,4 % bei dem Wärmedurchlaßwiderstand von 2,0 (m^2K)/W.

4.2.2.5 Gebäudeorientierung

Der optimalen Orientierung von Niedrigenergiehäusern wurde in der Vergangenheit ein großes Gewicht beigemessen. Zu 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^2a), bezogen auf die Südorientierung 9,3 %. In der gleichen Größenordnung liegt der Einfluß bei alle anderen Berechnungen.

4.2.2.6 Fensterflächenanteil

Eine Vielzahl von Planern vertreten die Auffassung, daß eine Maximierung der nach Süden orientierten Fensterfläche eine deutliche Erhöhung der nutzbaren Solargewinne bedeuten. Um den Einfluß des Fensterflächenanteil der Terrassenfassade zu dokumentieren, erfolgt eine Untersuchung des Fensterflächenanteils in den Schritten f = 0/0,25/0,50/0,75/1,0. Bild 4.2-13 zeigt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Orientierung der Terrassenfassade. Der Wärmebedarf ist nahezu konstant. Der äquivalente k-Wert der Fenster [42, 58-67] entspricht in etwa dem äquivalenten k-Wert der Außenwand [42]. Der Einfluß der Orientierung beträgt 3 kWh/(m^2a) bei einem Fensterflächenanteil von 25 %, 4 kWh/(m^2a) bei einem 50 %igen Fensterflächenanteil,

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

5 kWh/(m²a) bei 75 % und 8 kWh/(m²a) 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.

4.2.2.7 Verschattung

Einen deutlich größeren Einfluß hat hingegen die Verschattung. Bild 4.2-14 gibt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der auftreffenden Sonneneinstrahlung wieder. Die mit der Verringerung der Sonneinstrahlung einhergehende Vergrößerung des Stromverbrauchs 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 Wärmebedarfs um 67 %. Eine Verschattung von 40 % ergibt beispielsweise eine Erhöhung um 18 %.

4.2.2.8 Farbgebung der Außenbauteile

Die Farbgebung der Außenbauteile beeinflußt die Absorption 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 ($a_S = 0{,}3$) und einer dunklen Hüllfläche ($a_S = 0{,}9$) im Vergleich zum Standardfall ($a_S = 0{,}6$) ist in Bild 4.2-15 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.

4.2.2.9 Transluzente Wärmedämmung

Durch die Verwendung transluzenter Dämm-Materialien ist es möglich, die Sonneneinstrahlung für die Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs stärker zu nutzen. Die Berechnungen werden unter Zugrundelegung eines führenden Produktes durchgeführt. Das Element besteht aus einem Glaspanel aus 4 mm dicken Glasscheiben und senkrecht zur Oberfläche orientierten dünnwandigen Röhrchen im Luftzwischenraum mit einer Schichtdicke von 122 mm. Der Wärmedurchlaßwiderstand der Matte beträgt 1,37 (m²K)/W. Die Abhängigkeit der Strahlungstransmission des Elementes vom Einstrahlwinkel wird entsprechend den Herstellerangaben berücksichtigt. Für die Absorption der Sonneneinstrahlung wird eine 20 cm dicke Betonwand mit einem Absorptionsgrad von 0,96 zugrunde gelegt. Für den Einbau der transluzenten Wärmedämmung steht in der Terrassenfassade eine Fläche von 13,53 m² zur Verfügung. In Bild 4.2-16 ist der Jahres-Heizwärmebedarf für den Standardfall sowie für das Gebäude mit transluzenter Wärmedämmung wiedergegeben. Im günstigsten Fall reduziert sich der Jahres-Heizwärmebedarf um 3 % auf 43 kWh/(m²a).

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

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.

4.2.2.10 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 Wintergartenhülle 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 [68-78] 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 0,2h^{-1} zwischen Wintergarten und Außenluft einstellt. Bei Temperaturen im Wintergarten zwischen 24 und 26 °C werden jedoch Lüftungsklappen betätigt, so daß der Luftwechsel auf 5 und bei Wintergartentemperaturen über 26 °C auf 20 h^{-1} 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 beibelassen. Um auch den Fall zu untersuchen, daß der Nutzer verstärkt das zum Teil hohe Temperaturniveau in Wintergärten zur Minderung des Heizwärmebedarfs nutzt, wird noch 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^3/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 4.2-17 gegenübergestellt. Erwartungsgemäß ist der Orientierungseinfluß relativ klein - bei Nordorientierung ergeben sich etwas höhere Einsparungen als bei Südorientierung - und die Jahres-Heizwärmebedarfs-Minderungen betragen 4 - 7 kWh/(m^{2}a).

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

4.2.2.11 Einfluß der Bauart

Die Holzbauart ist im Vergleich zur Massivbauart durch eine geringere Speicherfähigkeit gekennzeichnet. Gerade im Hinblick auf die Nutzung der Sonnenenergie wird mit der Speicherfähigkeit als besonders wirksame Komponente argumentiert. Dies läßt vermuten, daß Niedrigenergiehäuser in Holzbauart nicht möglich sind. Um diesem Irrtum entgegenzuwirken, wird das Standardgebäude unter Beibehaltung des k-Wertes für verschiedene Materialien (Beton, Kalksandstein und Porenbeton) untersucht. Die Konstruktionen sind in den Bilden 4.2-18 bis 4.2-20 zusammengestellt. Die k-Werte sind in allen Fällen identisch. Der Vergleich der Jahres-Heizwärmebedarfe kann Bild 4.2-21 entnommen werden. Bei dem betrachteten Gebäude ist der Jahres-Heizwärmebedarf der Ausführung in Beton am geringsten. Der Unterschied beträgt jedoch im Vergleich zur Holzbauart nur 9 %. Ein Hybrid, bestehend aus einer Holzaußenwandkonstruktion und einem Betonkern hat einen um 7,6 % geringeren Jahres-Heizwärmebedarf gegenüber dem Standardfall.

5. Baukonstruktive Lösungen

Wie die bisherigen Ausführungen dokumentieren, kommt dem baulichen Wärmeschutz bei Niedrigenergiehäusern eine zentrale Bedeutung zu. Bei der Verwirklichung eines hohen Wärmeschutzes sind jedoch auch alle anderen Funktionen des jeweiligen Bauteils, wie dessen Tragfähigkeit, dessen Brandschutz, dessen Schallschutz sowie dessen Regen- und Feuchteschutz, zu beachten. Zur Erleichterung der Planungsarbeit werden im weiteren einige Musterlösungen dargestellt. Dabei wird zunächst der Regelquerschnitt betrachtet und anschließend gelangen Anschlußausbildungen, die hinsichtlich der Luftdichtigkeit und Wärmebrückenwirkung besonders bedeutsam sind, zur Darstellung.

5.1 Dach

Dachkonstruktionen, die in der Holztafelbauart und im Holzskelettbau, aber auch im Mauerwerksbau Verwendung finden, sind in den Bildern 5-1 bis 5-3 dargestellt und in ihrem wärmeschutztechnischen Aufbau beschrieben. Die mittleren k-Werte - die Wärmebrückenwirkung der Sparren kann mit ausreichender Genauigkeit über k_m-Werte erfaßt werden, wie in [47] belegt - betragen zwischen 0,25 und 0,15 W/(m^{2}K) und entsprechen den Anforderungen an Niedrigenergiehäuser. Als kostengünstige Lösung liegt den Untersuchungen der Auswirkung baulicher Einflußgrößen als Standardfall die Dachkonstruktion D2 mit einem k_D-Wert von 0,20 W/(m^{2}K) zugrunde.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 36

5.2 Außenwände

Der Holzbau bietet eine Vielzahl von Ausführungsmöglichkeiten von Außenwänden an. Einige repräsentative Konstruktionen sind zusammen mit ihren wärmeschutztechnischen Werten in den Bildern 5-4 bis 5-7 wiedergegeben. Die mittleren k-Werte liegen zwischen 0,31 und 0,15 W/(m^2K) und decken den gesamten Niedrigenergiehausbereich ab. Die zuvor definierte Standardvariante entspricht Außenwand W3 mit einem k_m-Wert von 0,23 W/(m^2K).

5.3 Fenster

Fenster sind bei Niedrigenergiehäusern wenigstens mit einer sogenannten Wärmeschutzverglasung gem. Bild 5-8 auszuführen. Neuere Fertigungstechniken gestatten hierbei sogar noch kleinere k-Werte der Verglasung aufgrund kleinerer Emissionskoeffizienten der Beschichtung. Im Einzelfall gelangt auch die ebenfalls dargestellte "Superglazing" zur Anwendung. Es zeigt sich, daß in beiden Fällen die wärmeschutztechnische Wirkung üblicher Holz- bzw. Kunststoffrahmen schlechter ist als die Verglasung selbst, obwohl dort der Abstandshalter im Verbundbereich nach wie vor eine massive Verschlechterung der Wärmeschutzwirkung bewirkt. Künftige wärmeschutztechnische Anstrengungen müssen sich deshalb weniger auf den Glasbereich als auch auf den "Randbereich" konzentrieren.

Die Energiedurchlässigkeit der Verglasung für Sonnenenergie wird mittels Gesamtenergiedurchlaßgrad g beschrieben und ist für die passive Solarenergienutzung und das sommerliche Wärmeverhalten von Bedeutung.

Als Standardfall liegt den Untersuchungen ein Fenster mit Holzrahmen und Wärmeschutzverglasung - k_F = 1,4 W/(m^2K) und g = 0,62 - zugrunde.

5.4 Kellerdecke

Die Ausführung der Kellerdecke entspricht im allgemeinen der im Mauerwerksbau üblichen und ist nicht holzbautypisch. Deshalb sind in Bild 5-9 nur drei Ausführungsvarianten mit k-Werten von 0,45 bis 0,29 wiedergegeben, von denen Kellerdecke K2 mit einem k-Wert von 0,41 W/(m^2K) den Standardfall darstellt.

5.5 Bauteilanschlüsse

Der Ausbildung von Bauteilanschlüssen ist künftig eine wesentlich größere Bedeutung beizumessen als dies bislang der Fall war. Im Bereich von Bauteilanschlüssen treten in aller Regel erhebliche zusätzliche Wärmeverluste sowohl durch Undichtigkeiten als auch durch Wärmebrückenwirkungen auf. Zu einer guten wärmeschutztechnischen Ausbildung von Außenbauteilen gehört deshalb nicht nur ein kleiner k-Wert, gegebenenfalls mit hohem Gesamtenergiedurchlaßgrad bei Fenstern, sondern ebenso eine möglichst luftdichte Ausbildung der Bauteilanschlüsse sowie eine Ausbildung, die möglichst geringe zusätzliche Wärmeverluste infolge von Wärme-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

brückenwirkungen hervorruft. Diese Aspekte sollen im weiteren detailliert behandelt werden. Die in den Kapiteln 5.5.1 und 5.5.2 verwendeten Schraffuren sind in Bild 5.5-1 und die Stoffdaten in der Tabelle 5.5-1 zusammengestellt.

5.5.1 Luftdichtigkeit

Die energetische Bedeutung der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle geht aus den Untersuchungsergebnissen in Kapitel 4 hervor. Bei einem angepaßten Verhalten des Nutzers kann diese Auswirkung vermindert werden. Kommen jedoch Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zur Anwendung, ist dies nicht mehr der Fall und es findet ein zusätzlicher Luftaustausch über die Undichtigkeiten, am Wärmetauscher vorbei, statt. Bei derartigen Gebäuden sind deshalb hohe Dichtigkeiten anzustreben, wie auch aus Tabelle 5.5.1 - 1 [79] hervorgeht.

Zur Kennzeichnung der Dichtigkeit wird der n_{50}-Wert genannt. Diese beschreibt die Luftwechselrate, das heißt, das pró Stunde ausgetauschte Luftvolumen bezogen auf das Raum- bzw. Gebäudevolumen, bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen dem Raum- bzw. Gebäudeinnern und der Umgebung. Der n_{50}-Wert hat die Einheit h^{-1}. Dabei wird zwischen dem Inneren und Äußeren des auf Luftdichtigkeit zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudeteils mit Hilfe eines Ventilators ein Druckgefälle, Über- oder Unterdruck, erzeugt. Bei jeweils konstantem Wert, im allgemeinen liegen die Werte für die Druckdifferenz zwischen 10 und 100 Pa, wird für mehrere Druckdifferenzen der vom Ventilator geförderte Luftwechselstrom gemessen. Dieser entspricht dann dem durch die Gebäudehülle entweichenden Volumenstrom und damit der Luftdurchlässigkeit bei der jeweiligen Druckdifferenz. Angegeben wird üblicherweise die aus einer Überdruckmessung gemittelte Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz (n_{50}-Wert).

Für die Bestimmung der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle mit der Differenzdruckmethode wird von verschiedenen Herstellern eine sogenannte "Blower Door" angeboten. Mit einem solchen Meßgerät kann mit relativ geringem Aufwand die Luftdurchlässigkeit vom gesamten Gebäude bestimmt werden. Es ist aber auch möglich, von Gebäudeteilen, die ein abgeschlossenes Volumen bilden, beispielsweise einzelnen Räumen, die Luftdichtigkeit zu bestimmen.

Die Luftdichtigkeit ist auch für die Schadensfreiheit einer Konstruktion von größter Bedeutung [80-83]. Zur Verdeutlichung ist in Bild 5.5.1-1 die infolge Luftströmung (Konvektion) durch einen Bauteilspalt transportierte Wärme- und Wasserdampfmenge dargestellt. Diffusionsvorgänge sind demgegenüber von untergeordneter Bedeutung.

So klar und eindeutig die Forderung nach einer luftdichten Gebäudehülle ist, so schwierig ist auch deren praktische Umsetzung. Deshalb werden im weiteren detailliert Lösungen vorgeschlagen.

Holzbauteile sind wohl in ihrem Querschnitt, nicht jedoch an ihren Rändern ohne Zusatzmaßnahmen dicht. Die Dichtigkeit von Holzverschalungen wurde detailliert untersucht und publiziert [84] und genügt den Anforderungen nicht.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49405 · Fax: (0561) 49435

Folgende Zusatzmaßnahmen erscheinen erfolgversprechend: Die Dichtigkeit in der Fläche (Regelquerschnitt) kann durch die in Bild 5.5.1-2 aufgezeigten Maßnahmen sichergestellt werden. Im Bereich von Durchdringungen kommt die in Bild 5.5.1-3 wiedergegebene Lösung in Frage. Für die Detailausbildung Fenstersturz, -laibung, -brüstung, Geschoßdeckeneinbindung, Ortgang und Sockel finden sich Lösungsmöglichkeiten auf den Bildern 5.5.1-4 bis 13, welche zum Teil für die Holztafelbauart und zum Teil für den Holzskelettbau von Bedeutung sind.

5.5.2 Wärmebrücken

Die im Bereich von Anschlußdetails auftretenden zusätzlichen Wärmeverluste infolge von Wärmebrückenwirkungen können nicht völlig vermieden werden. Sie sind jedoch zu minimieren und nach Möglichkeit im Rahmen von Jahres-Heizwärmebedarfs-Berechnungen quantitativ zu erfassen. Für die wichtigsten Anschlußdetails sind deshalb Musterlösungen in

- Bild 5.5.2-1 bis 5.5.2-11 für die Tafelbauart
- Bild 5.5.2 -12 bis 5.5.2-36 für die Skelettbauart

dargestellt. Neben dem zur Kennzeichnung der Wärmeverluste dienenden Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV-Wert) ist auch die tiefste, im Bereich des Anschlußdetails auftretende raumseitige Oberflächentemperatur in Form des Θ-Wertes angegeben. Definition und Erläuterung finden sich in [46, 47].

6. Haustechnik

6.1 Raumheizung

Alle in Kapitel 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 Wärmeverteilung und der Umwandlung der Energieträger 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.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

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

Die Beheizung des Gebäudes erfolgt mit Ausnahme des gekoppelten Wohn- und Eßzimmers jeweils mit einem Heizkörper. Diese beiden Räume werden durch zwei Zonen mit separater Beheizung erfaßt. Die maximale Wärmeabgabe der Heizkörper errechnet sich in Anlehnung an DIN 4701 [55]. Um eine ausreichende Heizleistung für die Wiederaufheizung nach einer Nachtabsenkung bereitzustellen, wird eine höhere Temperaturdifferenz (55 K) in Ansatz gebracht. Für den Standardfall beträgt der Wärmebedarf des Gebäudes 9,7 kW.

Bei der Warmwasserheizung werden für die Wärmeübertragung Plattenheizkörper und Flächenheizungen betrachtet. Die Wärmeabgabe der Plattenheizkörper ergibt sich in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der Vorlauftemperatur des Wasserkreislaufs. Der funktionale Zusammenhang zwischen der Vorlauftemperatur und der Außenlufttemperatur ist in Bild 6-1, Diagramm 1, wiedergegeben. Die Heizleistung wird für die Spreizung 70/50 °C ausgelegt. Aus der Vorlauftemperatur und der Raumlufttemperatur errechnet sich die maximale Wärmeabgabe der Heizkörper in den einzelnen Zonen zu:

$$\Phi_{max} = \Phi_N \cdot (\Delta\vartheta / \Delta\vartheta_N)^n \qquad (1)$$

Die kleinste installierte Heizkörperleistung beträgt 300 W, wenngleich der Normwärmebedarf in einigen Räumen, z. B. Windfang, deutlich geringer ist.

Die Regelung des Heizungssystems erfolgt einerseits über die Außenlufttemperatur und anderseits über die Raumlufttemperatur. Die raumweise Regelung der Heizkörperleistung in Abhängigkeit von der jeweiligen Lufttemperatur ist notwendig, da ein Teil des Wärmebedarfs durch die Sonneneinstrahlung und die interne Wärmeproduktion abgedeckt wird. Für die Gebäudesimulation wird ein Näherungsmodell für die Heizungsanlage entwickelt, welches bezüglich des Thermostatventils auf den Angaben von [7] basiert. Bei der Regelung von Heizkörpern tritt zwischen der Schließ- und Öffnungskennlinie eine Temperaturdifferenz (Hysterese) auf. Dem Modell liegt eine Hysterese von 1 K zugrunde. Der im Proportionalbereich nichtlineare Zusammenhang von Schließ- sowie Öffnungskennlinie und der Raumlufttemperatur wird durch zwei Geraden linear approximiert. Der Gradient beträgt für alle Heizungssysteme 0,5 K^{-1}. In Bild 6-1, Diagramm 2, sind die Kennlinien wiedergegeben. Um eine möglichst geringe Schwankung der Raumlufttemperatur infolge der Beheizung zu erreichen, ist es notwendig, daß die Zuführung von Wärme nicht erst bei Unterschreitung des Sollwerts der Raumlufttemperatur einsetzt. Durch die Trägheitseffekte tre-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

ten andernfalls größere Regelschwankungen auf. Deshalb muß durch Verschieben der Kennlinien für jede Heizungsart separat die optimale Lage ermittelt werden. Die Optimierung erfolgt durch Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher meteorologischer Randbedingungen, um für alle Fälle eine ausreichende Beheizung sicherzustellen. Die Verschiebung beträgt 0,5 K für die geregelte Luftheizung, 0,7 K für die Warmwasserheizung mit Plattenheizkörper und 1 K für die Fußbodenheizung. Durch die Wärmeverluste der Heizungsrohre wird dem Gebäude in Abhängigkeit von der Führung der Rohre zusätzlich Wärme zugeführt. Die Rohrverteilungsverluste werden durch eine Erhöhung der Wärmeabgabe der Heizkörper in den einzelnen Zonen berücksichtigt. Die Erhöhung errechnet sich durch lineare Interpolation in dem Bereich zwischen 0 und 10 % in Abhängigkeit von der Öffnung des Thermostatventils. Ein zusätzlicher Wärmeverlust stellt sich durch die Verteilung im Keller ein. Die Wärmeabgabe variiert zwischen 0 W und 300 W. Zwischenwerte werden in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur in dem Temperaturbereich zwischen -5 °C und 20 °C linear interpoliert. Die Heizkörper werden durch eine 1 mm dicke Stahlplatte sowie einen Wasserinhalt von 40 l nachgebildet. Die Wärmeabgabe erfolgt konvektiv.

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 dem Diagramm 3 in Bild 6-1 entnommen werden. Um den Einfluß der installierten Kesselleistung 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 6-2 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^2 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^{2}K) wird den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung [48] angepaßt. Für die Kellergeschoßdecke findet die in Bild 5-9 beschriebene Konstruktion K3 mit dem k-Wert 0,29 W/(m^{2}K) Verwendung. Der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Heizebene und Keller beträgt 0,32 W/(m^{2}K).

Beim Vergleich der Heizungssysteme werden vier Systeme miteinander verglichen. Die optimale Lösung stellt eine trägheizlose Luftheizung ohne Regelabweichung der Raumlufttemperatur dar. Alle bisher durchgeführten Berechnungen basieren auf diesem Modell. Bei der vergleichenden

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

Untersuchung werden die optimale Luftheizung, eine geregelte Luftheizung, eine Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern sowie eine Warmwasserfußbodenheizung miteinander verglichen. Bild 6-3 zeigt den Vergleich der Jahres-Heizwärmebedarfe für das Standardgebäude. Durch die Berücksichtigung der Regelungstechnik bei der Luftheizung erhöht sich der Heizwärmebedarf von 45,8 kWh/(m^2a) auf 46,5 kWh/(m^2a). 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^2a) und der Wärmebedarf für die Fußbodenheizung um 18 % auf 54,0 kWh/(m^2a). Der Jahreswirkungsgrad der Warmwasserheizung mit 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 Speicherfähigkeit 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 operativen Lufttemperatur wird bei der Simulation keine Rechnung getragen. Die Führung der Wärmeabgabe der Heizkörper über die Raumlufttemperatur vernachlässigt die Möglichkeit einer geringeren Raumlufttemperatur bei gleichbleibender Behaglichkeit wegen der großen Fläche mit hoher Oberflächentemperatur bei der Fußbodenheizung.

6.2 Lüftungstechnik

Für Niedrigenergiehäuser ist eine Lüftungsanlage zwingend notwendig. Mit einem zentralen Zu- und Abluftsystem wird eine hohe Luftqualität erreicht. Durch den Einbau einer Zu- und Abluftführung kann die in der Fortluft enthaltene Wärme genutzt werden. Die in dem Standardgebäude untersuchte Lüftungsanlage verfügt über eine Wärmerückgewinnung mit einem Nutzungsgrad von 65 %.

Die Wirkung der Wärmerückgewinnung läßt sich Bild 6-4 entnehmen. Der Jahres-Heizwärmebedarf vergrößert sich um 85 % auf 70 kWh/(m^2a), wenn keine Wärmerückgewinnung vorhanden ist (Luftwechsel n = 0,5 h^{-1}). Dieser Fall verhält sich ungünstiger als die Variante mit raumlufttechnischer Anlage (RLT) ohne Wärmerückgewinnung (WRG), weil der größte Anteil der Zuluft bei der Variante mit (RLT) in die nach Süden orientierten Räume einströmt. Somit kann ein größerer Anteil der Sonneneinstrahlung genutzt werden. Der Einfluß der Gebäudedichtigkeit für eine RLT mit und ohne Wärmerückgewinnung läßt sich Bild 6-5 entnehmen.

Eine weitere Reduzierung 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. Aus Bild 6-6 läßt sich die jahreszeitliche Verteilung der Erdreichtemperatur in einer Tiefe von 0,80 m, 1,20 m, 1,60 m und 2,40 m entnehmen. Der Wirkungsgrad des Wärmetauschers wird zu 80 % angenommen. Dies entspricht einer Rohrlänge von ca. 50 m. Eine aus-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

führliche Beschreibung des Berechnungsmodells enthält [56]. Bild 6-7 gibt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Einbautiefe des Erdkanals und der Lüftungsart wieder. Der Erdkanal mindert den Jahres-Heizwärmebedarf wie folgt:

Einbautiefe	Lüftungsart	Einsparung	
0,80 m	ohne RLT, n = 0,5 h^{-1}	4,1	kWh/(m^2·a)
	RLT ohne WRG	2,7	kWh/(m^2·a)
	RLT mit WRG	0,8	kWh/(m^2·a)
1,20 m	ohne RLT, n = 0,5 h^{-1}	4,1	kWh/(m^2·a)
	RLT ohne WRG	2,7	kWh/(m^2·a)
	RLT mit WRG	0,8	kWh/(m^2·a)
1,60 m	ohne RLT, n = 0,5 h^{-1}	5,2	kWh/(m^2·a)
	RLT ohne WRG	3,4	kWh/(m^2·a)
	RLT mit WRG	1,1	kWh/(m^2·a)
2,40 m	ohne RLT, n = 0,5 h^{-1}	6,1	kWh/(m^2·a)
	RLT ohne WRG	4,0	kWh/(m^2·a)
	RLT mit WRG	1,3	kWh/(m^2·a)

7. 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.

7.1 Raumlufttemperaturniveau

Über die Höhe der in den einzelnen Räumen eines Wohngebäudes vorliegenden Raumlufttemperatur kann keine allgemein gültige Aussage gemacht werden. Der Temperaturbereich, in dem sich ein für die Nutzer behagliches Klima einstellt, ist 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 7-1 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

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

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.

7.2 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 Stromverbrauches 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. Dieser Wert wird bei einer 16stündigen Beheizung nie erreicht. Beim Nutzungstyp ohne Anstieg der Lufttemperatur (0 h) ist zur Aufrechterhaltung der Mindestraumlufttemperatur nur ein spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf von 4,5 kWh/(m^2a) notwendig. Bereits eine zweistündige Beheizungsphase erfordert 70 % des Wärmebedarfs für die Standardnutzung. Bild 7-2 zeigt den Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der täglichen Heizdauer.

7.3 Lüftungsverhalten

Auf die Bedeutung der Gebäudelüftung bei Niedrigenergiehäusern wurde bereits mehrfach hingewiesen. Der Einfluß von Undichtigkeiten wurde in Kapitel 4.2.2.3 untersucht. Das Ergebnis ist, daß bereits geringe Undichtigkeiten den Jahres-Heizwärmebedarf spürbar (19 %) erhöhen. Dies läßt vermuten, daß eine zusätzliche Stoßlüftung einen erheblichen Mehrverbrauch 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 beinhaltet Zyklus 1 und zusätzlich eine Stoßlüftung zwischen 12.00 und 13.00 Uhr. Zyklus 3 beinhaltet Zyklus 2 und zusätzlich eine Stoßlüftung von 15.00 bis 18.00 Uhr. Der Vergleich des Standardmodells mit den Lüftungszyklen 1-3 ist in Bild 7-3 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 Berechnungen zeigen, daß die Akzeptanz der Lüftungsanlage über das Niedrigenergiekonzept entscheidet.

7.4 Interne Wärmequellen

Auf die Bedeutung der internen Wärmegewinne wurde bereits mehrfach hingewiesen. Um den Einfluß darzustellen, werden die in Kapitel 4.2.1 entwickelten Profile proportional verändert. Die

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494936

Untersuchung dient nur einer näherungsweise Darstellung der Abhängigkeiten. Es kann davon ausgegangen werden, daß eine geringere Wärmeproduktion durch den Einsatz energiesparender Geräte sowie Energiesparlampen bezüglich der Kunstlichtversorgung erreicht wird. Deshalb beschreibt eine proportionale Abminderung die tatsächlichen Verhältnis ausreichend genau. Eine signifikante Erhöhung der Wärmequellen dürfte hingegen die Folge von großen Stromverbrauchern sein, welche von den entwickelten Tagesprofilen der Standardnutzung unabhängig sind. Damit ist zwangsläufig eine größere Abweichung zwischen den in der Praxis auftretenden Nutzungsprofilen und den durch die proportionale Änderungen erzeugten Profilen verbunden. Deshalb werden keine weiteren stochastischen Nutzungsprofile mit hohen Wärmequellen entwickelt. Bild 7-4 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-Heizwärmebedarfs um ca. 4,5 %.

8. BRD-Standorte

Die klimatischen Verhältnisse unterscheiden sich innerhalb der BRD [57]. Die Meteorologie unterscheidet sich hinsichtlich der Außenlufttemperatur und der Sonneneinstrahlung. Maßgebend für den größten Wärmebedarf ist der Standort Hof und für den geringsten Wärmebedarf der Standort Freiburg. Der Standorteinfluß wird für den maximalen und minimalen Jahres-Heizwärmebedarf in Bild 8-1 dokumentiert. Die Schwankungsbreite liegt im Vergleich zu den meteorologischen Daten von Würzburg bei -7,8 kWh/(m^2a) und 12,9 kWh/(m^2a).

9. Zusammenfassung

Bei der Planung von Niedrigenergiehäusern werden bisher häufig wichtige Aspekten 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, erfolgen umfangreiche Simulationsberechnungen und der Einfluß einzelner Parameter auf das energetische Verhalten von Gebäuden wird dokumentiert. Der Vorgehensweise bei Gebäudeentwürfen entsprechend gelangt zunächst der Einfluß der Gebäudegeometrie, welche in der Vorentwurfsphase festgelegt wird, zur Betrachtung. Danach werden die für die Ausführungsplanung wichtigen Einflußgrößen aufgezeigt.

Für die Untersuchung des Geometrieeinflusses werden freistehende Häuser und Reihenhäuser herangezogen. Bei dem freistehenden Gebäude finden Satteldach-Häuser, Prisma-Häuser (Hügel-Häuser), Pultdach-Häuser und Kreissegment-Häuser Verwendung. Das energetische Verhalten von Reihenhäusern wird an einem Satteldachtyp, welcher sich bei dem freistehenden Gebäude als günstigste Lösung herausstellt, aufgezeigt. Die Nutzfläche beträgt bei den freistehen-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 36

den Häusern 180 m^2 bei den Reihenmittelhäusern 132 m^2, und bei den Reihenendhäusern 150 m^2. Den Simulationsrechnungen liegt in dieser Phase der Bearbeitung ein Dreizonenmodell sowie ein für Vierpersonenhaushalte übliches Nutzungsprofil, das in Bild 4.1-1 wiedergegeben ist, zugrunde. Die Fensterfläche beträgt 30 m^2 bei den freistehenden Häusern, 22 m^2 bei den Reihenmittelhäusern und 25 m^2 bei den Reihenendhäusern. Eine Zusammenstellung der variierten Parameter ist in den Tabellen 4.1-1 und 4.1.-2 enthalten. Um das energetische Verhalten der Gebäude zu dokumentieren werden die Schwankungsbereiche und der minimale Jahres-Heizwärmebedarf der untersuchten Gebäudetypen in kWh/(m^2a), bezogen auf die Nutzfläche, im folgenden angegeben:

a) Satteldach-Haus	Einfluß der Orientierung bei		
	konzentrierter Fensterverteilung	7,0 - 9,2	47,3
	Einfluß des Seitenverhältnisses	1,4 - 4,5	
	Einfluß der Dachneigung	0,6 - 5,6	
b) Prisma-Haus	Einfluß der Seitenlänge	1,3 - 8,3	54,8
	Einfluß der Dachneigung	0,2 - 6,2	
c) Pultdach-Haus	Einfluß des Seitenverhältnisses	0,2 - 3,4	48,5
	Einfluß der Dachneigung	0,1 - 4,2	
d) Kreissegment-Haus	Einfluß des Zentriwinkels	0,1 - 2,2	51,0
e) Gebäudegliederung	Einfluß der Dachneigung	3,1 - 4,6	51,0
	Einfluß der Hüllflächenvergrößerung	4,1 - 7,2	
f) Wärmebrückenwirkung bei Verwendung von Außenmaßen			
	günstige Sockelausbildung	-1,6 - -2,6	44,8
	ungünstige Sockelausbildung	5,3 - 15,8	52,7
i) Drehbares Haus		-1,8	45,5

Als günstigste Lösung aller freistehenden Gebäude ergibt sich das Satteldach-Haus mit südkonzentrierter Fensterverteilung, der 22° Dachneigung und dem Seitenverhältnis 1,5.

Der gesamte Schwankungsbereich der Jahres-Heizwärmebedarfe für die untersuchten Gebäude kann den Bildern 4.1-12 und 4.1-13 entnommen werden. Er beträgt zwischen 47 kWh/(m^2a) und 66 kWh/(m^2a) bei den freistehenden Häusern, zwischen 40 kWh/(m^2a) und 50 kWh/(m^2a) bei den Reihenendhäusern und zwischen 34 kWh/(m^2a) und 44 kWh/(m^2a) bei den Reihenmittelhäusern.

Nach der Betrachtung der maßgebenden Parameter für den Vorentwurf folgt die Bewertung der wesentlichen Einflußparameter für die Gebäudeausführung an Hand eines konkreten Objektes. Der Parameterstudie liegt ein freistehendes Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 150 m^2 zugrunde. Die Geometrie des Gebäudes kann Bild 4.2-1 entnommen werden. Um den Einfluß einzelner Maßnahmen zu verdeutlichen, wird zunächst ein Standardfall festgelegt. Den Stan-

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

dardkonstruktionen liegen die Konstruktionen in den Bildern 4.2-2 und 4.2-3 zugrunde. Für die Simulationsrechnungen werden für die Räume Nutzungsprofile entwickelt, welche auf Stundenmittelwerten für einen Tageszyklus basieren. 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

Die Tagesprofile der Wärmeproduktion für die Räume sind in den Bildern 4.2-5 bis 4.2-7 zusammengestellt. Die Tagessumme errechnet sich zu 13,6 kWh/d. Der Strombedarf für Kunstlicht errechnet sich in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke im Wohnzimmer für den Grenzwert 150 lx durchschnittlich zu 1,4 kWh/d.

Die baulichen Komponenten beeinflussen den Jahres-Heizwärmebedarf, bezogen auf den Standardfall mit Südorientierung mit 45 kWh/(m^2a), wie folgt:

- Dämmniveau		-12 - 8 kWh/(m^2a)
- Sensitivität (Konstruktionen Tabelle 4.2-2/3, Standard: Variante II, Verbesserung: Variante I)		
	Kellerdecke	-2 kWh/(m^2a)
	Außenwand	-6 kWh/(m^2a)
	Dach	-2 kWh/(m^2a)
	Fenster	-2 kWh/(m^2a)
- Wärmebrückeneinfluß (Außenmaßbezug)		-0,2 kWh/(m^2a)
- Orientierung		2 - 6 kWh/(m^2a)
- Undichtigkeiten		-4 - 9 kWh/(m^2a)
- Temporärer Wärmeschutz		-1 - 4 kWh/(m^2a)
- Fensterflächenanteil		0,4 kWh/(m^2a)
- Verschattung		31 kWh/(m^2a)
- Farbgebung		-2 - 2 kWh/(m^2a)
- Transluzente Wärmedämmung		-3 kWh/(m^2a)
- Wintergarten		-5 kWh/(m^2a)
- Bauart		-4 kWh/(m^2a)

Den Berechnungsergebnissen ist zu entnehmen, daß der bauliche Wärmeschutz bei Niedrigenergiehäusern von zentraler Bedeutung ist. Zur Erleichterung der Planungsarbeit werden einige Musterlösungen dargestellt. Dabei wird der Regelquerschnitt sowie die Anschlußausbildungen, die hinsichtlich der Luftdichtigkeit und Wärmebrückenwirkung besonders bedeutsam sind, betrachtet.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

Die mittleren k-Werte der Dachkonstruktionen betragen zwischen 0,25 und 0,15 W/(m²K) und entsprechen den Anforderungen an Niedrigenergiehäuser. Dem Standardfall liegt ein k_D-Wert von 0,20 W/(m²K) zugrunde.

Hinsichtlich der Außenwandkonstruktionen bietet der Holzbau eine Vielzahl von Ausführungsmöglichkeiten an. Es werden Beispiele mit mittleren k-Werte zwischen 0,31 und 0,15 W/(m²K) zusammengestellt. Die zuvor definierte Standardvariante hat einen k_m-Wert von 0,23 W/(m²K).

Die Ausführung der Kellerdecke entspricht im allgemeinen der im Mauerwerksbau üblichen und ist nicht holzbautypisch. Deshalb werden nur drei Ausführungsvarianten mit k-Werten von 0,45 bis 0,29 wiedergegeben, von denen die Kellerdecke mit dem k-Wert von 0,41 W/(m²K) den Standardfall darstellt.

Der Ausbildung von Bauteilanschlüssen ist künftig eine wesentlich größere Bedeutung beizumessen als dies bislang der Fall war. In diesem Bereich treten in aller Regel erhebliche zusätzliche Wärmeverluste sowohl durch Undichtigkeiten als auch durch Wärmebrückenwirkungen auf.

Die energetische Bedeutung der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle geht aus den oben zusammengestellten Untersuchungsergebnissen hervor. Kommen in einem Gebäude Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zur Anwendung, so muß der Luftwechsel infolge Undichtigkeiten minimiert werden. Holzbauteile sind wohl in ihrem Querschnitt, nicht jedoch an ihren Rändern ohne Zusatzmaßnahmen dicht. Folgende Zusatzmaßnahmen erscheinen erfolgversprechend: Die Dichtigkeit in der Fläche (Regelquerschnitt) kann durch die in Bild 5.5.1-2 aufgezeigten Maßnahmen sichergestellt werden. Im Bereich von Durchdringungen kommt die in Bild 5.5.1-3 wiedergegebene Lösung in Frage. Für die Detailausbildung Fenstersturz, -laibung, -brüstung, Geschoßdeckeneinbindung, Ortgang und Sockel finden sich Lösungsmöglichkeiten auf den Bildern 5.5.1-4 bis 13, welche zum Teil für die Holztafelbauart und zum Teil für den Holzskelettbau von Bedeutung sind.

Die im Bereich von Anschlußdetails auftretenden zusätzlichen Wärmeverluste infolge von Wärmebrückenwirkungen können nicht völlig vermieden werden. Für die wichtigsten Anschlußdetails sind deshalb Musterlösungen in

- Bild 5.5.2-1 bis 5.5.2-11 für die Tafelbauart
- Bild 5.5.2 -12 bis 5.5.2-36 für die Skelettbauart

dargestellt. Neben dem zur Kennzeichnung der Wärmeverluste dienenden Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV-Wert) ist auch die tiefste, im Bereich des Anschlußdetails auftretende raumseitige Oberflächentemperatur in Form des Θ-Wertes angegeben.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 49 49 05 · Fax: (0561) 49 49 35

Bei der Untersuchung der Heizungssysteme wird eine Luftheizung und eine Warmwasserheizung betrachtet. Das Berechnungsmodell berücksichtigt die Kesselleistung, die Verteilungsverluste, die Regelung der Heizkörperleistung in den beheizten Räumen mit Thermostatventilen sowie das instationäre Verhalten der Heizkörper. Die Wärmeabgabe erfolgt bei der Warmwasserheizung über Plattenheizkörper sowie eine Fußbodenheizung. Die gerätespezifischen Daten sind in Bild 6-1 zusammengestellt. Die Warmwasserbereitung geschieht separat und wird nicht näher beschrieben. Der Jahres-Heizenergiebedarf ist in Abhängigkeit von der Kesselleistung in Bild 6-2 wiedergegeben. Der Jahreswirkungsgrad schwankt zwischen 98 % bei 10 kW Kesselleistung und 88 % bei 25 kW Kesselleistung. Bei den Heizungssystemen wirkt sich der Unterschied der Speicherfähigkeit auf den Jahres-Heizenergiebedarf aus. Der Wirkungsgrad der Heizungsanlagen ergibt sich wir folgt: Luftheizung 99 %, Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern 97 %, Fußbodenheizung 89 %. Im Vergleich zur optimal geregelten Luftheizung beträgt die Erhöhung des Wärmebedarfs 2 % bei der geregelten Luftheizung, 12 % bei der Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern und 18 % bei der Fußbodenheizung.

Der Einfluß der Nutzer wird an Hand der gewünschten Raumlufttemperatur, der Dauer der Nachtabsenkung, der zusätzlichen Stoßlüftung und die Änderung der internen Wärmequellen aufgezeigt. Der Schwankungsbereich beträgt:

- Raumlufttemperaturniveau	-2 K	-10 kWh/(m²a)
	-4 K	-18 kWh/(m²a)
- Beheizungsdauer	2 h	-15 kWh/(m²a)
	6 h	-9 kWh/(m²a)
	10 h	-6 kWh/(m²a)
- Stoßlüftung pro Tag	1x	19 kWh/(m²a)
	2x	34 kWh/(m²a)
	3x	50 kWh/(m²a)
- Interne Wärmeproduktion (Proportionalitätsfaktor)		
	0	12 kWh/(m²a)
	2	-10 kWh/(m²a)

Abschließend wird der Einfluß des Standorts innerhalb des BRD dokumentiert. Als Grenzfälle ergeben sich die meteorologischen Daten von Freiburg und Hof. Die Abweichung gegenüber der Standardmeteorologie Würzburg beträgt -8 kWh/(m²a) für Freiburg und 13 kWh/(m²a) für Hof.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

8. Literatur

[1] 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).

[2] 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).

[3] Wagner: Pers. Mitteilung von Dr. Wagner (KFA Jülich/STE) bei einem Gespräch am 18. 8. 1989 in Jülich mit Uwe Fritsche, ÖKO-Institut, Darmstadt.

[4] Gertis, K.: Heizenergieeinsparung bei Wohngebäuden und CO_2-Emmissionen. Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik, Universität Stuttgart, Aug. 1990.

[5] Lehmann, A.: Wärmepumpen zur Minderung von CO_2-Emissionen. CCI (1991), H. 2, S. 20-22.

[6] Beschluß der Bundesregierung vom 7. Nov. 1990 zur Reduzierung der CO_2-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2005. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, Nov. 1990.

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

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

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

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

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

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

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

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

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

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

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

[17] Feist, Klien: Das Niedrigenergiehaus. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe 1989.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[29] 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).

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

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

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

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

[33] PESAG: Das Niedrigenergiehaus, Essen 1993.

[34] Arbeitsgemeinschaft kommunaler Versorgungsunternehmen zur Förderung rationeller, sparsamer und umweltschonenender Energieverwendung und rationeller Was serverwendung: Niedrigenergiehaus, Köln.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494936

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

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

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

[48] Wärmeschutzverordnung (Entwurf Januar 1994).

[49] Feist, W.: Innere Gewinne werden überschätzt. Sonnenenergie & Wärmetechnik (1994), H. 1, S. 19.

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

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

[52] ifo. HLH 44 (1993), H. 5, S. 292.

[53] Entwicklung des Stromverbrauchs von Elektro-Hausgeräten - Energieeinsparung 1988-1991. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

[54] ISO/TC 163/SC1: Draft Inernational Standard ISO/DIS 9972. ISO/DIS 9972 thermal insulation - determination of building airthightness - fan pressurization method, 1990.

[55] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden (1983).

[56] Hauser, G. und Otto, F.: Erdwärmetauscher. Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. B 15 - 80 01 89 - 108 (1991).

[57] EVDI 2067, Blatt 2: Raumheizung - Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen (1991).

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

[59] Hauser, G.: Die wärmetechnische Beurteilung von Fenstern unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung während der Heizperiode. Bauphysik 1 (1979), Nr. 1, S. 12-17.

[60] Werner, H.: Auswirkungen meteorologischer Einflußgrößen auf die Wärmebilanz von Fenstern während der Heizperiode. Ges.-Ing. 101 (1980), Nr. 3, S. 63-68.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494935

[61] 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.

[62] Hauser, G.: Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung bei der Bestimmung der Transmissionswärmeverluste. Docu-Bulletin 13 (1981), Nr. 3, S. 2-3.

[63] Werner, H.: Wärmedurchgang durch Fenster und Wand unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung. Ges.-Ing. 102 (1981), Nr. 3, S. 121-126.

[64] Rouvel, L.: Energiebilanz von Gebäuden, vereinfachte Berechnungsverfahren. Praxisinformation Energieeinsparung, Grundlagen. DAB 14 (1982), Nr. 3, S. 327-331, Nr. 4, S. 477-481.

[65] 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.

[66] 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.

[67] Hauser, G.: Näherungsformel zur einfachen Berechnung von Strahlungsgewinnkoeffizienten. Bauphysik 10 (1988), H. 2, S. 43 -51.

[68] Hauser, G.: Bauphysikalische Aspekte bei Wintergärten. Glaswelt 39 (1986), H. 5, S. 10-21.

[69] 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.

[70] 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.

[71] Hauser, G.: Beeinflussung der O_2- und CO_2-Konzentrationen durch die Grüne Solar-Architektur. HLH 40 (1989), H. 1, S. 7-12.

[72] 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.

[73] Hauser, G.: Auswirkungen von Außenwänden und Wintergärten auf das Raumklima. DAB 22 (1990), H. 3, S. 393-398.

Ingenieurbüro Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner · D-34225 Baunatal · Hessenbergstraße 71 · Tel.:(0561) 494905 · Fax: (0561) 494936

[74] Nikolic, V. u. a.: Bau und Energie: "Bauliche Maßnahmen zur verstärkten Sonnenenergienutzung im Wohnungsbeu". Verlag TÜF Rheinland. Köln 1983.

[75] Stricker, R. und Erhorn H.: Wintergärten - energetische sinnvoll?, Mitteilung des Fraunhofer instituts für Bauphysik 12 (1985), Nr. 97.

[76] Werner, H.: Bauphysikalisches Verhalten von Wintergärten - Planungs- und Nutzungsempfehlungen für die Praxis -. Deutsches Architektenblatt 20 (1988), H. 2, S. 259-262.

[77] Sagelsdorf, R.: Forschungsarbeiten der Schweiz über Wintergärten. IBK (1986), H. 2, S. 3-9.

[78] Werner, H.: Der Glasvorbau als "Wintergarten" oder "Pufferraum". Glas Forum 37 (1987), H. 1, S. 35-39.

[79] SIA 180: Wärmeschutz im Hochbau (1988)

[80] Wagner, H.: Gibt es feuchtigkeitstechnische Probleme bei fehlender Hinterlüftung zwischen Wärmedämmung und Dacheindeckung? wksb 18 (1984), S. 22-26.

[81] Künzel, H.; Groskinsky, T.: Nicht belüftet, voll gedämmt: Die beste Lösung für das Steildach! wksb 27 (1989), S. 1-7.

[82] Schulze, H.: Hausdächer in Holzbauart. Wärmeverlag, Düsseldorf 1987.

[83] Schulze, H.: Vermeidung von Feuchteschäden im Holzhausbau. Forschungsbericht der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München, 9. August 1990.

[84] Geißler, A. und Hauser, G.: Dichtigkeitsprüfung von Holzverschalungen. Forschungsbericht des Fachgebiets Bauphysik der Universität - Gesamthochschule Kassel, 1994.

Baunatal, den 28. Februar 1994

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser)

(Dipl.-Ing. Frank Otto)

Tabelle 4.1-1: Zusammenstellung der bei den Simulationsrechnungen variierten Parameter. Die Angaben zur konzentrierten Fensterverteilung beziehen sich auf die in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 gekennzeichnete Fläche. Die veschiedenen Gebäudetypen haben eine Nutzfläche von 180 m^2 beim freistehenden Haus, 132 m^2 beim Reihenmittelhaus und 150 m^2 beim Reihenendhaus.

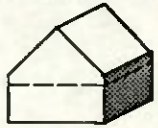
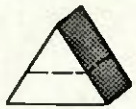
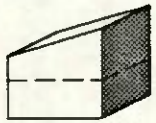
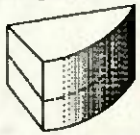
Gebäudeform	Gebäudetyp	Dachneigung	Seitenlänge a [m]	Seitenverhältnis a/b [-]	Zentriwinkel	Verteilung der Fensterflächen A_F [m^2] N 0°	O 90°	S 180°	W 270°	Vergrößerung der Hüllfläche
Satteldach-Haus 	freistehendes Haus	22 ° 30 ° 38 ° 45 °	7,07 10,0 12,25	0,5 1,0 1,5		7,5 1,5 1,5	7,5 3,88 2,25	7,5 20,74 24,0	7,5 3,88 2,25	
Prisma-Haus 	freistehendes Haus	45 ° 45 ° 60 ° 60 ° 45 ° 90 °	8,0 10,0 12,5			4,0	7,0	12,0	7,0	
Pultdach-Haus 	freistehendes Haus	10 ° 22 °	7,07 10,0 12,25	0,5 1,0 1,5		7,5 1,5 1,5 + A_D = 12	7,5 2,25 2,25	7,5 24,0 12,0	7,5 2,25 2,25	
Kreissegment-Haus 	freistehendes Haus	15 °			90 ° 135 ° 180 °	Giebel je 2,25 m^2 25,5 m^2 Fensterfläche in der gekrümmten Fassade gleichmäßig verteilt				
Gegliedertes Haus	freistehendes Haus	30 °	10,0			1,5	2,25	24,0	2,25	1,1 1,2 1,3

Tabelle 4.1-2: Zusammenstellung der bei den Simulationsrechnungen variierten Parameter. Die Angaben zur konzentrierten Fensterverteilung beziehen sich auf die in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 gekennzeichnete Fläche.

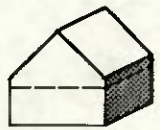
Gebäudeform	Gebäudetyp	Dachneigung	Seitenverhältnis a/b [-]	Nutzfläche [m^2]	Verteilung der Fensterflächen A_F [m^2]			
					N 0°	O 90°	S 180°	W 270°
Satteldach-Haus 	Reihenmittel-Haus	30 °	0,5	132	11,0	-	11,0	-
			1,0		2,8	-	19,2	-
			1,5					
	Reihenend-Haus	30 °	0,5	150	12,5	-	12,5	-
			1,0		3,1	-	21,9	-
			1,5					

Tabelle 4.1-3: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für die in Spalte 1 angegebenen Gebäudetypen ohne Berücksichtigung der Wärmebrückeneffekte. Den Berechnungen liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Als thermisch äquivalentes System wird ein Dreizonenmodell betrachtet. Für die meteorologischen Randbedingungen werden die Daten von Würzburg herangezogen. Die ausgewiesenen Werte stellen den auf die Nutzfläche bezogenen Jahres-Heizwärmebedarf dar. Die angegebene Gebäudeorientierung entspricht dem Azimut der in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 gekennzeichneten Außenwand.

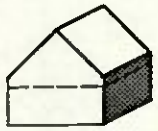
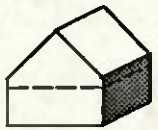
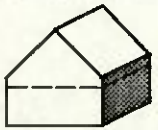
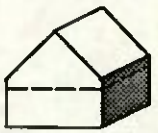
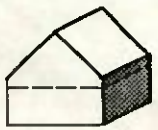
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung/ Längenverhältnis	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R01	a/b = 0,5	22 °	53,3	53,3	52,9	53,3	53,3	53,3	52,9	53,3
	R02	a = 7,07 m	30 °	54,6	54,6	54,2	54,6	54,6	54,6	54,2	54,6
	R03	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	56,3	56,4	56,0	56,3	56,3	56,4	56,0	56,3
	R04		45 °	58,3	58,4	58,0	58,4	58,3	58,4	58,0	58,4
Satteldach-Haus 	R05	a/b = 1,0	22 °	51,3	51,4	51,1	51,4	51,3	51,4	51,1	51,4
	R06	a = 10 m	30 °	52,2	52,3	52,0	52,3	52,2	52,3	52,0	52,3
	R07	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	53,4	53,6	53,2	53,5	53,4	53,6	53,2	53,5
	R08		45 °	54,9	55,1	54,7	55,0	54,9	55,1	54,7	55,0
Satteldach-Haus 	R09	a/b = 1,5	22 °	51,3	51,4	51,0	51,3	51,3	51,4	51,0	51,3
	R10	a = 12,3 m	30 °	52,0	52,1	51,8	52,1	52,0	52,1	51,8	52,1
	R11	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	53,1	53,2	52,9	53,2	53,1	53,2	52,9	53,2
	R12		45 °	54,4	54,6	54,2	54,5	54,4	54,6	54,2	54,5
Satteldach-Haus 	R13	a/b = 0,5	22 °	56,9	56,1	53,4	51,1	49,9	51,4	53,7	56,3
	R14	a = 7,07 m	30 °	58,5	57,5	54,7	52,3	51,1	52,6	55,0	57,7
	R15	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	60,4	59,4	56,4	53,9	52,6	54,2	56,7	59,6
	R16		45 °	62,5	61,5	58,5	55,9	54,5	56,2	58,8	61,7
Satteldach-Haus 	R17	a/b = 1,0	22 °	55,6	54,6	51,6	48,9	47,4	49,1	51,9	54,8
	R18	a = 10 m	30 °	56,7	55,6	52,6	49,6	48,1	49,9	52,9	55,9
	R19	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	58,1	57,0	53,8	50,8	49,2	51,1	54,1	57,3
	R20		45 °	59,7	58,6	55,3	52,2	50,6	52,5	55,7	58,8

Tabelle 4.1-3: (Fortsetzung)

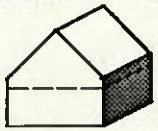
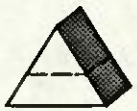
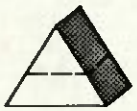
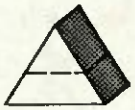
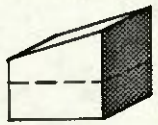
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung/ Längenverhältnis	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R21	a/b = 1,5	22 °	55,5	54,5	51,6	48,8	47,3	49,0	51,9	54,8
	R22	a = 12,3 m	30 °	56,5	55,4	52,4	49,4	47,9	49,7	52,7	55,7
	R23	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	57,8	56,6	53,5	50,4	48,8	50,7	53,8	56,9
	R24		45 °	59,2	58,0	54,8	51,7	50,1	52,0	55,2	58,3
Prisma-Haus 	R25	a = 8 m	$\alpha_1 = 45°, \alpha_2 = 45°$	60,3	59,7	58,1	57,3	56,9	57,4	58,2	59,8
	R26	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	$\alpha_1 = 60°, \alpha_2 = 60°$	66,3	65,8	64,2	63,2	62,6	63,3	64,3	66,0
	R27		$\alpha_1 = 90°, \alpha_2 = 45°$	63,3	62,8	61,2	60,4	59,9	60,5	61,3	62,9
Prisma-Haus 	R28	a = 10 m	$\alpha_1 = 45°, \alpha_2 = 45°$	59,5	59,0	57,4	56,6	56,1	56,7	57,5	59,0
	R29	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	$\alpha_1 = 60°, \alpha_2 = 60°$	63,6	63,1	61,5	60,6	59,9	60,6	61,6	63,2
	R30		$\alpha_1 = 90°, \alpha_2 = 45°$	59,8	59,3	57,8	57,0	56,5	57,1	57,9	59,4
Prisma-Haus 	R31	a = 12,5 m	$\alpha_1 = 45°, \alpha_2 = 45°$	60,2	59,6	58,0	57,2	56,7	57,3	58,1	59,7
	R32	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	$\alpha_1 = 60°, \alpha_2 = 60°$	62,7	62,2	60,7	59,7	59,0	59,8	60,8	62,4
	R33		$\alpha_1 = 90°, \alpha_2 = 45°$	58,0	57,5	56,1	55,3	54,8	55,4	56,2	57,6
Pultdach-Haus 	R34	a/b = 0,5	10 °	55,0	55,2	55,0	55,3	55,1	55,3	55,0	55,2
	R35	a/b = 1,0	10 °	53,7	53,9	53,8	54,0	53,8	54,0	53,8	54,0
	R36	a/b = 1,5	10 °	53,9	54,2	54,0	54,3	54,0	54,2	54,0	54,2
		$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung									

Tabelle 4.1-3:(Fortsetzung)

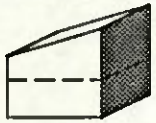
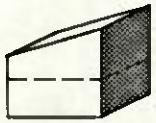
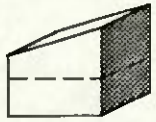
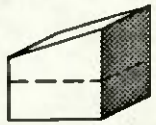
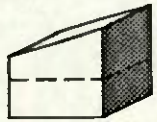
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung/ Längenverhältnis	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Pultdach-Haus 	R37	a/b = 0,5	22 °	58,8	59,0	58,9	59,2	59,0	59,2	58,8	59,1
	R38	a/b = 1,0	22 °	55,9	56,2	56,0	56,3	56,1	56,3	56,0	56,2
	R39	a/b = 1,5	22 °	55,5	55,8	55,7	56,0	55,7	55,9	55,6	55,8
		$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R40	a/b = 0,5	10 °	59,8	58,8	55,6	52,5	50,8	52,7	55,9	59,0
	R41	a/b = 1,0	10 °	58,5	57,4	54,3	51,2	49,5	51,4	54,6	57,7
	R42	a/b = 1,5	10 °	58,7	57,6	54,5	51,4	49,7	51,6	54,8	57,9
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R43	a/b = 0,5	22 °	63,7	62,6	59,4	56,3	54,6	56,6	59,7	62,9
	R44	a/b = 1,0	22 °	60,7	59,7	56,6	53,5	51,7	53,7	56,9	60,0
	R45	a/b = 1,5	22 °	60,3	59,3	56,2	53,1	51,3	53,3	56,5	59,6
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R46	a/b = 0,5	10 °	49,9	51,2	53,2	55,3	55,7	55,1	53,0	51,0
	R47	a/b = 1,0	10 °	48,7	50,0	52,0	54,0	54,5	53,8	51,8	49,8
	R48	a/b = 1,5	10 °	48,9	50,2	52,2	54,2	54,7	54,1	52,0	50,0
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R49	a/b = 0,5	22 °	51,5	53,1	55,9	58,9	59,9	58,7	55,6	52,9
	R50	a/b = 1,0	22 °	48,8	50,4	53,2	56,1	57,1	55,9	52,9	50,2
	R51	a/b = 1,5	22 °	48,5	50,1	52,9	55,8	56,7	55,6	52,6	49,9
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									

Tabelle 4.1-3: (Fortsetzung)

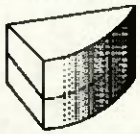
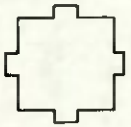
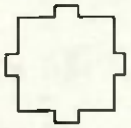
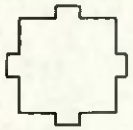
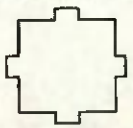
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung/ Längenverhältnis	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Kreissegment-Haus 	R52	α_D = 15 °	α_Z = 90 °	59,3	58,1	55,5	52,4	51,1	52,5	55,6	58,3
	R53	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_Z = 135 °	58,2	57,3	55,4	53,1	52,1	53,2	55,5	57,4
	R54		α_Z = 180 °	57,7	57,0	55,5	53,9	53,2	54,0	55,6	57,2
Gegliedertes Haus 	R79	α_D = 22 °	f = 1,1	58,7	57,8	54,9	52,2	50,7	52,4	55,2	58,0
	R80	a/b = 1,0	f = 1,2	62,0	61,0	58,1	55,3	53,7	55,5	58,4	61,2
	R81	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	f = 1,3	65,2	64,2	61,2	58,4	56,8	58,6	61,5	64,5
Gegliedertes Haus 	R82	α = 30 °	f = 1,1	61,8	60,7	57,7	54,8	53,3	55,1	58,1	61,0
	R83	a/b = 1,0	f = 1,2	63,9	62,8	59,8	56,8	55,2	57,1	60,1	63,1
	R84	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	f = 1,3	66,1	65,0	61,9	58,9	57,3	59,2	62,3	65,3
Gegliedertes Haus 	R85	α = 38 °	f = 1,1	60,9	59,9	56,8	53,8	52,2	54,1	57,1	60,1
	R86	a/b = 1,0	f = 1,2	64,4	63,3	60,1	57,1	55,5	57,4	60,5	63,6
	R87	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	f = 1,3	67,8	66,7	63,4	60,3	58,7	60,6	63,8	67,0
Gegliedertes Haus 	R88	α = 45 °	f = 1,1	62,7	61,6	58,4	55,4	53,7	55,7	58,8	61,8
	R89	a/b = 1,0	f = 1,2	66,3	65,1	61,9	58,8	57,1	59,1	62,3	65,4
	R90	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	f = 1,3	69,8	68,7	65,4	62,2	60,5	62,5	65,7	69,0

Tabelle 4.1-4: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für alle Gebäudetypen unter Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung der Anschlußdetails gem.Bild 4.5.2-1. Den Berechnungen liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Als thermisch äquivalentes System wird ein Dreizonenmodell betrachtet. Für die meteorologischen Randbedingungen werden die Daten von Würzburg herangezogen. Die ausgewiesenen Werte stellen den auf die Nutzfläche bezogenen Jahres-Heizwärmebedarf dar. Die angegebene Gebäudeorientierung entspricht dem Azimut der in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 gekennzeichneten Außenwand.

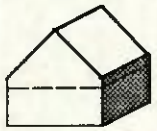
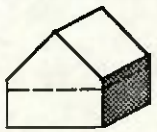
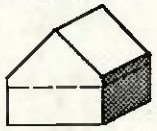
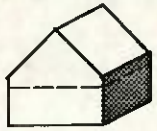
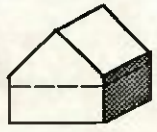
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R01	a/b = 0,5	22 °	52,5	52,5	52,1	52,5	52,5	52,5	52,1	52,5
	R02	a = 7,07 m	30 °	53,7	53,8	53,4	53,8	53,7	53,8	53,4	53,8
	R03	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	55,4	55,5	55,1	55,4	55,4	55,5	55,1	55,4
	R04		45 °	57,3	57,5	57,1	57,4	57,3	57,5	57,1	57,4
Satteldach-Haus 	R05	a/b = 1,0	22 °	50,5	50,6	50,2	50,6	50,5	50,6	50,2	50,6
	R06	a = 10 m	30 °	51,4	51,5	51,1	51,5	51,4	51,5	51,1	51,5
	R07	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	52,6	52,7	52,4	52,7	52,6	52,7	52,4	52,7
	R08		45 °	54,0	54,2	53,8	54,1	54,0	54,2	53,8	54,1
Satteldach-Haus 	R09	a/b = 1,5	22 °	50,4	50,5	50,2	50,5	50,4	50,5	50,2	50,5
	R10	a = 12,3 m	30 °	51,2	51,3	51,0	51,3	51,2	51,3	51,0	51,3
	R11	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	52,2	52,4	52,0	52,3	52,2	52,4	52,0	52,3
	R12		45 °	53,5	53,7	53,3	53,6	53,5	53,7	53,3	53,6
Satteldach-Haus 	R13	a/b = 0,5	22 °	56,1	55,2	52,6	50,3	49,1	50,5	52,8	55,4
	R14	a = 7,07 m	30 °	57,6	56,6	53,9	51,5	50,2	51,7	54,2	56,9
	R15	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	59,5	58,5	55,5	53,0	51,7	53,3	55,9	58,7
	R16		45 °	61,6	60,5	57,5	54,9	53,6	55,2	57,9	60,8
Satteldach-Haus 	R17	a/b = 1,0	22 °	54,7	53,8	50,8	48,1	46,6	48,3	51,1	54,0
	R18	a = 10 m	30 °	55,9	54,8	51,7	48,8	47,3	49,1	52,1	55,0
	R19	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	57,2	56,1	53,0	49,9	48,4	50,2	53,3	56,4
	R20		45 °	58,8	57,6	54,4	51,3	49,7	51,6	54,8	57,9

Tabelle 4.1-4: (Fortsetzung)

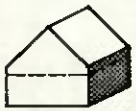
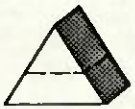
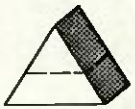
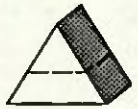
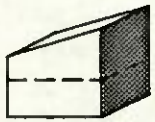
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R21	a/b = 1,5	22 °	54,7	53,7	50,8	48,0	46,5	48,2	51,1	53,9
	R22	a = 12,3 m	30 °	55,6	54,6	51,5	48,6	47,1	48,9	51,9	54,8
	R23	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	56,9	55,7	52,6	49,6	48,0	49,9	52,9	56,0
	R24		45 °	58,3	57,1	53,9	50,8	49,2	51,1	54,3	57,4
Prisma-Haus 	R25	a = 8 m	α_1 = 45 °, α_2 = 45 °	58,8	58,3	56,7	55,9	55,5	56,0	56,8	58,3
	R26	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_1 = 60 °, α_2 = 60 °	64,7	64,2	62,6	61,6	61,0	61,7	62,7	64,3
	R27		α_1 = 90 °, α_2 = 45 °	62,5	61,9	60,4	59,6	59,1	59,7	60,5	62,0
Prisma-Haus 	R28	a = 10 m	α_1 = 45 °, α_2 = 45 °	58,1	57,6	56,0	55,2	54,8	55,3	56,1	57,6
	R29	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_1 = 60 °, α_2 = 60 °	62,0	61,6	60,0	59,0	58,4	59,1	60,1	61,7
	R30		α_1 = 90 °, α_2 = 45 °	58,9	58,4	57,0	56,2	55,6	56,2	57,0	58,5
Prisma-Haus 	R31	a = 12,5 m	α_1 = 45 °, α_2 = 45 °	58,7	58,2	56,6	55,8	55,3	55,9	56,7	58,2
	R32	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_1 = 60 °, α_2 = 60 °	61,2	60,7	59,2	58,2	57,5	58,3	59,3	60,8
	R33		α_1 = 90 °, α_2 = 45 °	57,1	56,6	55,2	54,4	53,9	54,5	55,2	56,7
Pultdach-Haus 	R34	a/b = 0,5	10 °	54,3	54,5	54,3	54,6	54,4	54,6	54,3	54,6
	R35	a/b = 1,0	10 °	53,1	53,3	53,1	53,4	53,2	53,4	53,1	53,4
	R36	a/b = 1,5 $A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	10 °	53,3	53,6	53,4	53,7	53,4	53,6	53,4	53,6

Tabelle 4.1-4: (Fortsetzung)

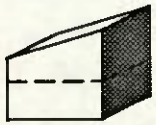
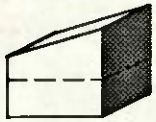
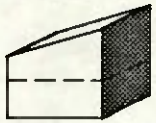
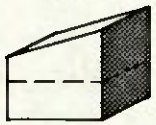
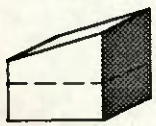
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Pultdach-Haus 	R37	a/b = 0,5	22 °	57,9	58,2	58,0	58,4	58,2	58,4	58,0	58,2
	R38	a/b = 1,0	22 °	55,2	55,5	55,3	55,6	55,4	55,6	55,3	55,5
	R39	a/b = 1,5	22 °	54,8	55,1	55,0	55,3	55,0	55,2	55,0	55,1
		$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R40	a/b = 0,5	10 °	59,1	58,1	54,9	51,8	50,1	52,1	55,2	58,3
	R41	a/b = 1,0	10 °	57,8	56,8	53,7	50,6	48,9	50,8	54,0	57,1
	R42	a/b = 1,5	10 °	58,0	57,0	53,9	50,8	49,1	51,0	54,2	57,3
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R43	a/b = 0,5	22 °	62,9	61,8	58,6	55,5	53,8	55,7	58,9	62,1
	R44	a/b = 1,0	22 °	60,0	59,0	55,8	52,8	51,0	53,0	56,2	59,2
	R45	a/b = 1,5	22 °	59,6	58,6	55,5	52,4	50,7	52,6	55,8	58,9
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R46	a/b = 0,5	10 °	49,3	50,5	52,5	54,6	55,1	54,4	52,3	50,4
	R47	a/b = 1,0	10 °	48,1	49,4	51,4	53,4	53,8	53,2	51,2	49,2
	R48	a/b = 1,5	10 °	48,3	49,6	51,6	53,6	54,1	53,5	51,4	49,4
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R49	a/b = 0,5	22 °	46,4	47,9	51,5	57,0	59,9	56,8	51,0	47,6
	R50	a/b = 1,0	22 °	44,9	46,3	49,8	55,1	57,8	54,9	49,3	46,0
	R51	a/b = 1,5	22 °	44,8	46,2	49,7	55,0	57,7	54,8	49,3	45,9
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									

Tabelle 4.1-4: (Fortsetzung)

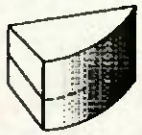
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Kreissegment-Haus 	R82	α_D = 15 °	α_Z = 90 °	58,0	57,0	54,0	51,2	49,7	51,5	54,4	57,2
	R83	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_Z = 135 °	61,2	60,1	57,1	54,2	52,7	54,5	57,4	60,4
	R84		α_Z = 180 °	64,3	63,3	60,2	57,3	55,6	57,5	60,5	63,6

Tabelle 4.1-5: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für alle Gebäudetypen unter Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung des Anschußdetails gem. Bild 4.5.2-2. Den Berechnungen liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Als thermisch äquivalentes System wird ein Dreizonenmodell betrachtet. Für die meteorologischen Randbedingungen wird das Testreferenzjahr Würzburg betrachtet. Die ausgewiesenen Werte stellen den auf die Nutzfläche bezogenen Jahres-Heizwärmebedarf dar. Die angegebene Gebäudeorientierung entspricht dem Azimut der in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 gekennzeichneten Außenwand.

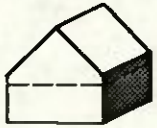
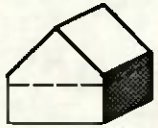
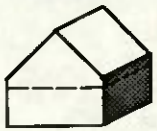
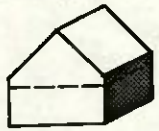
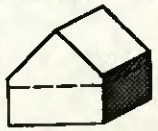
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R01	a/b = 0,5	22 °	59,1	59,1	58,7	59,1	59,1	59,1	58,7	59,1
	R02	a = 7,07 m	30 °	60,4	60,4	60,1	60,4	60,4	60,4	60,1	60,4
	R03	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	62,1	62,2	61,8	62,1	62,1	62,2	61,8	62,1
	R04		45 °	64,0	64,2	63,8	64,1	64,0	64,2	63,8	64,1
Satteldach-Haus 	R05	a/b = 1,0	22 °	56,8	56,8	56,5	56,8	56,8	56,8	56,5	56,8
	R06	a = 10 m	30 °	57,7	57,8	57,4	57,7	57,7	57,8	57,4	57,7
	R07	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	58,9	59,0	58,6	59,0	58,9	59,0	58,6	59,0
	R08		45 °	60,3	60,5	60,1	60,4	60,3	60,5	60,1	60,4
Satteldach-Haus 	R09	a/b = 1,5	22 °	56,8	56,9	56,6	56,9	56,8	56,9	56,6	56,9
	R10	a = 12,3 m	30 °	57,6	57,7	57,3	57,7	57,6	57,7	57,3	57,7
	R11	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	58,6	58,8	58,4	58,7	58,6	58,8	58,4	58,7
	R12		45 °	59,9	60,1	59,8	60,0	59,9	60,1	59,8	60,0
Satteldach-Haus 	R13	a/b = 0,5	22 °	62,9	62,0	59,2	56,9	55,7	57,1	59,5	62,2
	R14	a = 7,07 m	30 °	64,5	63,4	60,5	58,0	56,8	58,3	60,9	63,7
	R15	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	66,4	65,3	62,2	59,6	58,3	59,9	62,6	65,5
	R16		45 °	68,5	67,4	64,2	61,5	60,2	61,9	64,6	67,6
Satteldach-Haus 	R17	a/b = 1,0	22 °	61,2	60,1	57,1	54,2	52,7	54,4	57,4	60,4
	R18	a = 10 m	30 °	62,3	61,2	58,0	55,0	53,4	55,3	58,3	61,4
	R19	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	63,7	62,5	59,2	56,1	54,5	56,4	59,6	62,8
	R20		45 °	65,4	64,1	60,7	57,5	55,9	57,8	61,1	64,4

Tabelle 4.1-5: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für alle Gebäudetypen unter Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung des Anschußdetails gem. Bild 4.5.2-2. Den Berechnungen liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Als thermisch äquivalentes System wird ein Dreizonenmodell betrachtet. Für die meteorologischen Randbedingungen wird das Testreferenzjahr Würzburg betrachtet. Die ausgewiesenen Werte stellen den auf die Nutzfläche bezogenen Jahres-Heizwärmebedarf dar. Die angegebene Gebäudeorientierung entspricht dem Azimut der in den Gebäudeskizzen in Spalte 1 gekennzeichneten Außenwand.

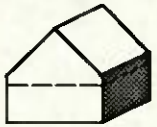
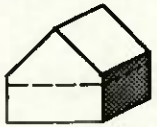
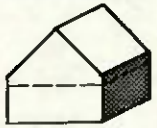
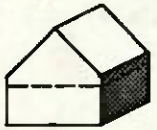
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R01	a/b = 0,5	22 °	59,1	59,1	58,7	59,1	59,1	59,1	58,7	59,1
	R02	a = 7,07 m	30 °	60,4	60,4	60,1	60,4	60,4	60,4	60,1	60,4
	R03	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	62,1	62,2	61,8	62,1	62,1	62,2	61,8	62,1
	R04		45 °	64,0	64,2	63,8	64,1	64,0	64,2	63,8	64,1
Satteldach-Haus 	R05	a/b = 1,0	22 °	56,8	56,8	56,5	56,8	56,8	56,8	56,5	56,8
	R06	a = 10 m	30 °	57,7	57,8	57,4	57,7	57,7	57,8	57,4	57,7
	R07	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	58,9	59,0	58,6	59,0	58,9	59,0	58,6	59,0
	R08		45 °	60,3	60,5	60,1	60,4	60,3	60,5	60,1	60,4
Satteldach-Haus 	R09	a/b = 1,5	22 °	56,8	56,9	56,6	56,9	56,8	56,9	56,6	56,9
	R10	a = 12,3 m	30 °	57,6	57,7	57,3	57,7	57,6	57,7	57,3	57,7
	R11	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	38 °	58,6	58,8	58,4	58,7	58,6	58,8	58,4	58,7
	R12		45 °	59,9	60,1	59,8	60,0	59,9	60,1	59,8	60,0
Satteldach-Haus 	R13	a/b = 0,5	22 °	62,9	62,0	59,2	56,9	55,7	57,1	59,5	62,2
	R14	a = 7,07 m	30 °	64,5	63,4	60,5	58,0	56,8	58,3	60,9	63,7
	R15	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	66,4	65,3	62,2	59,6	58,3	59,9	62,6	65,5
	R16		45 °	68,5	67,4	64,2	61,5	60,2	61,9	64,6	67,6
Satteldach-Haus	R17	a/b = 1,0	22 °	61,2	60,1	57,1	54,2	52,7	54,4	57,4	60,4
	R18	a = 10 m	30 °	62,3	61,2	58,0	55,0	53,4	55,3	58,3	61,4
	R19	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	63,7	62,5	59,2	56,1	54,5	56,4	59,6	62,8
	R20		45 °	65,4	64,1	60,7	57,5	55,9	57,8	61,1	64,4

Tabelle 4.1-5: (Fortsetzung)

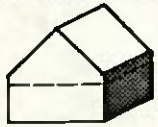
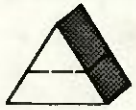
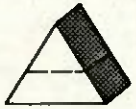
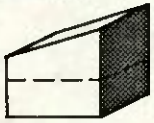
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Satteldach-Haus 	R21	a/b = 1,5	22 °	61,2	60,2	57,1	54,2	52,7	54,5	57,4	60,4
	R22	a = 12,3 m	30 °	62,3	61,1	57,9	54,9	53,3	55,2	58,2	61,4
	R23	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	38 °	63,5	62,3	59,0	55,8	54,2	56,2	59,4	62,6
	R24		45 °	64,9	63,7	60,3	57,1	55,4	57,4	60,7	64,0
Prisma-Haus	R25	a = 8 m	α_1 = 45 °, α_2 = 45 °	67,1	66,5	64,9	64,0	63,6	64,1	65,0	66,6
	R26	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_1 = 60 °, α_2 = 60 °	72,3	71,7	70,0	69,0	68,4	69,1	70,2	71,8
	R27		α_1 = 90 °, α_2 = 45 °	69,8	69,2	67,6	66,8	66,2	66,9	67,7	69,3
Prisma-Haus 	R28	a = 10 m	α_1 = 45 °, α_2 = 45 °	66,3	65,7	64,1	63,2	62,8	63,3	64,2	65,8
	R29	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_1 = 60 °, α_2 = 60 °	69,5	69,0	67,3	66,3	65,6	66,4	67,5	69,1
	R30		α_1 = 90 °, α_2 = 45 °	66,1	65,6	64,0	63,2	62,6	63,3	64,1	65,7
Prisma-Haus 	R31	a = 12,5 m	α_1 = 45 °, α_2 = 45 °	67,1	66,5	64,9	64,0	63,6	64,2	65,0	66,6
	R32	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	α_1 = 60 °, α_2 = 60 °	68,8	68,3	66,7	65,7	65,0	65,8	66,9	68,5
	R33		α_1 = 90 °, α_2 = 45 °	64,5	64,0	62,5	61,6	61,1	61,7	62,6	64,1
Pultdach-Haus 	R34	a/b = 0,5	10 °	61,0	61,3	61,1	61,4	61,1	61,3	61,1	61,3
	R35	a/b = 1,0	10 °	59,4	59,7	59,5	59,8	59,5	59,8	59,5	59,7
	R36	a/b = 1,5	10 °	59,8	60,0	59,9	60,1	59,9	60,1	59,9	60,1
		$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung									

Tabelle 4.1-5: (Fortsetzung)

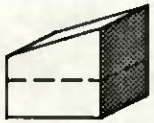
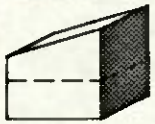
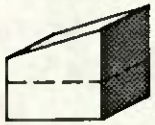
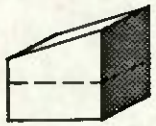
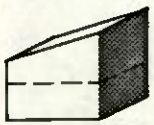
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Pultdach-Haus 	R37	a/b = 0,5	22 °	64,8	65,0	64,8	65,2	65,0	65,2	64,8	65,0
	R38	a/b = 1,0	22 °	61,6	61,8	61,7	62,0	61,8	62,0	61,7	61,9
	R39	a/b = 1,5	22 °	61,3	61,6	61,5	61,8	61,5	61,8	61,5	61,6
		$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R40	a/b = 0,5	10 °	66,1	64,9	61,6	58,4	56,7	58,7	61,9	65,2
	R41	a/b = 1,0	10 °	64,4	63,3	60,0	56,8	55,1	57,1	60,3	63,6
	R42	a/b = 1,5	10 °	64,7	63,6	60,4	57,2	55,4	57,4	60,7	63,9
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R43	a/b = 0,5	22 °	69,9	68,7	65,3	62,1	60,4	62,4	65,7	69,0
	R44	a/b = 1,0	22 °	66,6	65,5	62,2	59,0	57,3	59,3	62,5	65,7
	R45	a/b = 1,5	22 °	66,3	65,2	62,0	58,8	57,0	59,0	62,3	65,5
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R46	a/b = 0,5	10 °	55,8	57,0	59,1	61,2	61,8	61,1	58,9	56,8
	R47	a/b = 1,0	10 °	54,2	55,5	57,6	59,7	60,2	59,5	57,3	55,3
	R48	a/b = 1,5	10 °	54,5	55,9	58,0	60,0	60,5	59,8	57,7	55,7
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									
Pultdach-Haus 	R49	a/b = 0,5	22 °	57,3	59,0	61,8	64,9	65,9	64,7	61,5	58,7
	R50	a/b = 1,0	22 °	54,3	56,0	58,8	61,8	62,8	61,6	58,5	55,7
	R51	a/b = 1,5	22 °	54,1	55,8	58,6	61,6	62,5	61,4	58,3	55,5
		$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung									

Tabelle 4.1-5: (Fortsetzung)

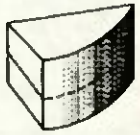
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Dachneigung	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Kreissegment-Haus 	R82	α_D = 15 °	α_Z = 90 °	67,1	66,0	62,8	59,9	58,3	60,2	63,2	66,3
	R83	$A_{F,I}$ = konzent. Verteilung	α_Z = 135 °	70,0	68,9	65,7	62,7	61,1	63,0	66,1	69,2
	R84		α_Z = 180 °	73,4	72,3	69,0	65,9	64,3	66,2	69,4	72,6

Tabelle 4.1-6: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für die Reihenmittel- und Reihenendhäuser. Den Berechnungen liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Die zugrunde gelegten Daten entsprechen den Daten in Tabelle 4.1-2

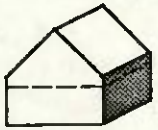
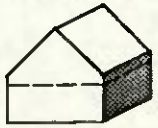
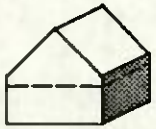
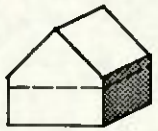
Gebäudetyp	Kennzeichnung	Parameter	Längenverhältnis	Spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²·a)] Azimut der gekennzeichneten Wand							
				N 0 °	NO 45 °	O 90 °	SO 135 °	S 180 °	SW 225 °	W 270 °	NW 315 °
Reihenmittelhaus 	R55	α_D = 30 °	0,5	36,1	37,0	37,4	36,9	36,1	37,0	37,4	36,9
	R56	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	1,0	38,6	39,5	40,0	39,5	38,7	39,6	40,0	39,5
	R57		1,5	40,5	41,4	41,8	41,4	40,5	41,4	41,8	41,4
Reihenmittelhaus 	R58	α_D = 30 °	0,5	39,5	39,2	37,4	34,9	33,5	35,2	37,6	39,4
	R59	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	1,0	42,0	41,7	39,8	37,3	35,8	37,6	40,1	41,9
	R60		1,5	44,1	43,7	41,8	39,3	37,7	39,5	42,1	43,9
Reihenendhaus 	R61	α_D = 30 °	0,5	43,9	42,7	42,0	42,8	44,1	46,2	46,7	46,0
	R62	$A_{F,i}$ = gleichm. Verteilung	1,0	44,3	43,2	42,6	43,3	44,5	46,6	47,1	46,4
	R63		1,5	45,3	44,3	43,7	44,4	45,5	47,6	48,1	47,4
Reihenendhaus 	R64	α_D = 30 °	0,5	48,3	46,6	43,5	40,9	40,1	42,6	45,9	48,5
	R65	$A_{F,i}$ = konzent. Verteilung	1,0	48,8	47,1	44,0	41,4	40,5	43,0	46,3	48,9
	R66		1,5	49,9	48,3	45,1	42,5	41,5	44,0	47,4	50,0

Tabelle 4.1-7: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse drehbare Häuser (Gebäudedrehung in Abhängigkeit von dem Sonnenazimut) sowie dem Vergleich mit den Gebäuden mit Südorientierung.

Kennzeichnung	Südorientierung	drehbares Haus	Einsparung	
	[kWh/(m^2·a)]	[kWh/(m^2·a)]	[kWh/(m^2·a)]	[kWh/a]
R01	53,3	55,3	-2,0	-368,8
R13	49,9	49,0	0,9	162,8
R14	51,1	50,1	1,0	174,7
R15	52,6	51,6	1,0	187,6
R16	54,5	53,4	1,1	200,0
R17	47,4	45,7	1,7	304,5
R18	48,1	46,4	1,7	313,3
R19	49,2	47,4	1,8	323,3
R20	50,6	48,7	1,9	335,8
R21	47,3	45,5	1,8	320,0
R22	47,9	46,1	1,8	327,8
R23	48,8	47,0	1,9	337,7
R24	50,1	48,1	1,9	349,7
R40	50,8	49,0	1,8	329,8
R41	49,5	47,6	1,9	347,7
R42	49,7	47,7	2,0	362,1
R43	54,6	52,7	1,9	345,5
R44	51,7	49,7	2,0	362,4
R45	51,3	49,3	2,1	376,0
R52	51,1	48,5	2,5	453,4
R53	52,1	50,0	2,1	379,9
R54	53,2	52,0	1,2	208,9
R55	50,7	49,0	1,7	306,5
R56	53,7	52,0	1,8	322,7
R57	56,8	54,9	1,9	338,1
R58	53,3	51,4	1,8	329,2
R59	55,2	53,3	1,9	344,6
R60	57,3	55,4	2,0	354,9
R61	52,2	50,4	1,9	336,5
R62	55,5	53,5	2,0	356,9
R63	58,7	56,6	2,1	378,4
R64	53,7	51,8	2,0	353,3
R65	57,1	55,0	2,1	376,6
R66	60,5	58,3	2,2	399,7

Tabelle 4.2-1: Interne Wärmequellen eines Vierpersonenhaushalts.

Fernseher	0,6	kWh/d	[16]
Kühlschrank	0,7	kWh/d	[18]
Gefrierschrank	1,1	kWh/d	[18]
Elektroherd	0,6	kWh/d	[15]
Geschirrspülmaschine	0,3	kWh/d	[15, 16]
Sonstige elektrische Geräte	1,9	kWh/d	[16]
Warmwasserversorgung	3,3	kWh/d	[10, 17]
	8,5	**kWh/d**	
Personen	5,3	kWh/d	Kapitel 3.1.2
Beleuchtung	1,4	kWh/d	Kapitel 3.1.2
	15,2	**kWh/d**	
Kaltwasserversorgung	-1,6	kWh/d	
	13,6	**kWh/d**	

Tabelle 4.2-2: Dämmniveau und Baukonstruktionen der Außenbauteile, die den Simulationsrechnungen zugrunde liegen.

Variante	Kellerdecke	Außenwand	Dach	Fenster	
	k-Wert				g_F
	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]	[-]
I	0,29	0,15	0,15	1,1	0,51
Tabelle	4.4-1	4.2-3	4.1-2		
Konstruktion	K3	W10	D4		
II	0,41	0,23	0,20	1,4	0,62
Tabelle	4.4-1	4.2-1	4.1-1		
Konstruktion	K2	W3	D2		
III	0,45	0,30	0,25	1,4	0,62
Tabelle	4.4-1	4.2-1	4.1-1		
Konstruktion	K1	W1	D1		
IV	0,29	0,23	0,20	1,4	0,62
V	0,41	0,15	0,20	1,4	0,62
VI	0,41	0,23	0,15	1,4	0,62
VII	0,41	0,23	0,20	1,1	0,51

Tabelle 4.2-3: Zusätzlicher Wärmeverlust durch linienförmige Wärmebrücken für die einzelnen Räume.

Anschlußdetail	Bild	$WBV_{außen}$ [W/(m·K)]	Kantenlänge [m]								
			Wohnz.	Windfang	Küche	Flur	WC	Kind 1	Kind 2	Schlafz.	Bad
Sockelanschluß	4.5.2-1	-0,031	15,39	2,41	9,115		5,668				
Außenecke	4.5.2-3	-0,035	5,72		2,86		2,86	0,9	0,9	0,9	0,9
First	4.5.2-11	-0,067				2,47		2,228	2,228	4,884	3,785
Ortgang	4.5.2-9	-0,043						5,38	5,38	5,38	5,38
Traufe	4.5.2-10	-0,025				2,47		4,455	5,845	4,884	3,785
AW/IW	4.5.2-5	0,007	2,86	2,86	2,86	14,52	2,86	0,45	0,45	0,45	0,45
Geschoßdecke	4.5.2-7	0,06						9,115	10,505	9,544	8,445
Fenstersturz	4.5.2-8	0,031	9,76	1,01	1,875	1,25	0,625	1,25	1,25	1,25	1,25
Fensterlaibung	4.5.2-8	0,019	15,5	4,52	5,5	0,5	1,375	2,75	2,75	2,75	2,75
Brüstung	4.5.2-8	-0,027	6,25		1,875	1,25	0,625	1,25	1,25	1,25	1,25
Räume		Σ WBV·ℓ =	-0,232	0,063	-0,252	-0,107	-0,227	0,081	0,129	-0,083	-0,047
Gebäude		**Σ WBV·ℓ =**	**-0,677**	**W/K**							

Tabelle 5.5-1: Zusammenstellung der Baustoffe und ihre physikalischen Eigenschaften

Baustoff	ρ [kg/m^3]	λ [W/(m·K)]	c [Wh/(kg·K)]
Holz	600	0,13	0,583
Dämmstoff	20	0,04	0,278
Beton, bewehrt	2400	2,10	0,278
Estrich, bewehrt	2000	1,40	0,278
Mauerwerk	1800	0,99	0,278
Kunstoffputz	1100	0,70	0,278
mineralischer Putz	1800	0,87	0,278
Holzfaserplatte	≤ 400	0,07	0,583
Flachpressplatte	700	0,13	0,583
Baufurnierplatte	800	0,13	0,583
Gipskarton-Bauplatte (GKB)	900	0,21	0,278
Gipsfaserplatte (GFP)	1180	0,36	0,278

Tabelle 5.5.1-1: Anforderungen an den maximal zulässigen Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 Pa gemäß SIA-Norm 180 [79]

Gebäudetyp	n_{L50} [h^{-1}]	
	unterer Grenzwert	oberer Grenzwert
EFH-Neubauten (mit Fensterlüftung)	2	4,5
MFH-Neubauten (mit Fensterlüftung)	2,5	3,5
Wohn-Neubauten mit Abluftanlage	2	3
Gebäude mit Zu/Abluft- oder Klimaanlagen	–	1

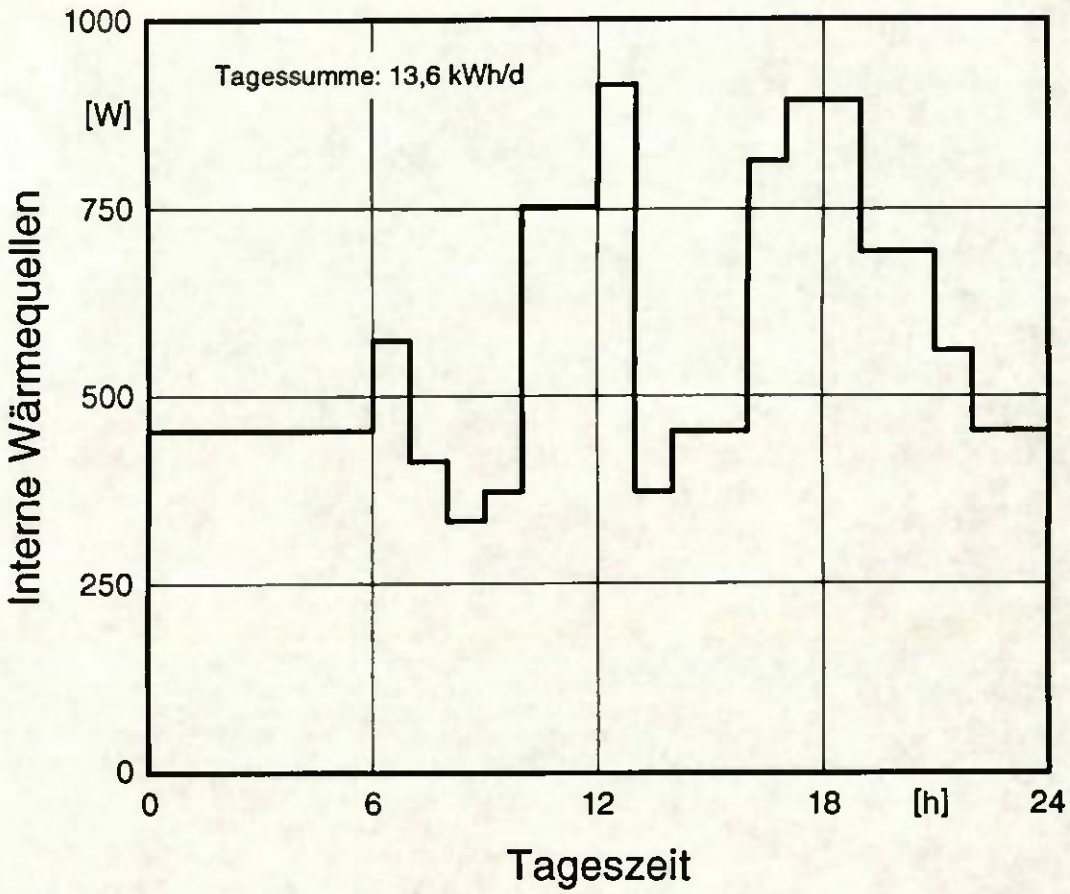
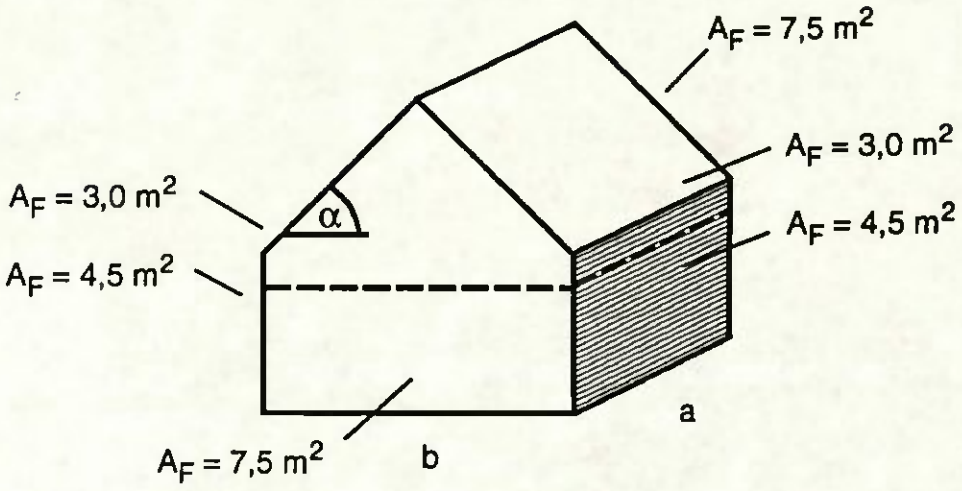


Bild 4.1-1: Zeitlicher Verlauf der internen Wärmeproduktion.
Zugrunde gelegte Daten: Tagesprofile der in Kapitel 4.2.1 für einen Vierpersonenhaushalt festgelegten internen Wärmeproduktion.



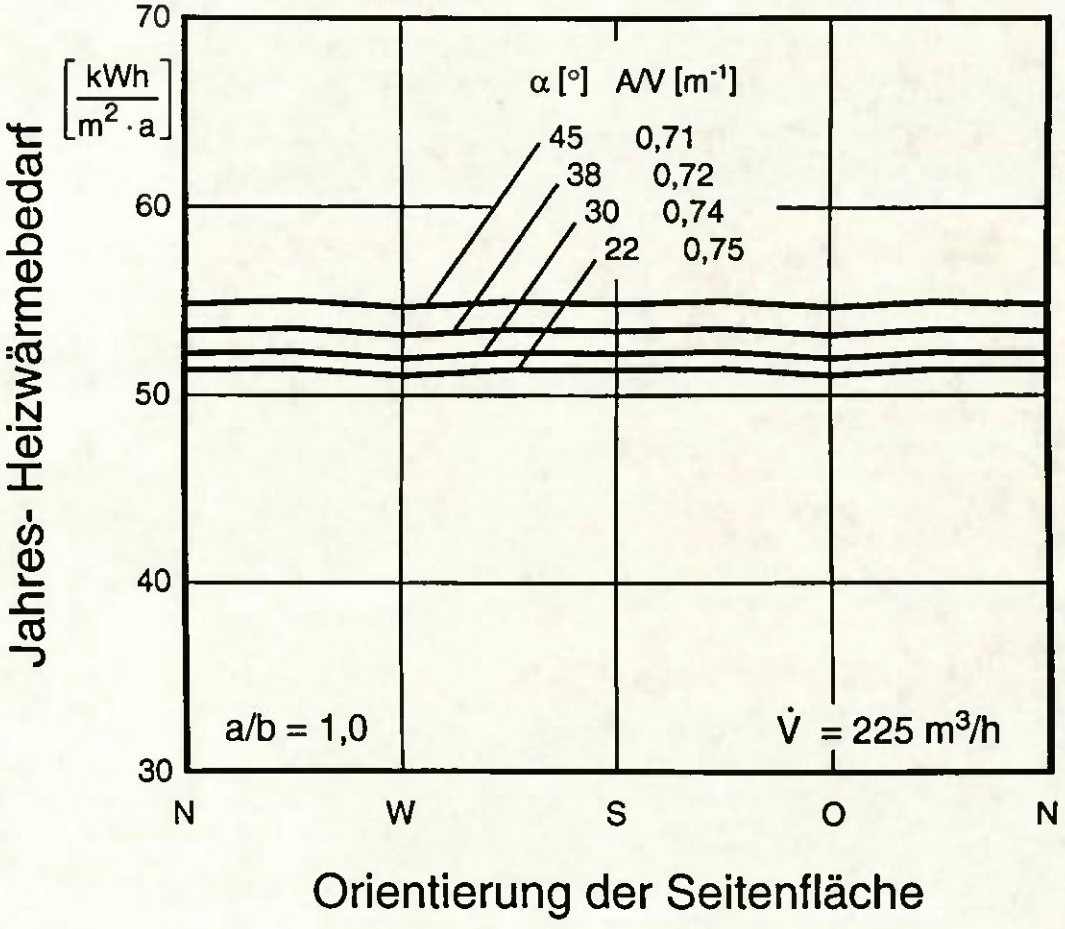


Bild 4.1.-2: Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit gleichmäßiger Fensterverteilung.

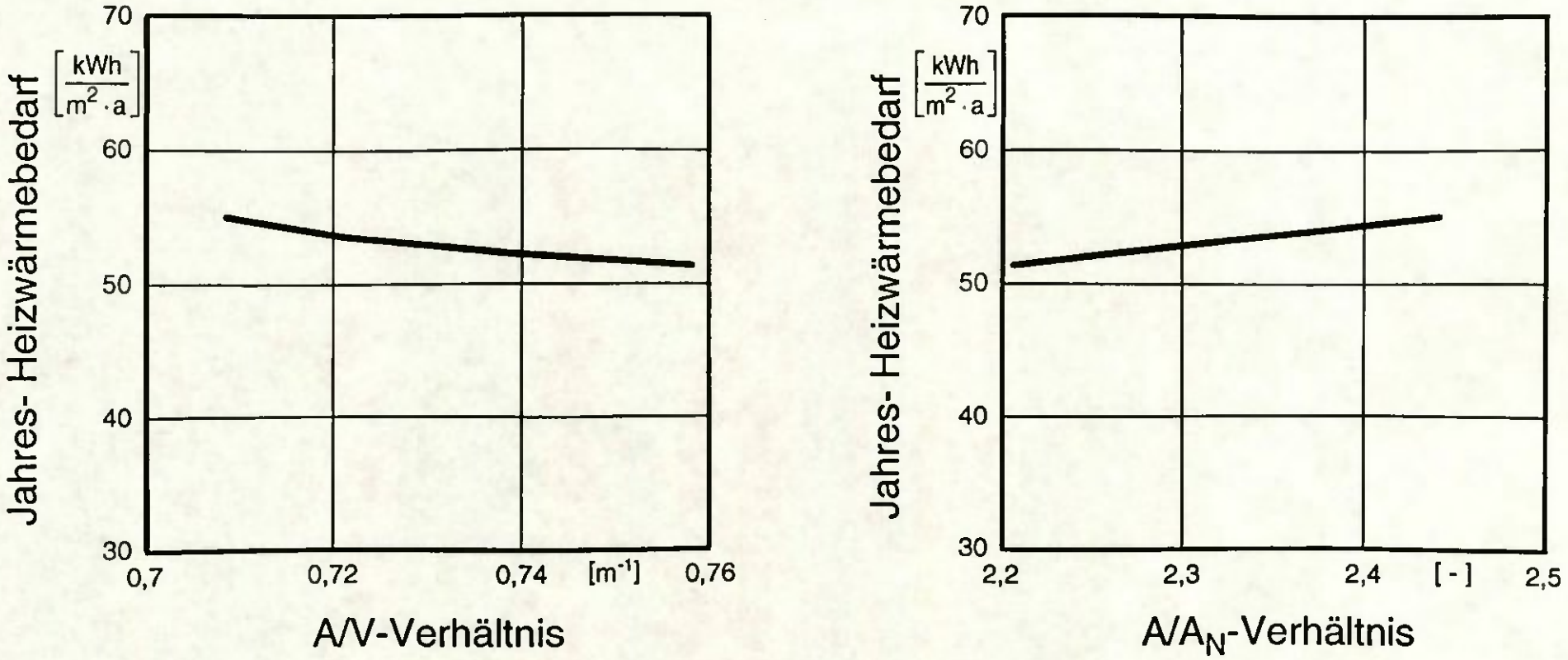


Bild 4.1-3: Einfluß des A/V-Verhältnisses auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung und einer Dachneigung von 30° (linkes Diagramm) und des Verhältnisses der Hüllfläche zur Nutzfläche (rechtes Diagramm).

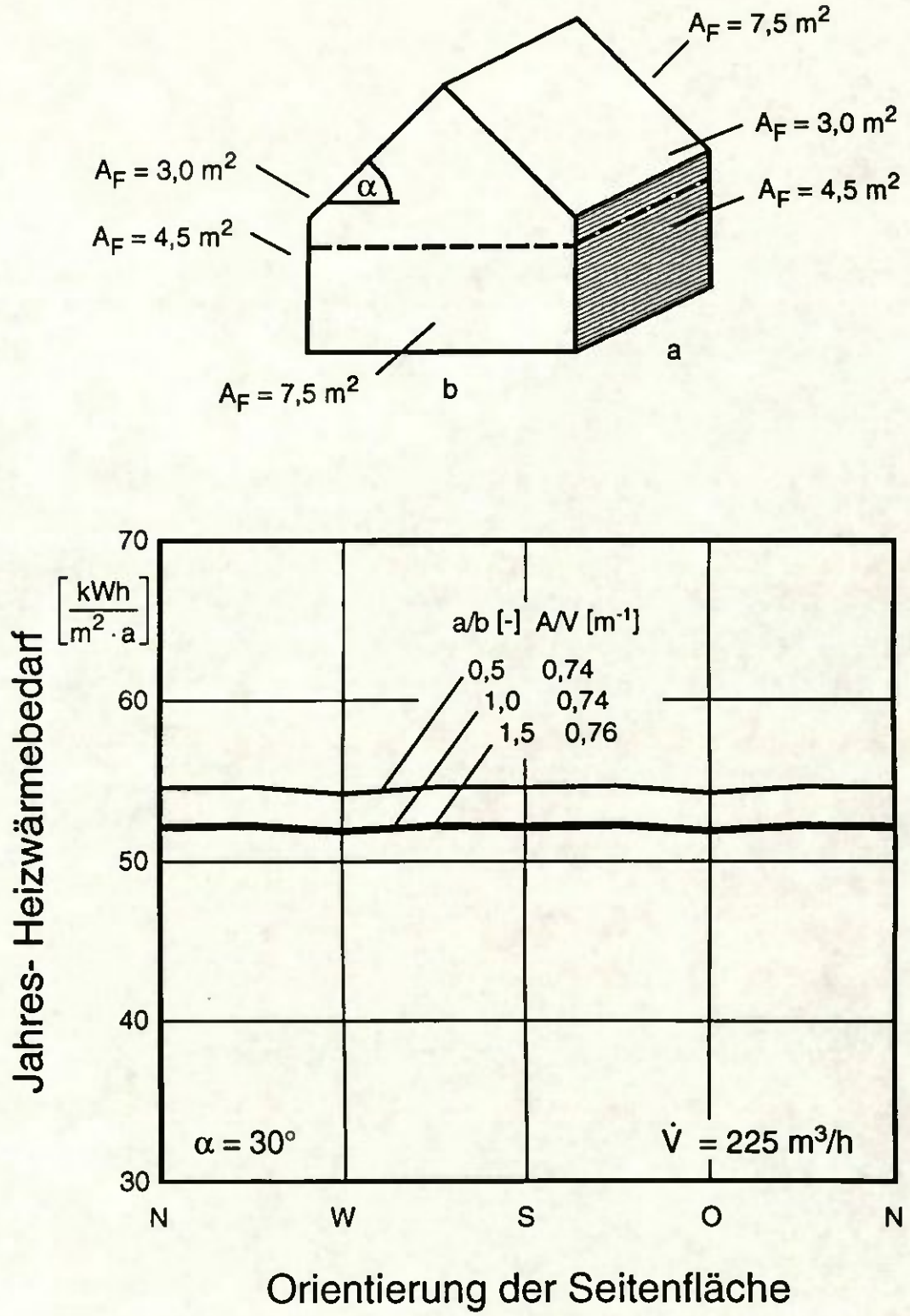
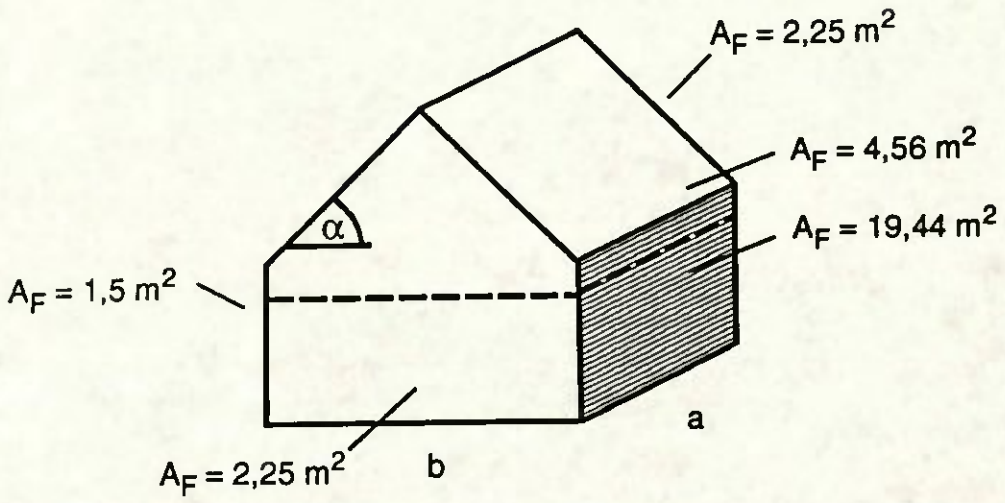


Bild 4.1-4: Einfluß der Orientierung und des Seitenverhältnisses auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit gleichmäßiger Fensterverteilung.



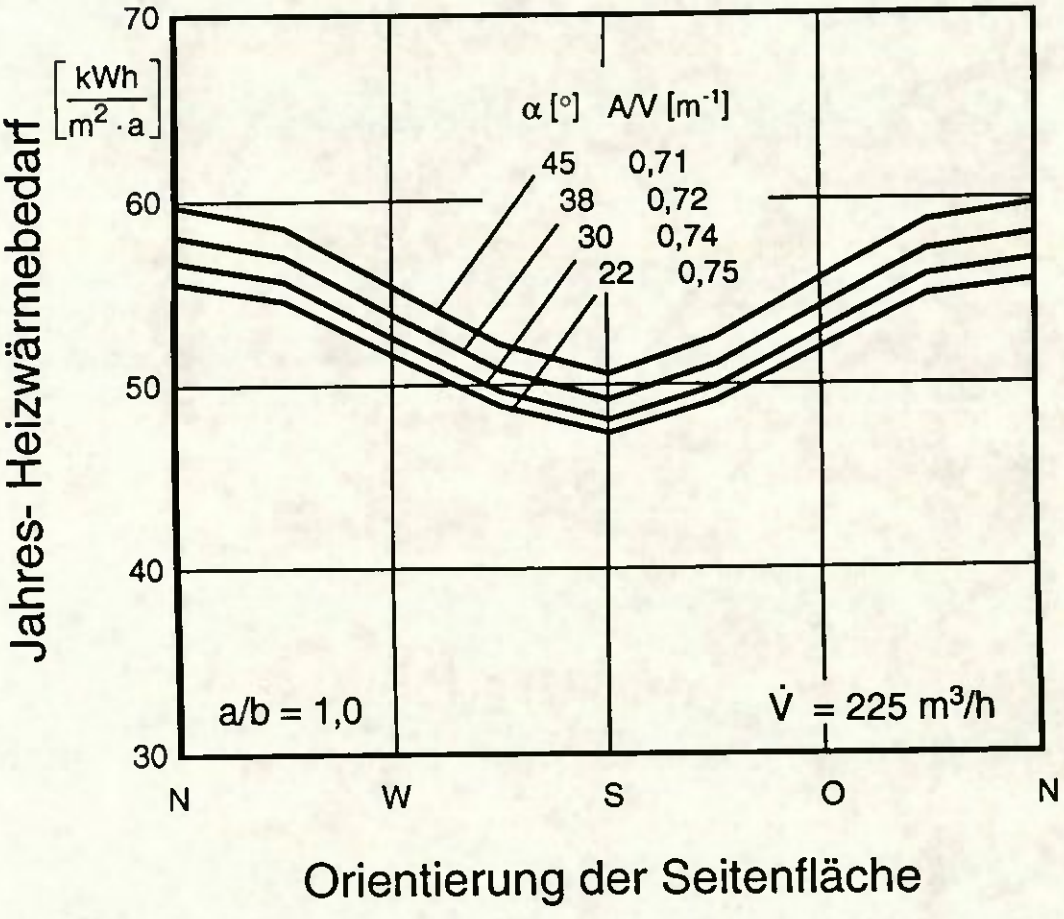


Bild 4.1-5: Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung.

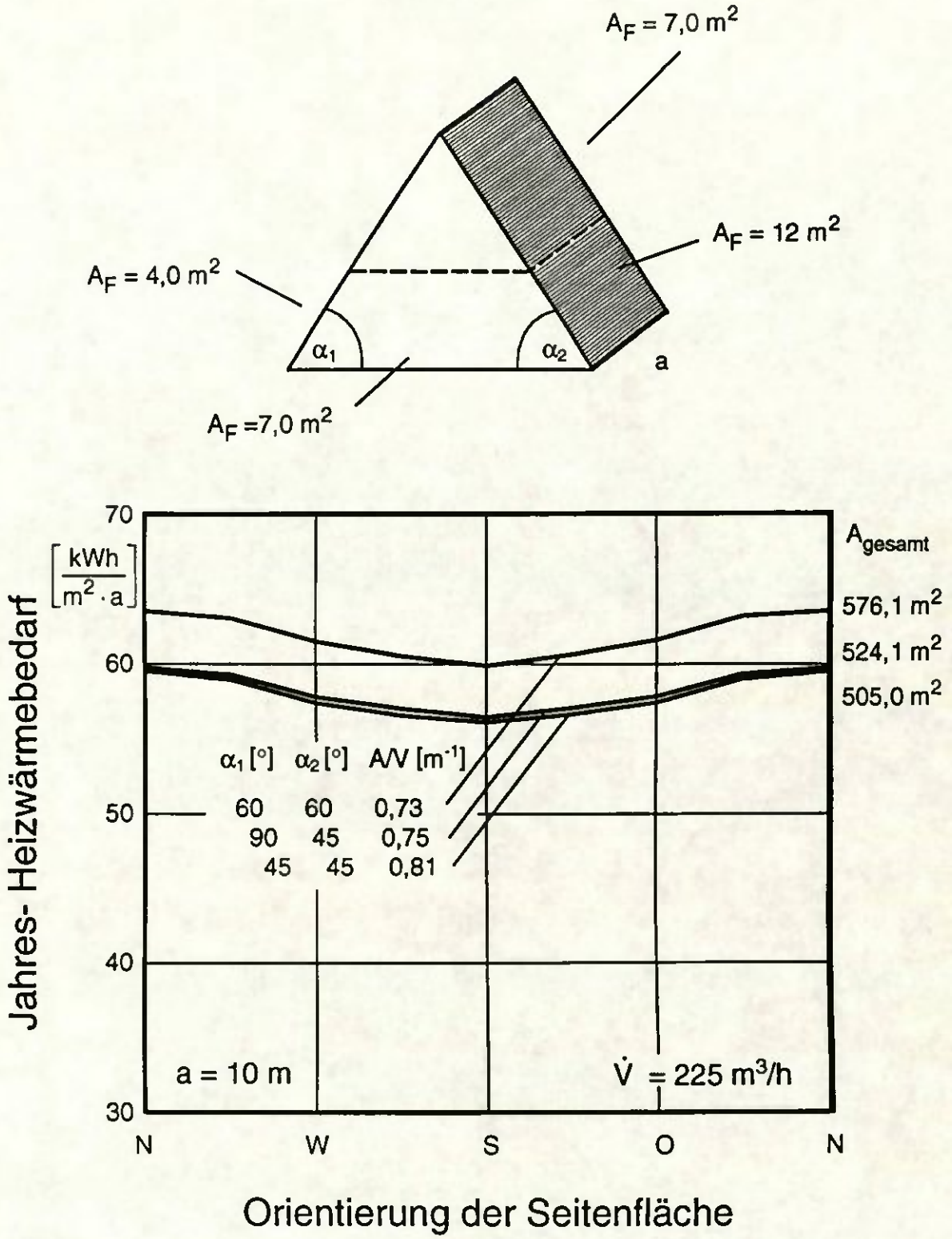


Bild 4.1-6: Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Prisma-Haus.

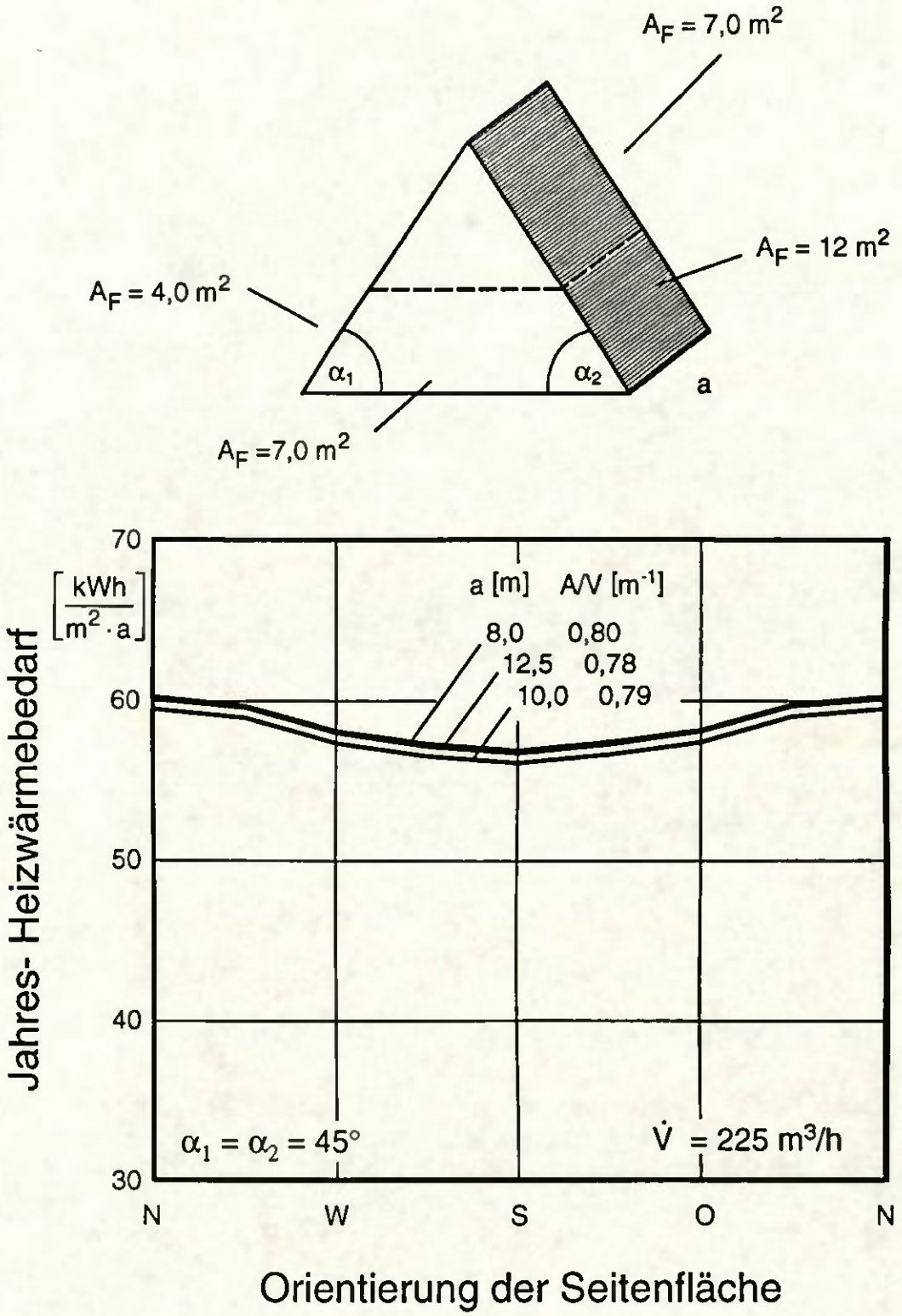


Bild 4.1-7: Einfluß der Orientierung und der Seitenlänge a auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Prisma-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung.

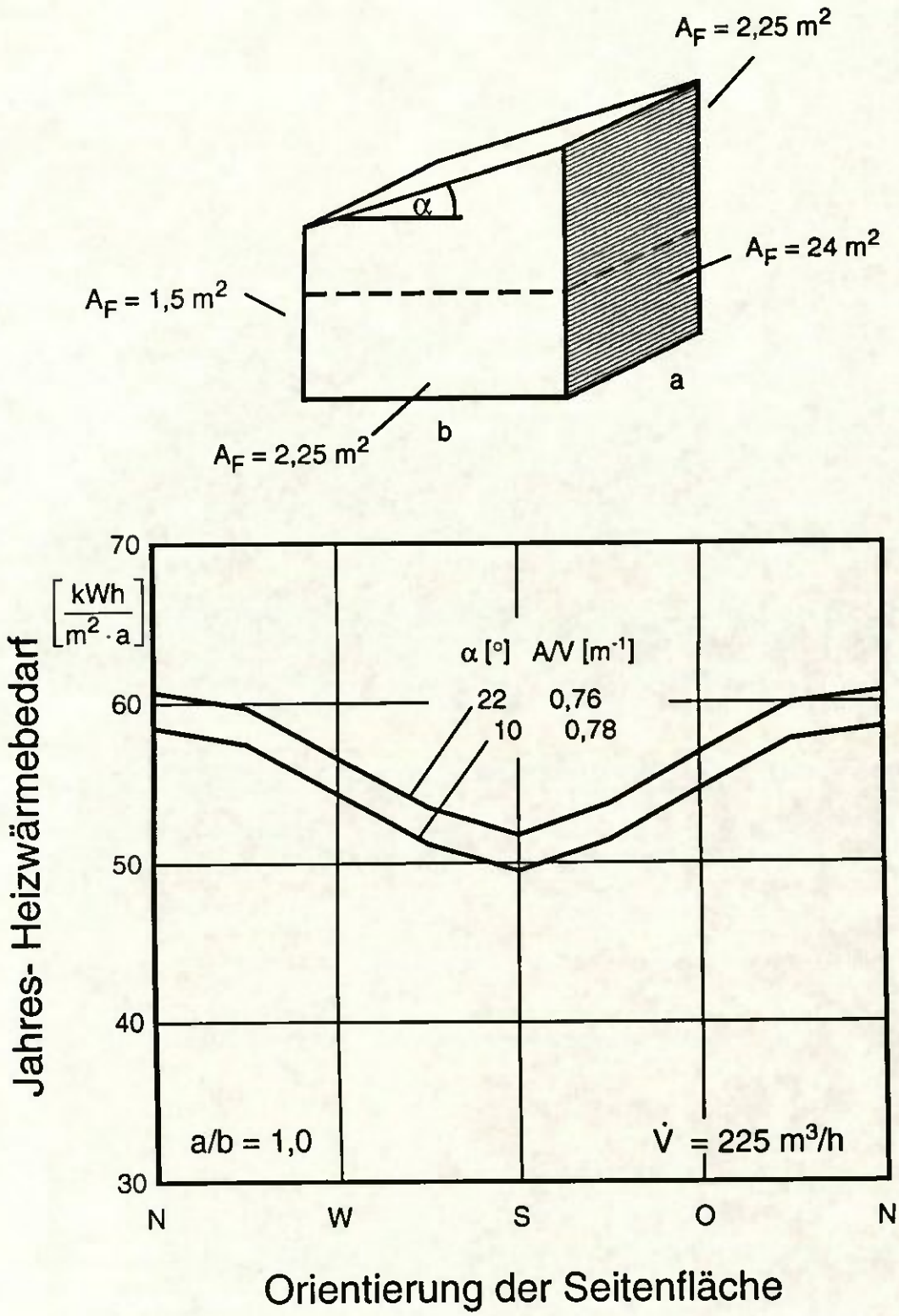


Bild 4.1-8: Einfluß der Orientierung und der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Pultdach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung.

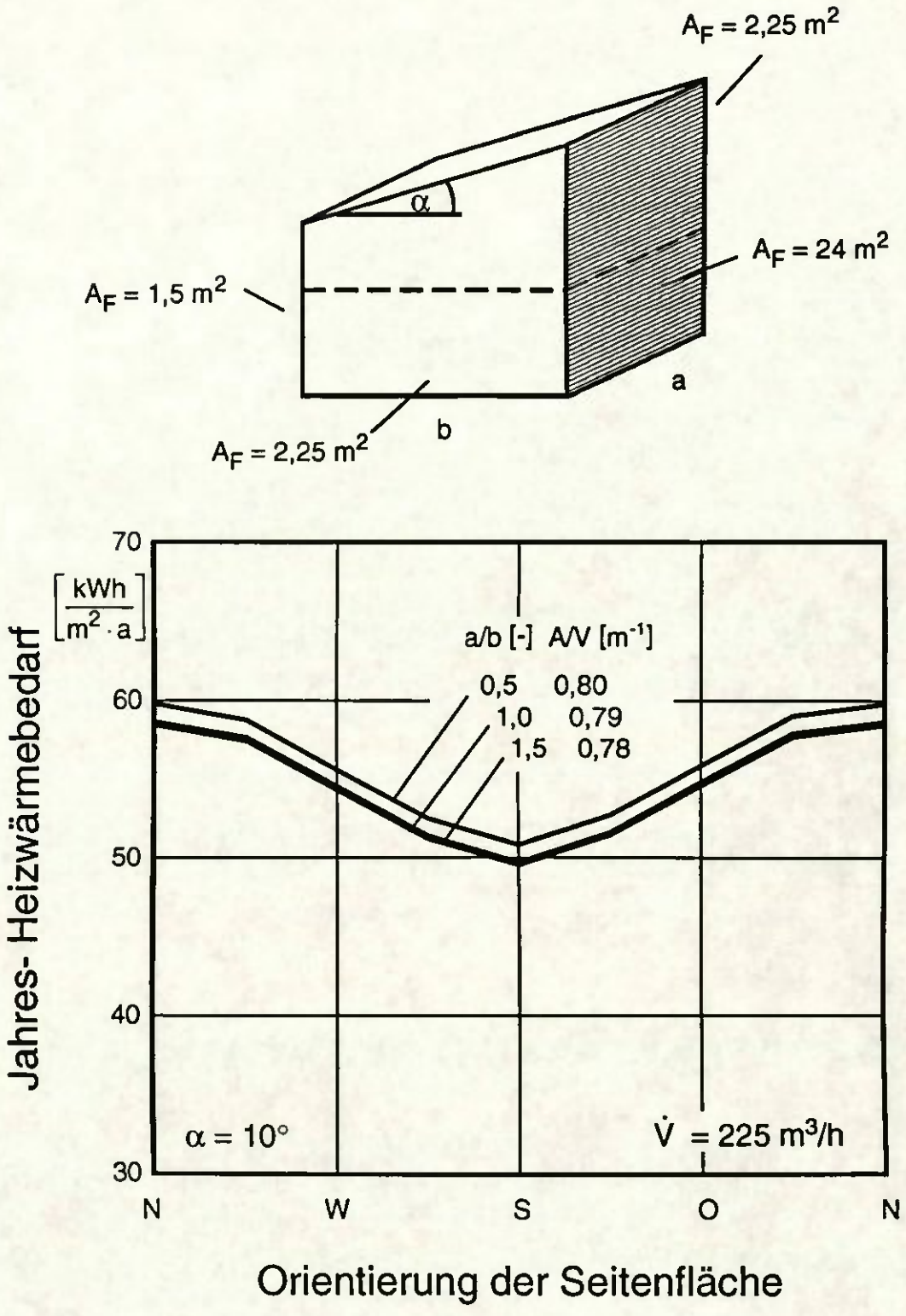


Bild 4.1-9: Einfluß der Orientierung und des Seitenverhältnisses auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Pultdach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung.

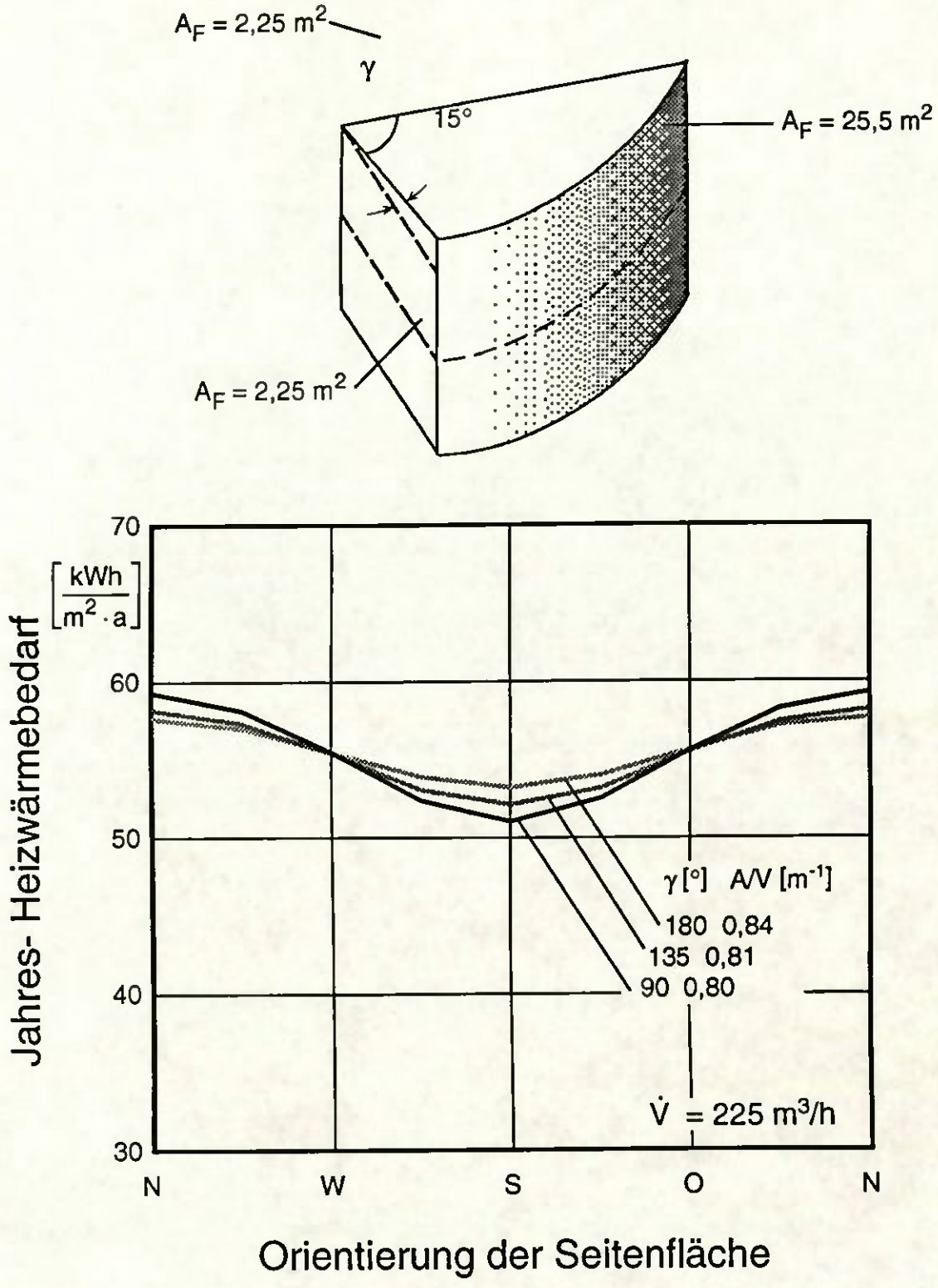


Bild 4.1-10: Einfluß der Orientierung und des Zentriwinkels auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Kreissegment-Haus.

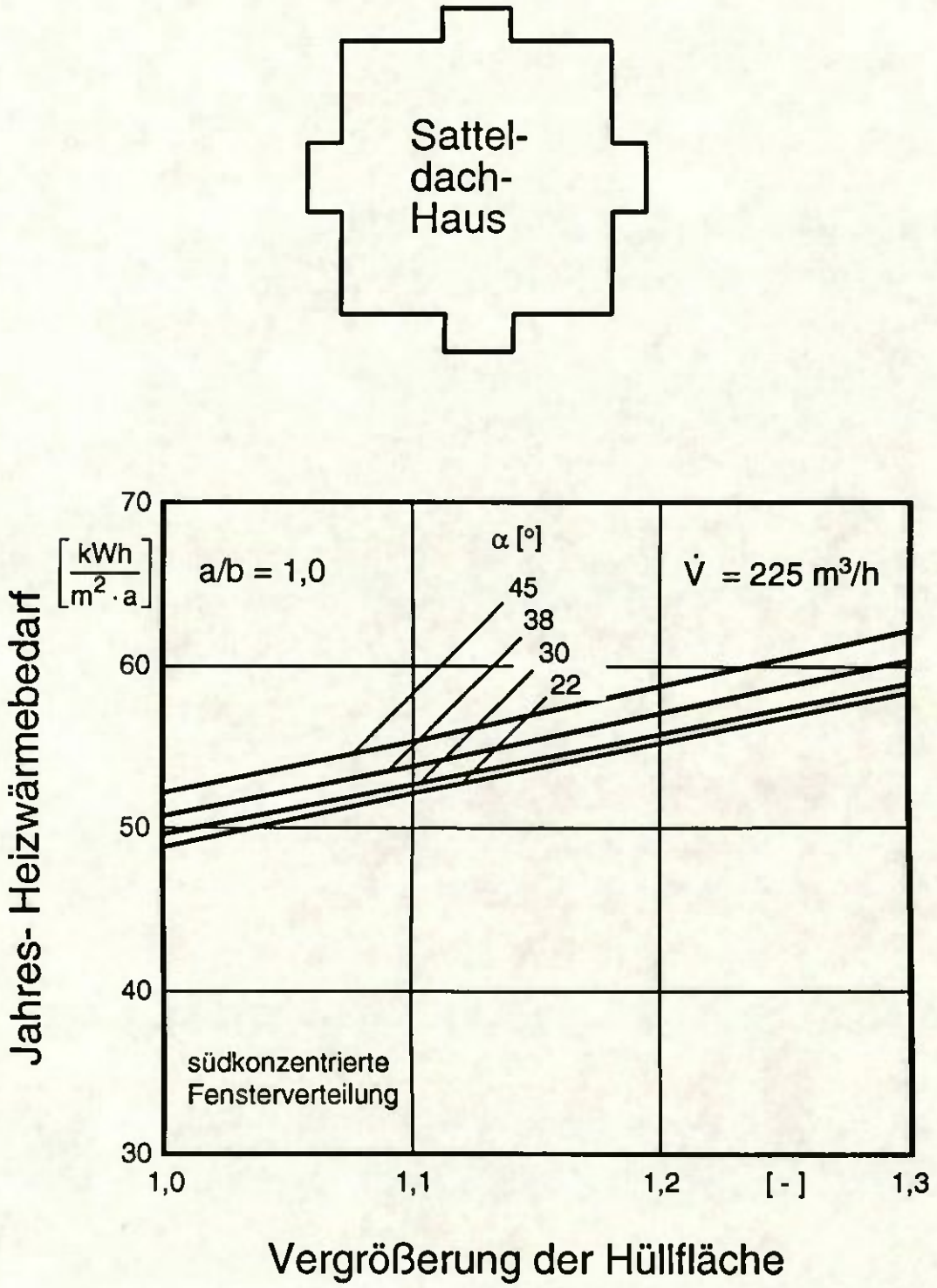
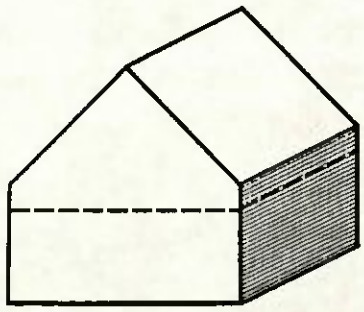


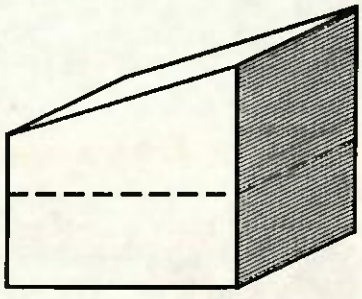
Bild 4.1-11: Einfluß der Größe der Hüllfläche sowie der Dachneigung auf den Jahres-Heizwärmebedarf beim Satteldach-Haus mit konzentrierter Fensterverteilung und Südorientierung der Hauptfassade.

Jahres-Heizwärmebedarf

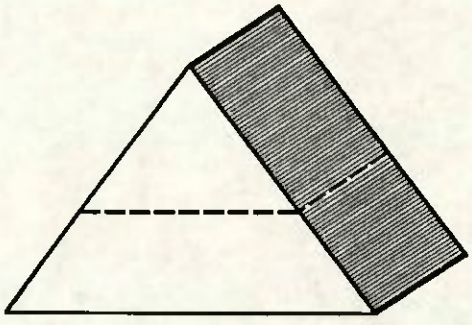
[kWh/(m^2·a)]



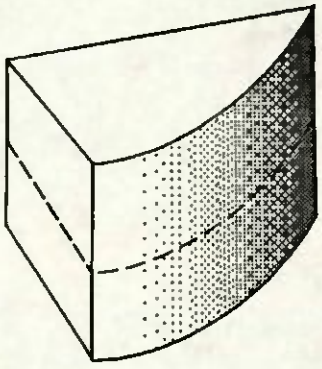
47 - 63



49 - 64



55 - 66



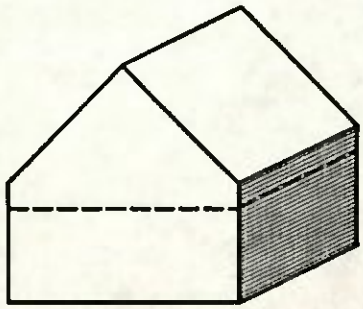
51 - 59

Bild 4.1-12: Schwankung der Jahres-Heizwärmebedarfe der freistehenden Gebäude für die untersuchten Gebäude.

Jahres-Heizwärmebedarf

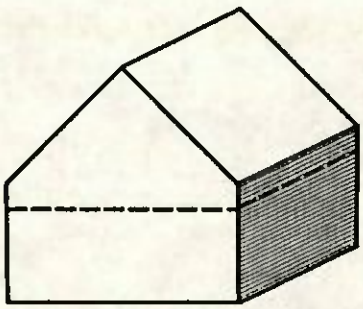
[kWh/(m^2·a)]

Freistehendes Haus



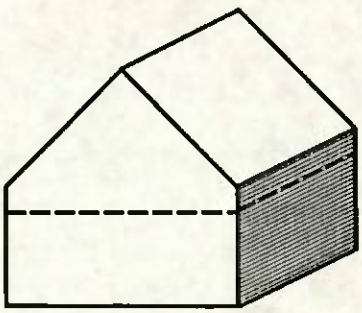
47 - 63

Reihen-endhaus



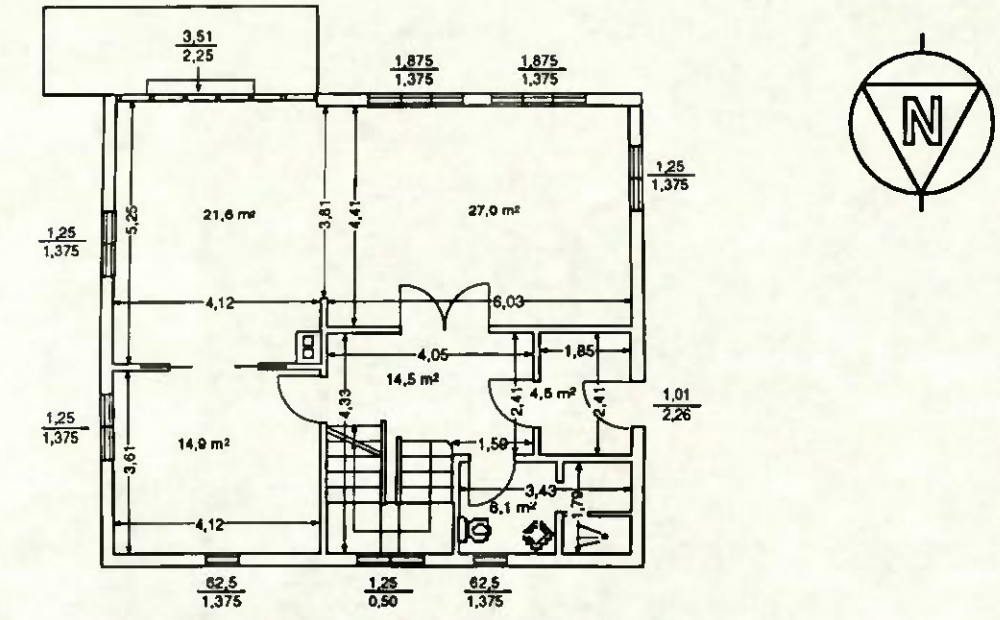
40 - 50

Reihen-mittelhaus

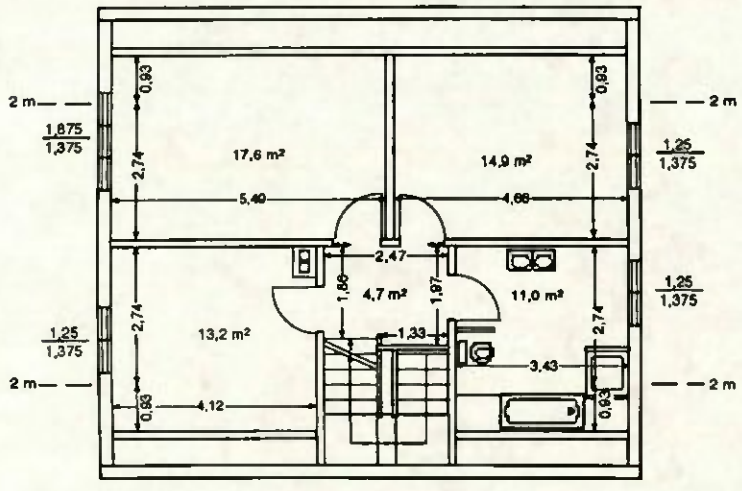


34 - 44

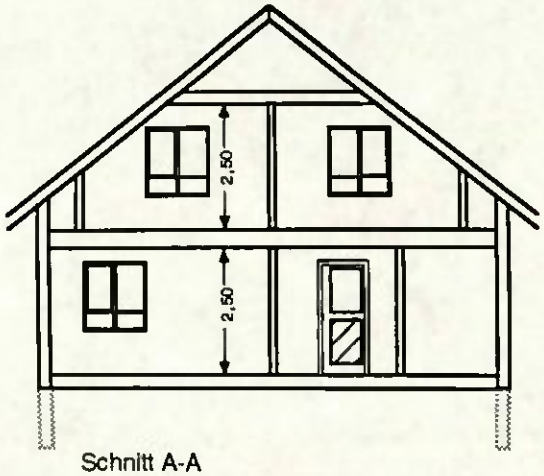
Bild 4.1-13: Vergleich zwischen freihstehenden Häusern, Reihenmittel- und Reihenendhäusern.
Zugrunde gelegte Daten: Satteldach mit 30° Dachneigung,
Nutzung gemäß Kapitel 4.1.1.



Erdgeschoßgrundriß
(Wohnfläche nach DIN 283 beträgt 88,6 m²)

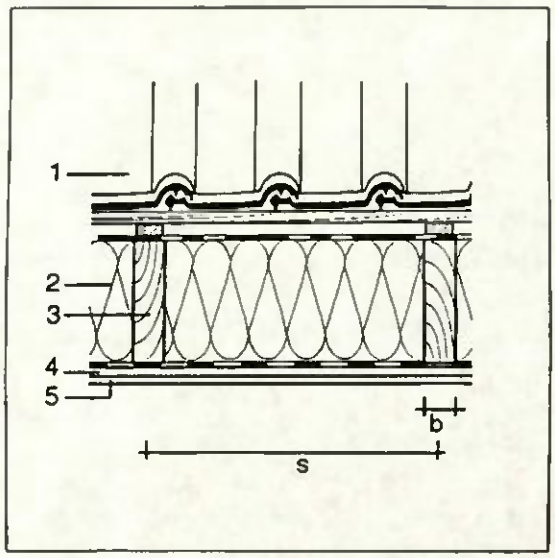


Dachgeschoßgrundriß
(Wohnfläche nach DIN 283 beträgt 61,4 m²)

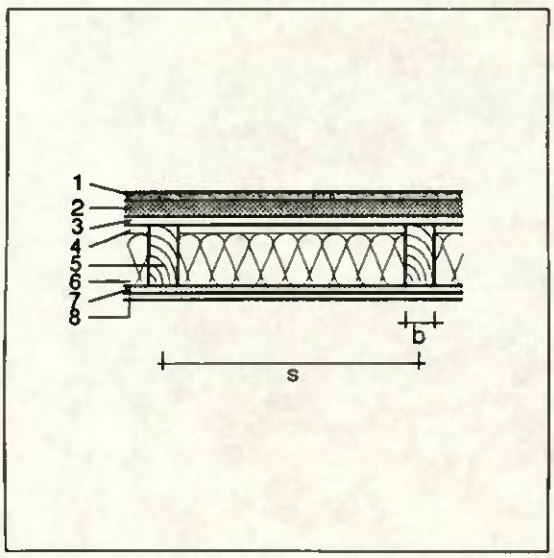


Schnitt A-A

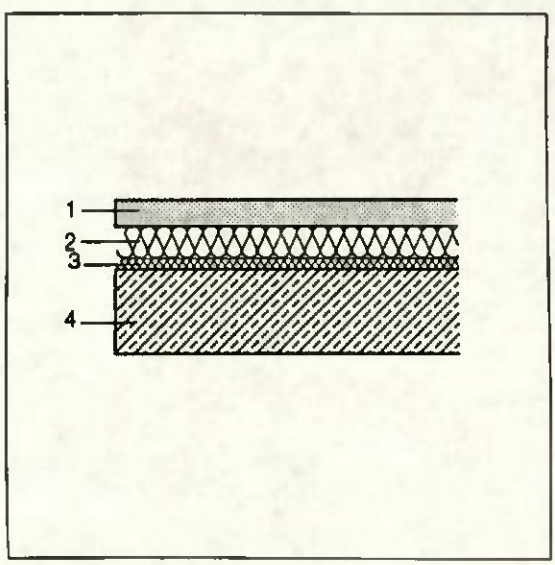
Bild 4.2-1: Erdgeschoß- und Dachgeschoßgrundriß sowie Schnitt des Standardgebäudes



	Dach D2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	22	20	0,04
3	Rippe 6/22, Abstand 62,5	22	600	0,13
4	Spanplatte	1,6	700	0,13
5	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,17 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,48	W/(m²K)
	s = 62,5 cm		b = 6,0	cm
			k_m = 0,20	W/(m²K)

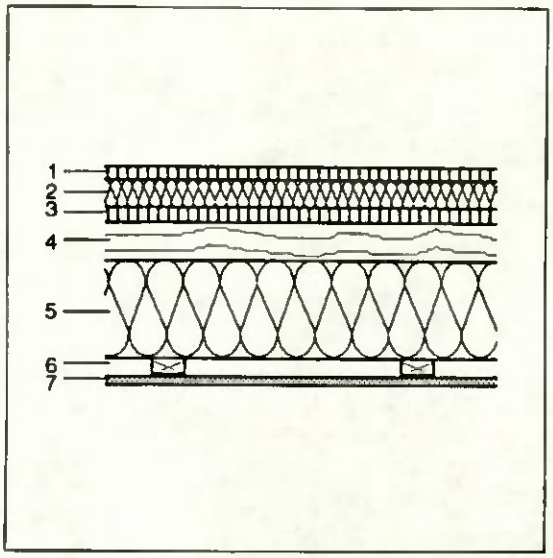


	Außenwand W3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Dämmung	6	20	0,04
3	Gipsfaserplatte	1,25	1200	0,36
4	Luftschicht	2	-	-
5	Dämmung	10	20	0,04
6	Rippe 6/12, Abstand 62,5	12	600	0,13
7	Spanplatte	1,6	700	0,13
8	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,22 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,36	W/(m²K)
	s = 62,5 cm		b = 6,0	cm
			k_m = 0,23	W/(m²K)

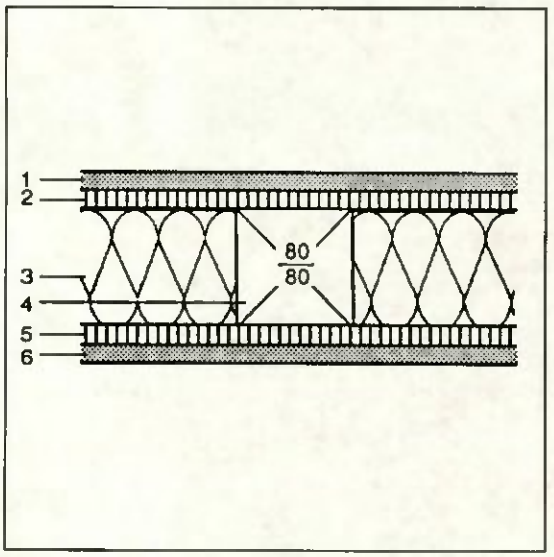


	Kellerdecke K2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	6	20	0,04
3	Dämmung	2	20	0,04
4	Stahlbeton	16	2400	2,1
			k = 0,41	W/(m²K)

Bild 4.2-2: Regelquerschnitte des Standardfalles für die Simulationsrechnungen.



	Decke G2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [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
	k_{Gefach} = 0,23 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,30	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 8,00	
			k_m = 0,24	W/(m²K)



	Trennwände T1			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [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	12	600	0,13
5	Spanplatte	1,3	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,28 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,67	W/(m²K)
	a = 62,5 cm		b = 8,0	cm
			k_m = 0,33	W/(m²K)

Bild 4.2-3: Regelquerschnitte des Standardfalles für die Simulationsrechnungen.

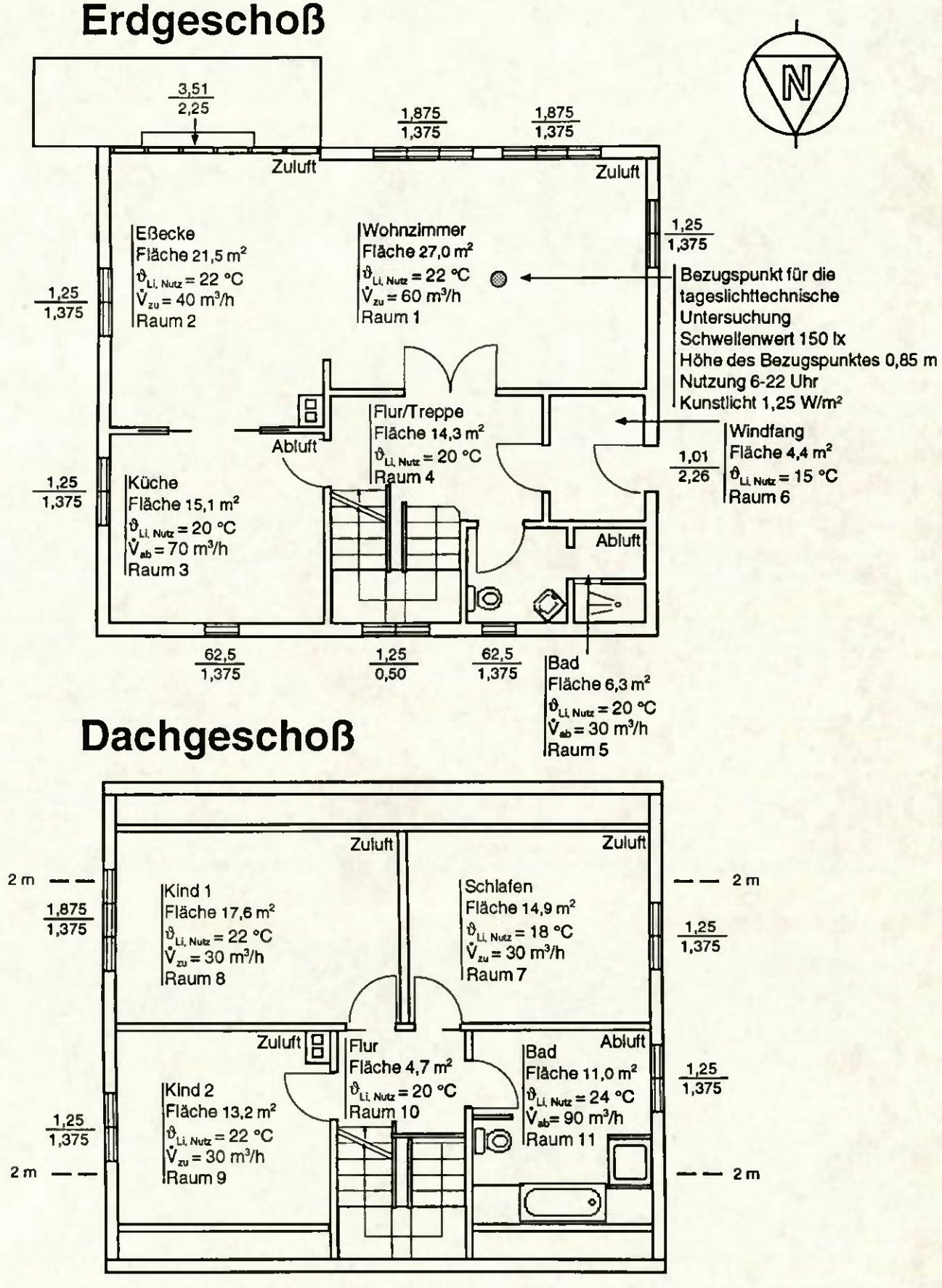


Bild 4.2-4: Raumbezogene Sollwerte der Lufttemperaturen, Schwellwert für den Kunstlichtbetrieb während der Nutzung sowie Zu- und Abluftströme der Lüftungsanlage.

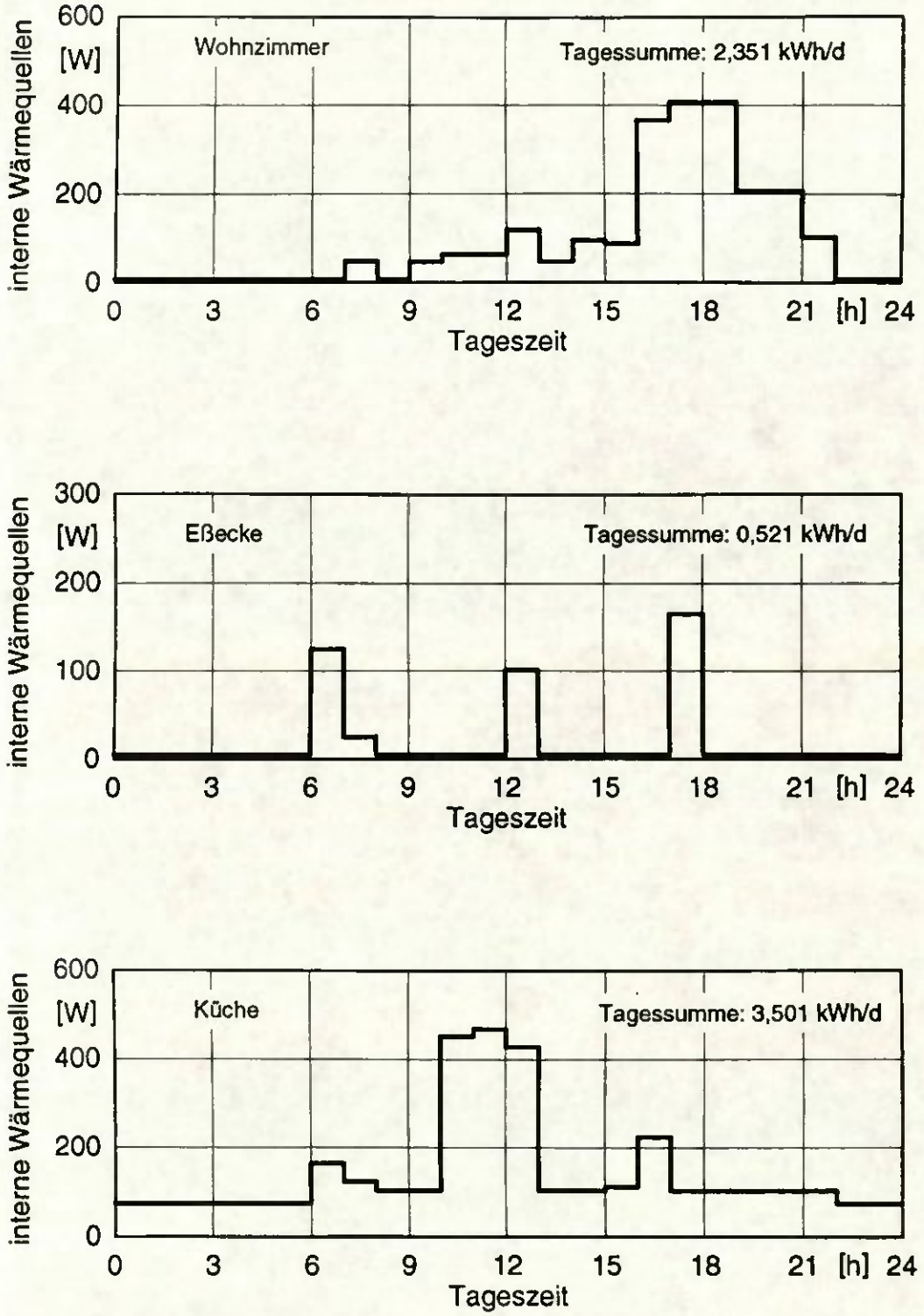


Bild 4.2-5: Zeitlicher Verlauf der internen Wärmeproduktion für die angegebenen Räume.

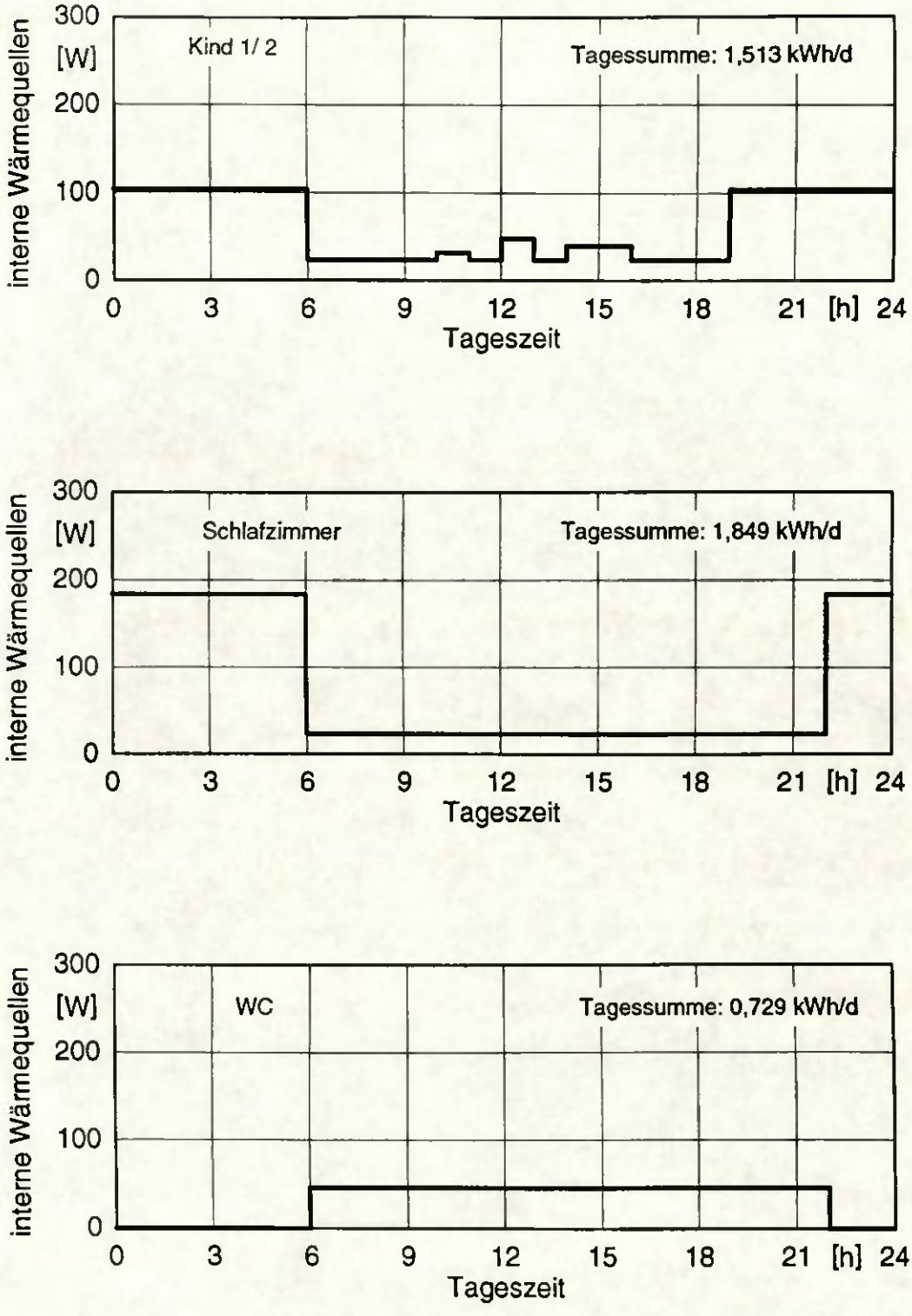


Bild 4.2-6: Zeitlicher Verlauf der internen Wärmeproduktion für die angegebenen Räume.

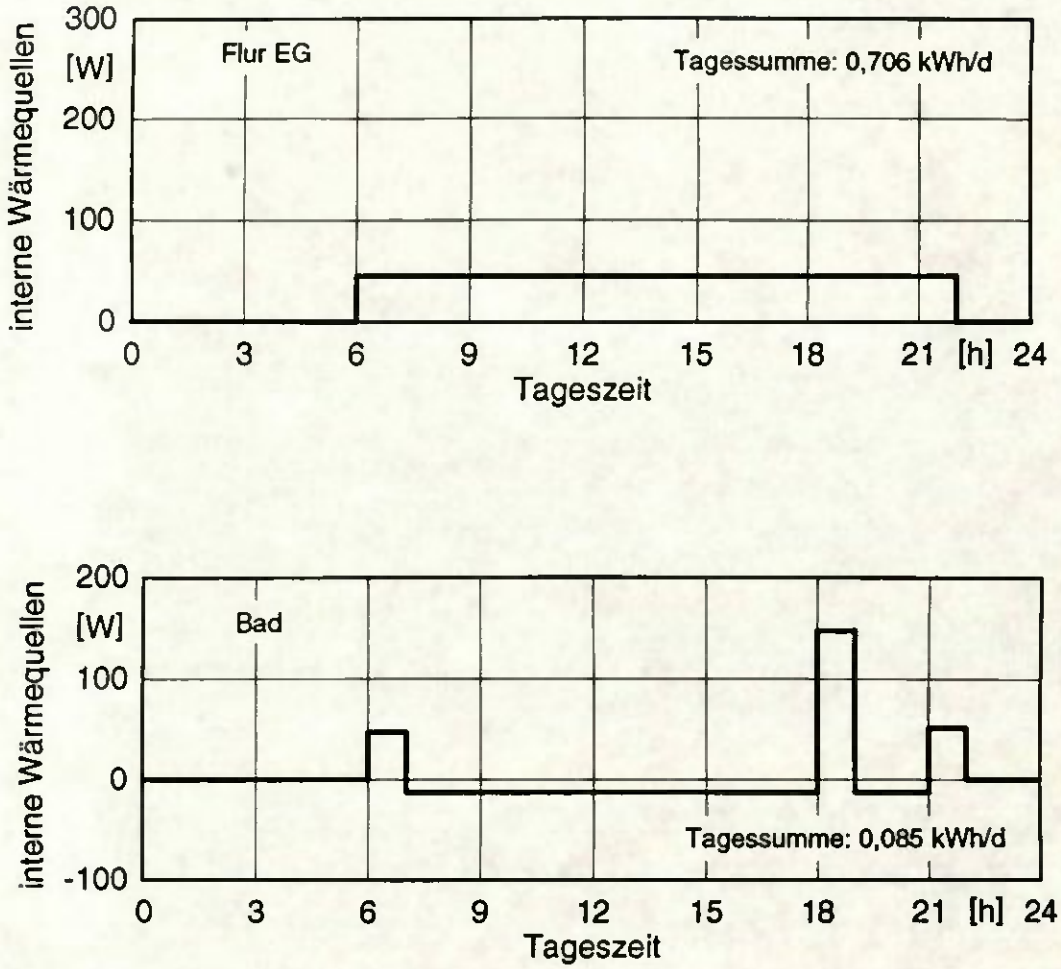


Bild 4.2-7: Zeitlicher Verlauf der internen Wärmeproduktion für die angegebenen Räume.

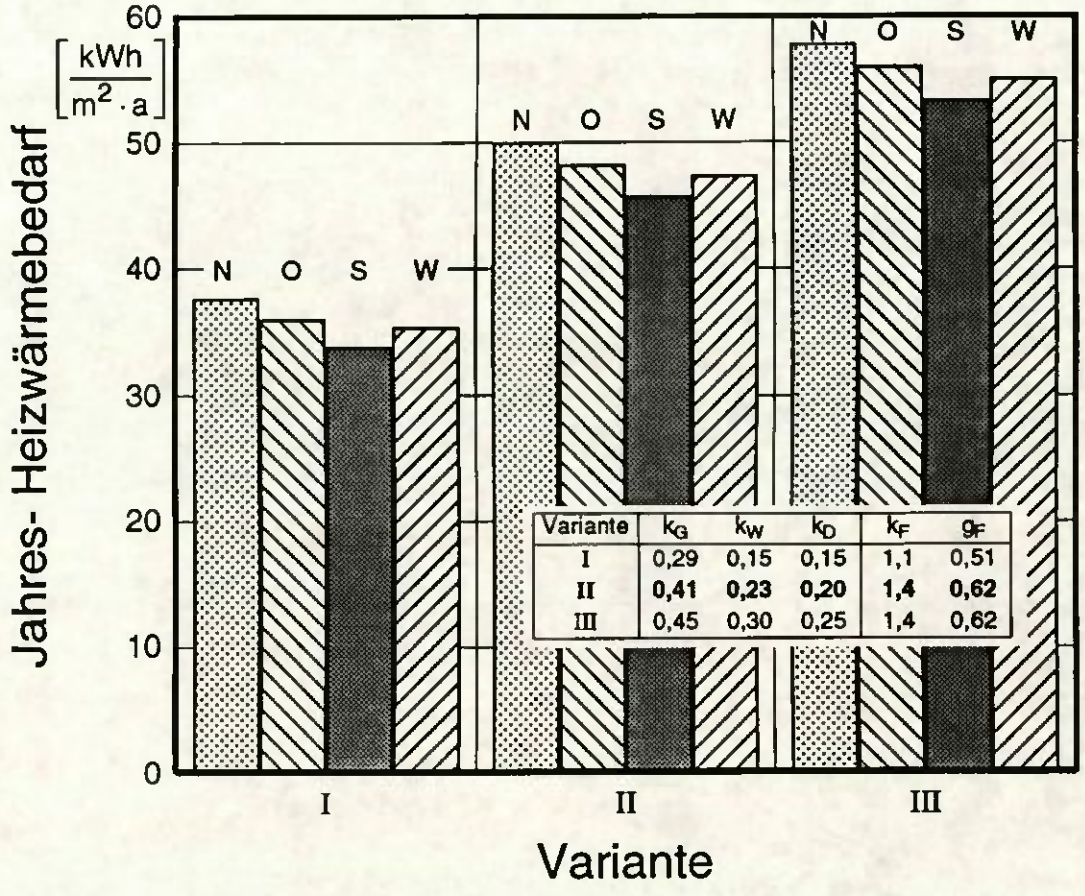


Bild 4.2-8: Einfluß des Dämmniveaus auf den Jahres-Heizwärmebedarf für drei Dämmstandards.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch k- und g-Werte wie angegeben.

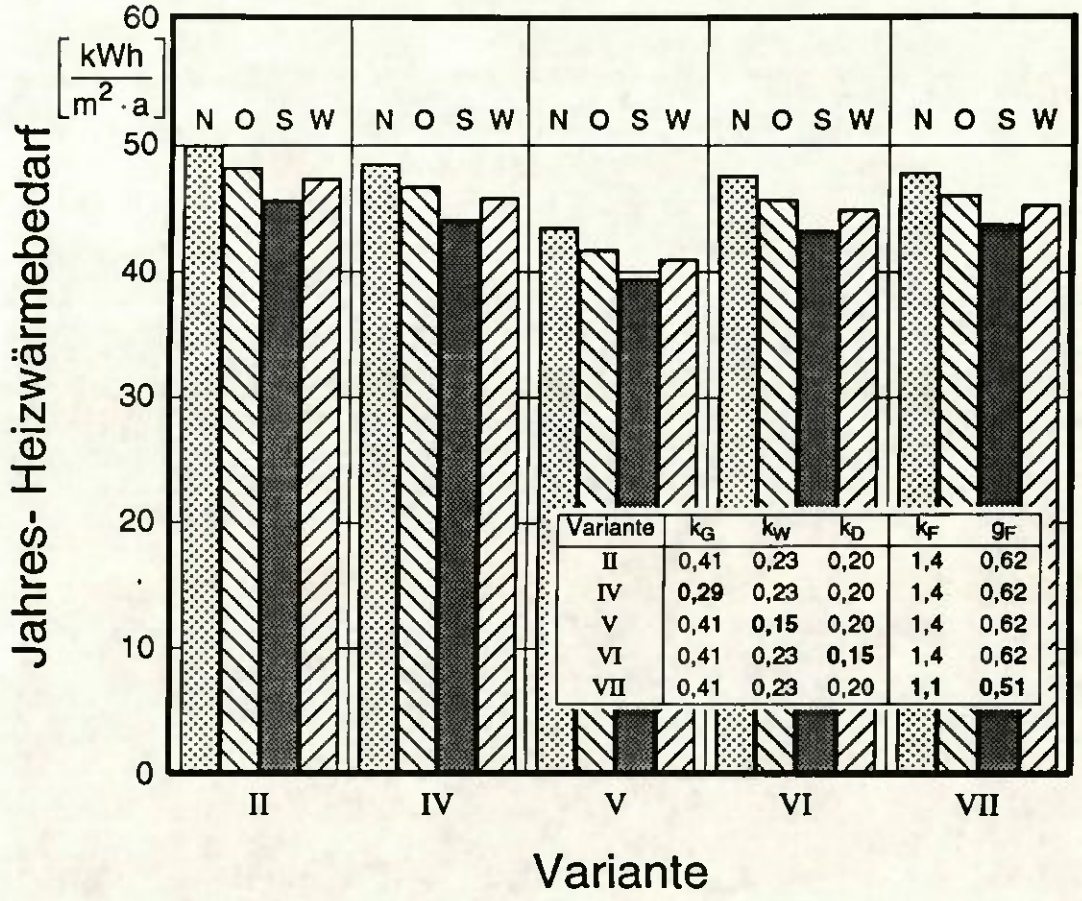


Bild 4.2-9: Einfluß des Dämmniveaus einzelner Bauteile auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall (Variante II), jedoch k- und g-Werte wie angegeben.

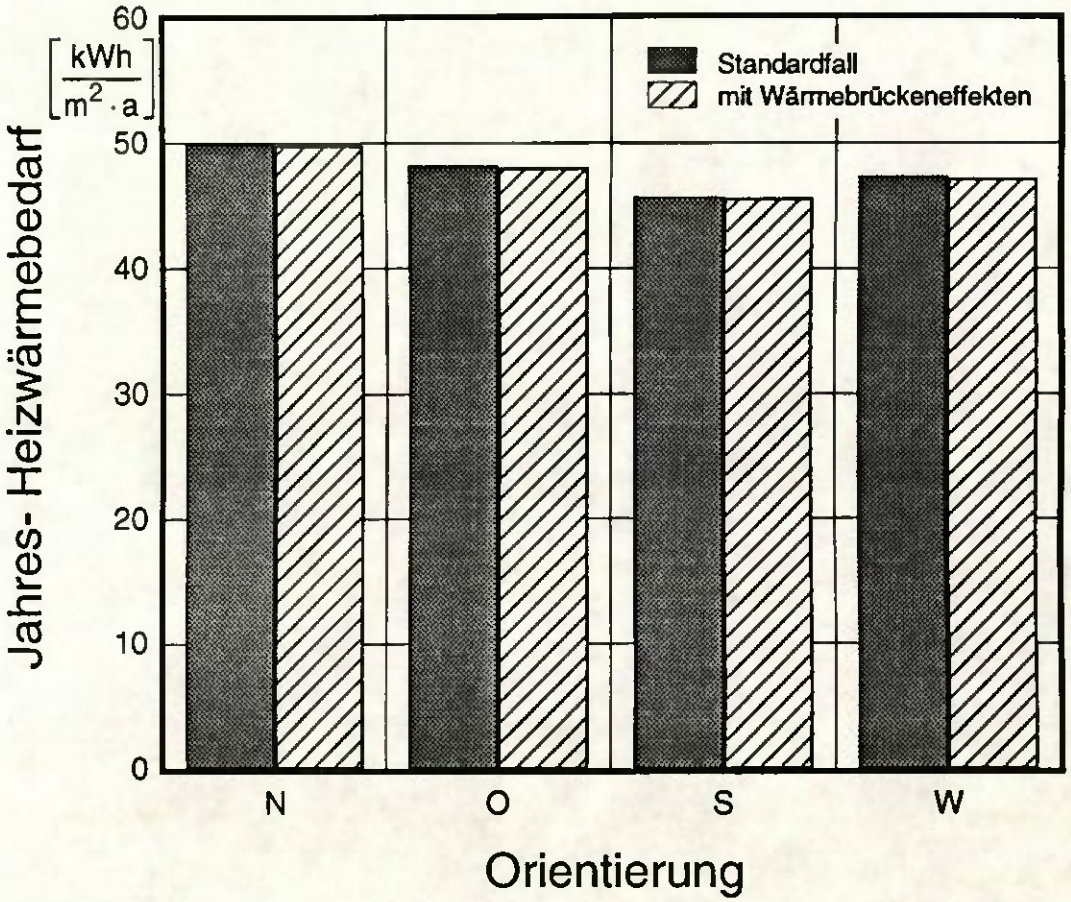


Bild 4.2-10: Einfluß der Wärmebrückeneffekte auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, sowie linienförmige Wärmebrückenverluste.

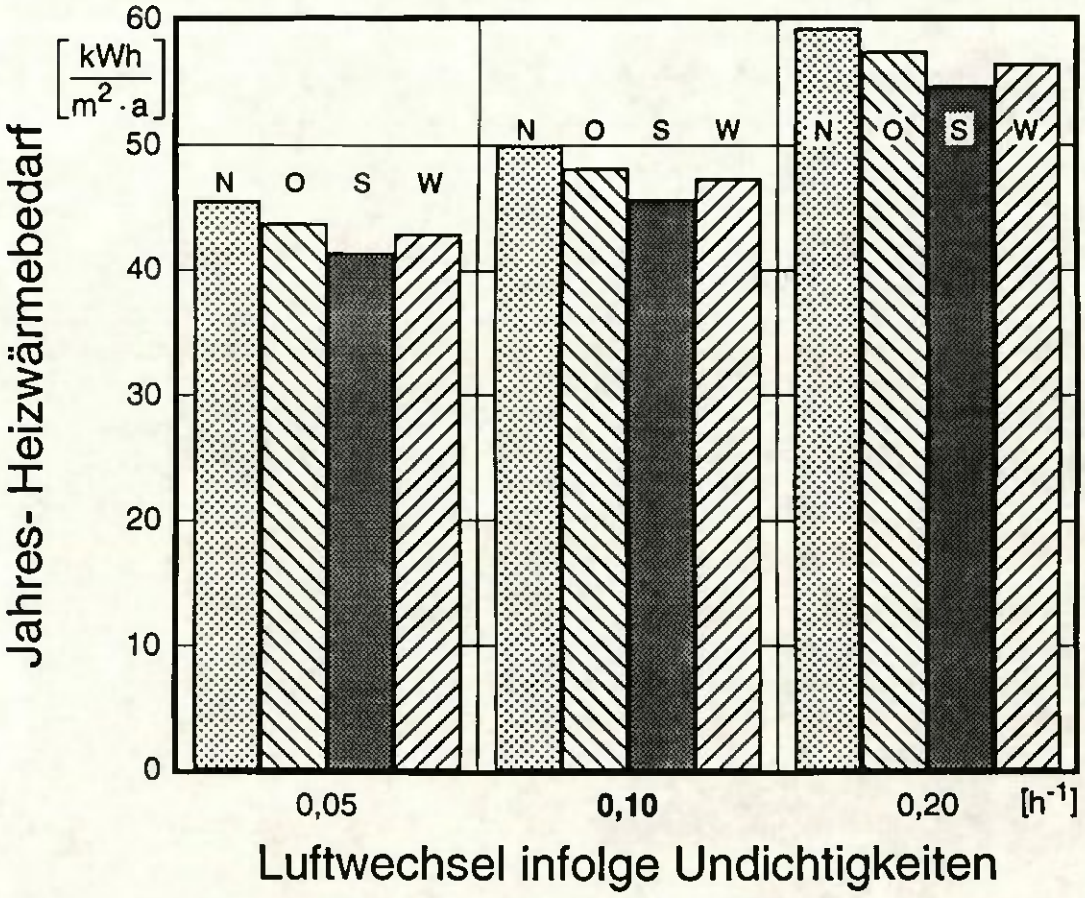


Bild 4.2-11: Einfluß der Gebäudedichtigkeit auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch variable Luftwechsel infolge von Undichtigkeiten.

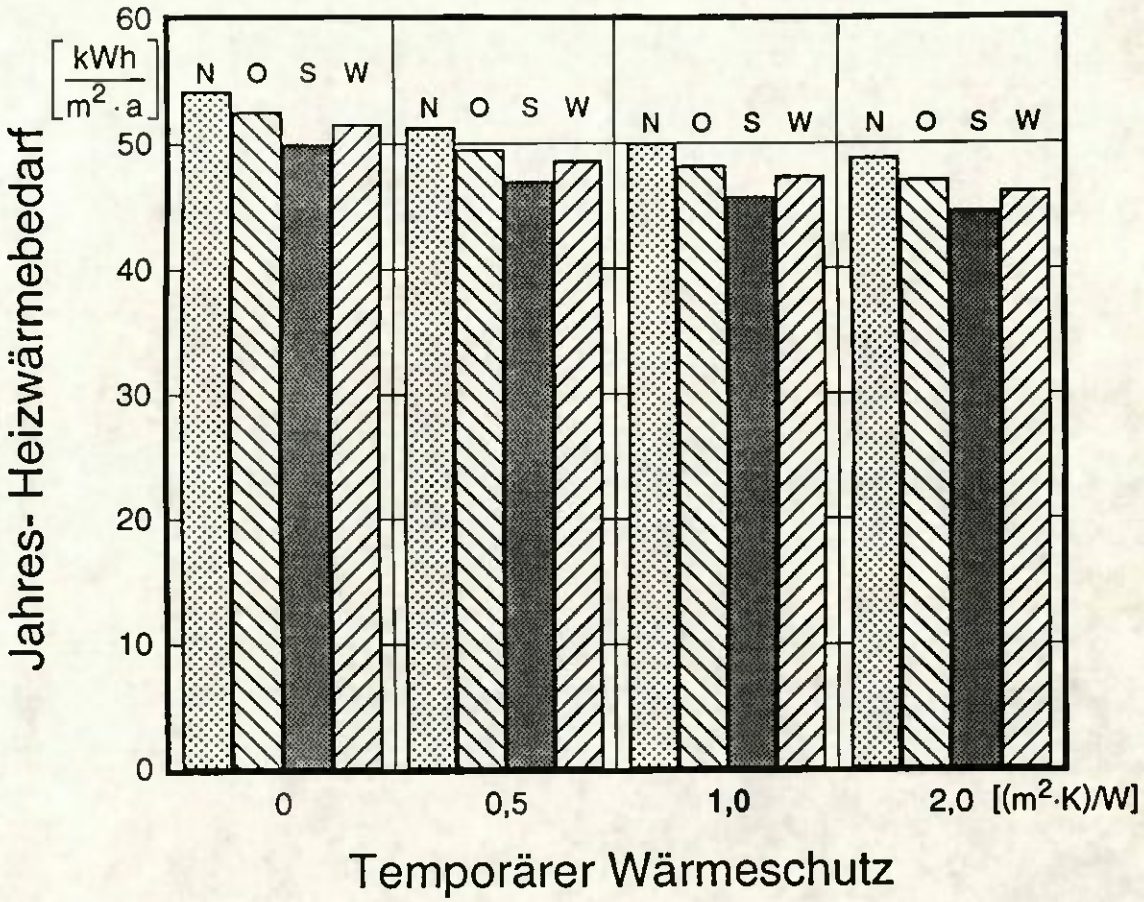


Bild 4.2-12: Einfluß der Wärmedämmung des temporären Wärmeschutzes auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch mit unterschiedlichem Wärmeschutz vor allen Fenstern, der mit Sonnenauf- bzw. -untergang bedient wird.

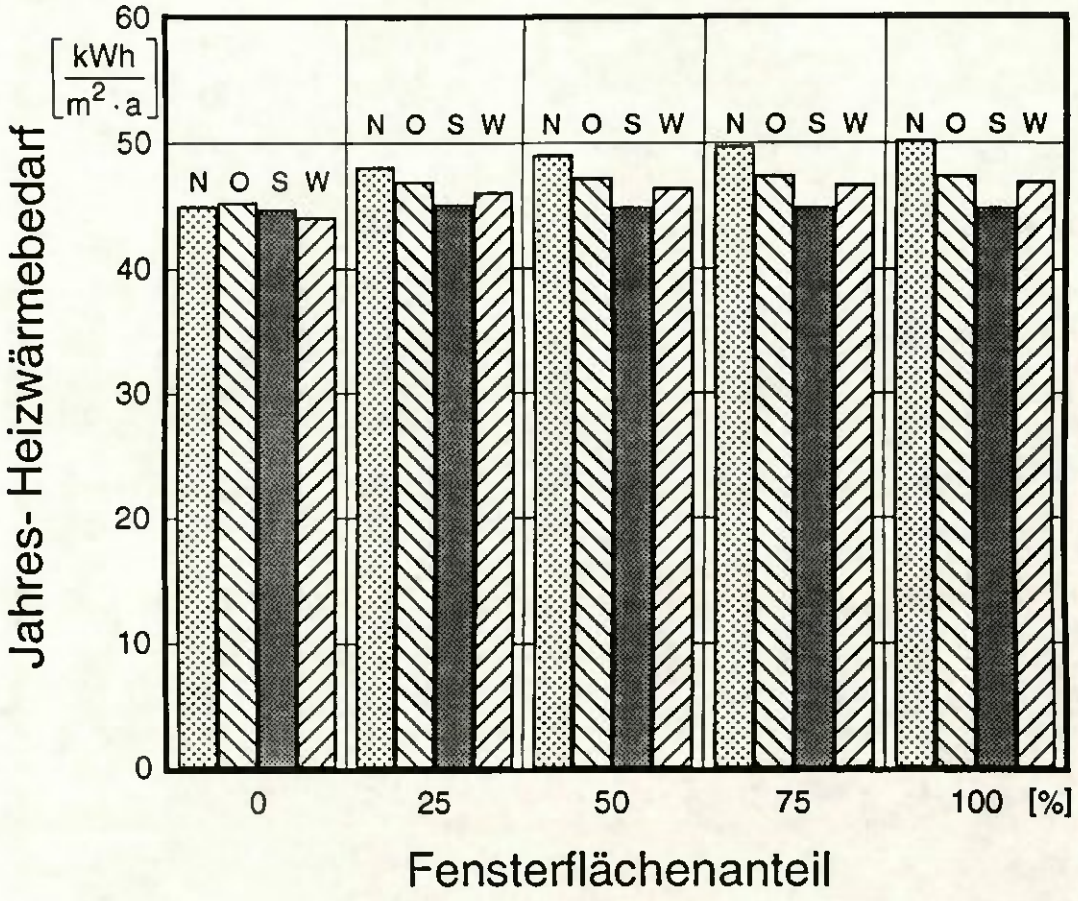


Bild 4.2-13: Einfluß des Fensterflächenanteils in der Hauptfassade auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Fensterflächenanteil wie angegeben.

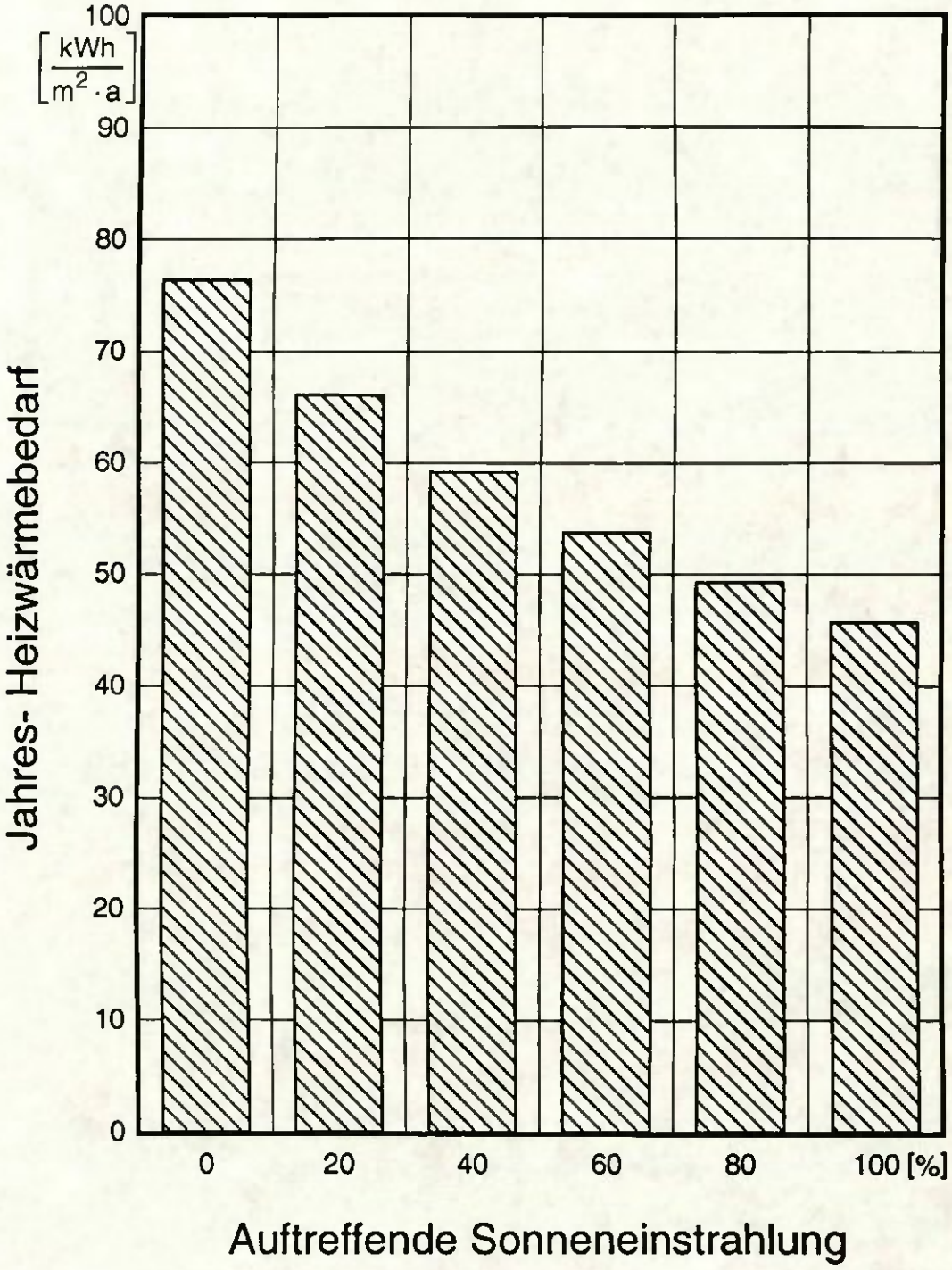


Bild 4.2-14: Einfluß der Gebäudeverschattung auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall.

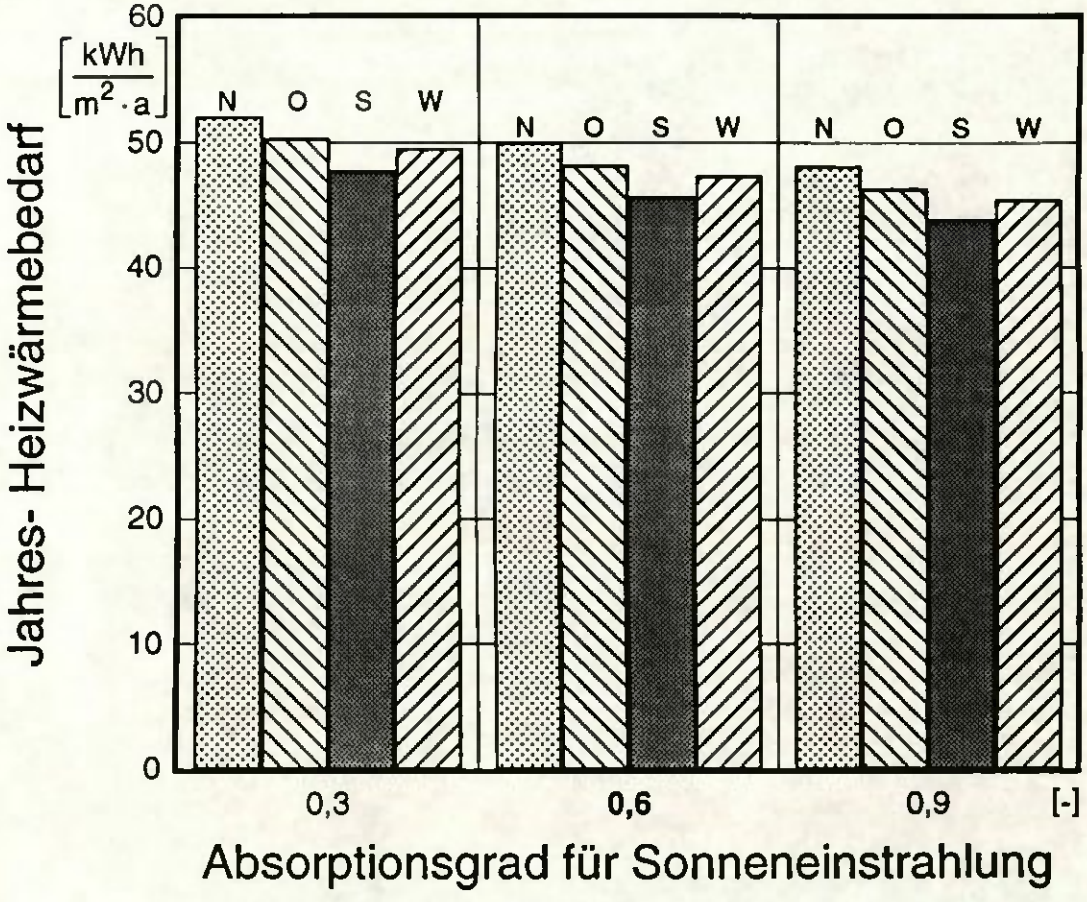


Bild 4.2-15: Einfluß der Farbgebung auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch variable Absorptionsgrade für kurzwellige Strahlung.

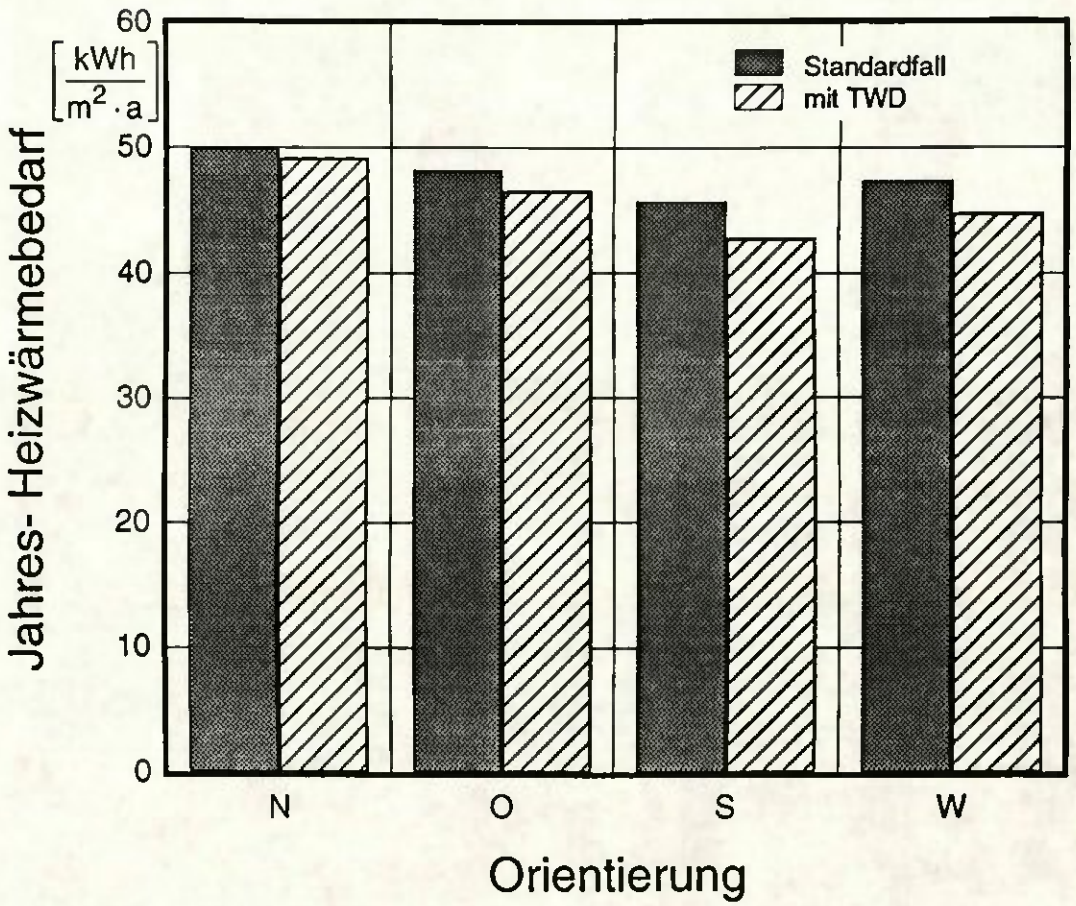


Bild 4.2-16: Einfluß der transluzenten Wärmedämmung (TWD) auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, sowie Außenwand mit TWD.

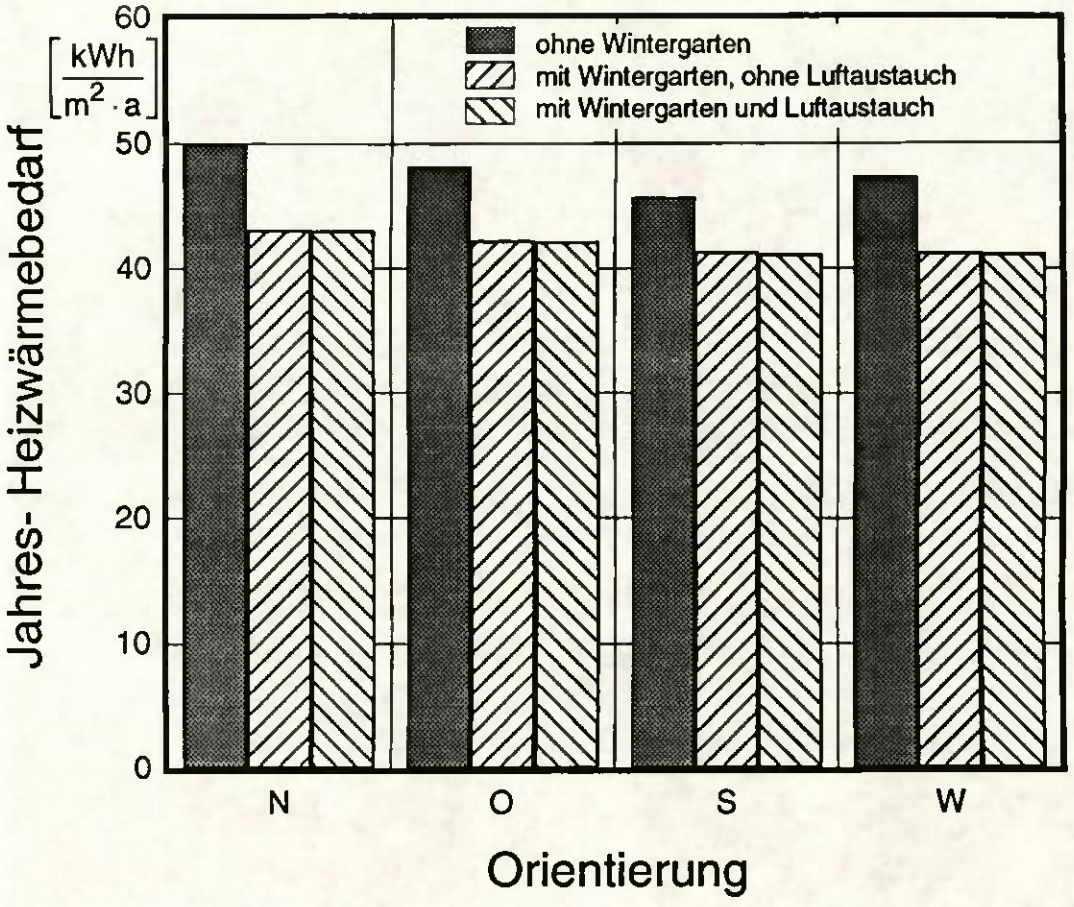
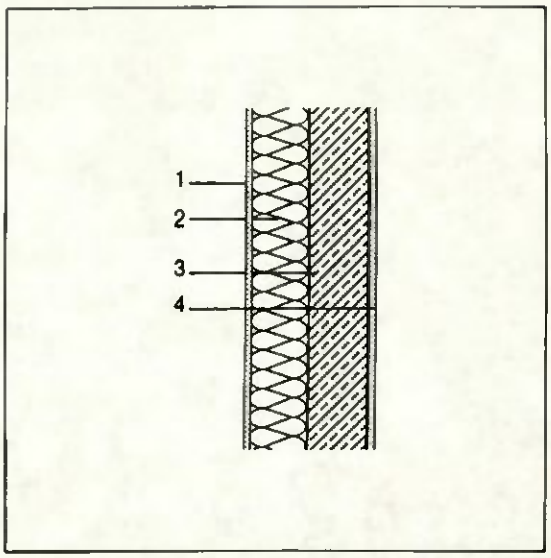
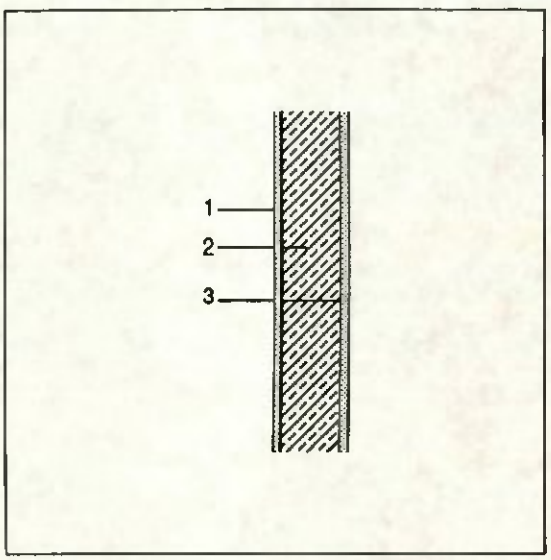


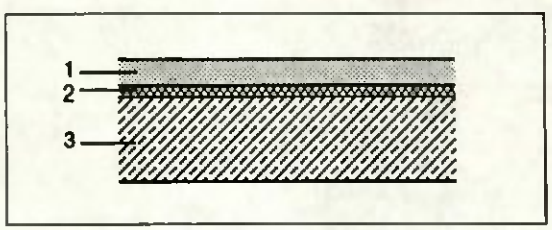
Bild 4.2-17: Einfluß des Wintergartens auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten : Standardfall, sowie Gebäude mit Wintergarten an der "Terrassenfassade", mit und ohne Luftaustausch zwischen Wintergarten und Wohn-/Eßzimmer.



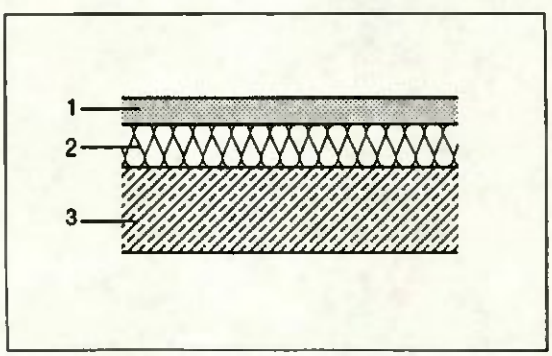
	Außenwand W12			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Dämmung	16	40	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1
4	Gipsputz	1	1200	0,35
			k =	0,23 W/(m²K)



	Trennwand T2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Gipsputz	1	1200	0,35
2	Stahlbeton	16	2400	2,1
3	Gipsputz	1	1200	0,35

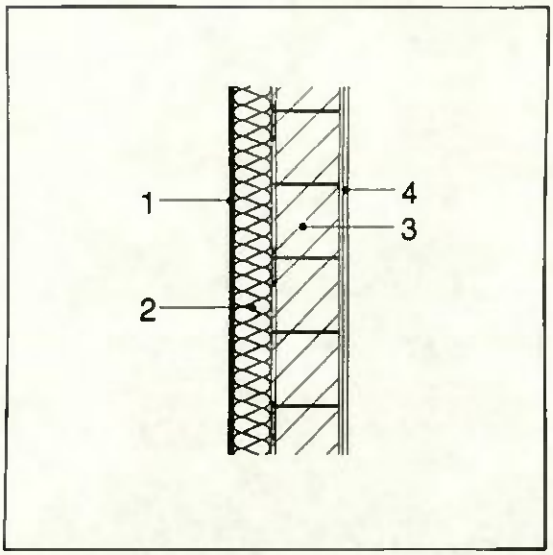


	Geschoßdecke G3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	2	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1

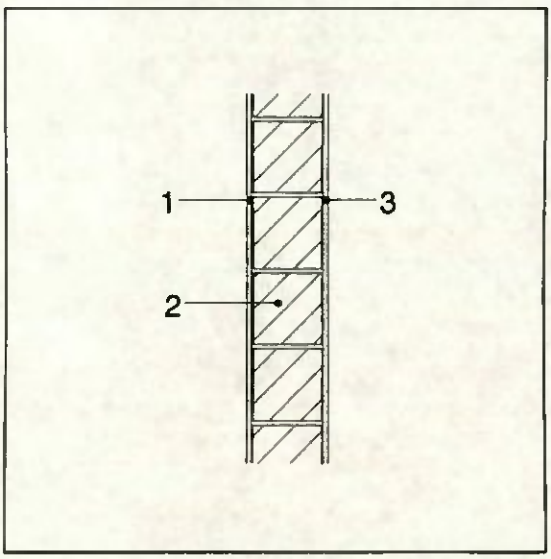


	Kellerdecke K2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	8	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1
			k =	0,41 W/(m²K)

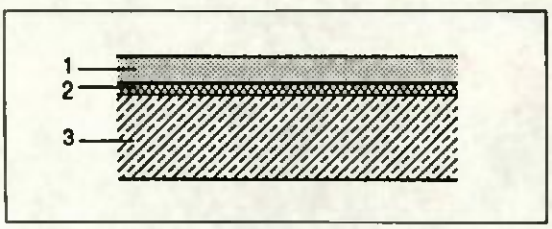
Bild 4.2-18: Regelquerschnitte für Außenwand, Innenwand, Decke und Kellerdecke für die Variante: Beton.



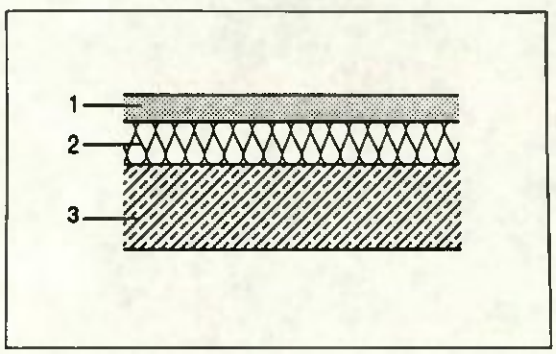
	Außenwand W13			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Dämmung	14,695	40	0,04
3	Mauerwerk	24	1200	0,56
4	Gipsputz	1	1200	0,35
			k =	0,23 W/(m²K)



	Trennwand T3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Gipsputz	1	1200	0,35
2	Mauerwerk	11,5	1200	0,59
3	Gipsputz	1	1200	0,35

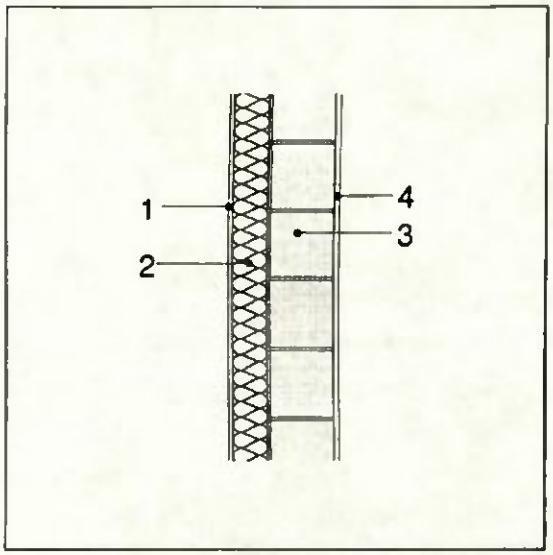


	Geschoßdecke G3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	2	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1

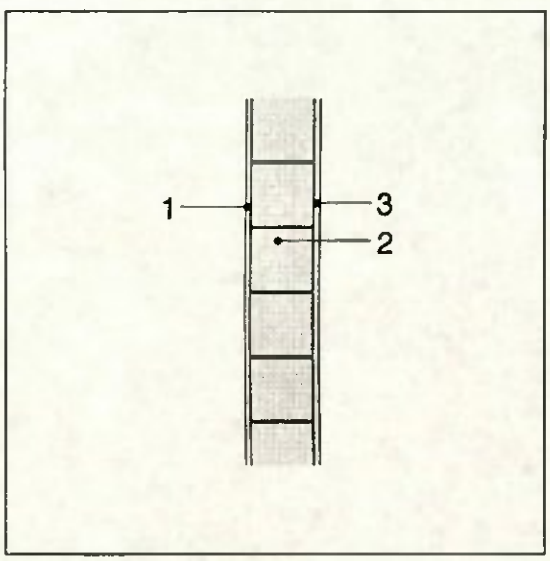


	Kellerdecke K2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	8	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1
			k =	0,41 W/(m²K)

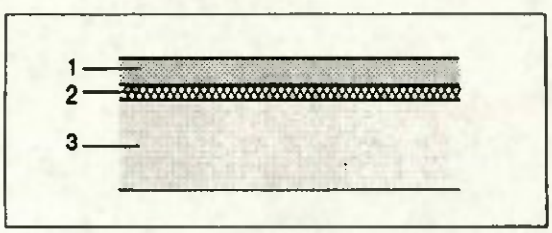
Bild 4.2-19: Regelquerschnitte für Außenwand, Innenwand, Decke und Kellerdecke für die Variante: Kalksandstein.



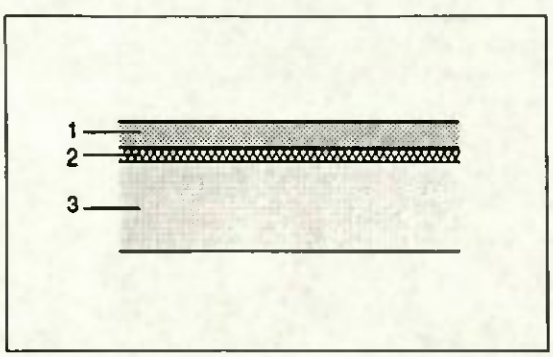
	Außenwand W14			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Dämmung	11,838	30	0,04
3	Porenbeton	24	700	0,21
4	Gipsputz	1	1200	0,35
			k =	0,23 W/(m²K)



	Trennwand T4			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Gipsputz	1	1200	0,35
2	Porenbeton	10	700	0,21
3	Gipsputz	1	1200	0,35



	Geschoßdecke G3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	2	30	0,04
3	Porenbeton	22	700	0,21



	Kellerdecke K4			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	4,114	30	0,04
3	Porenbeton	22	700	0,21
			k =	0,41 W/(m²K)

Bild 4.2-20: Regelquerschnitte für Außenwand, Innenwand, Decke und Kellerdecke für die Variante: Porenbeton.

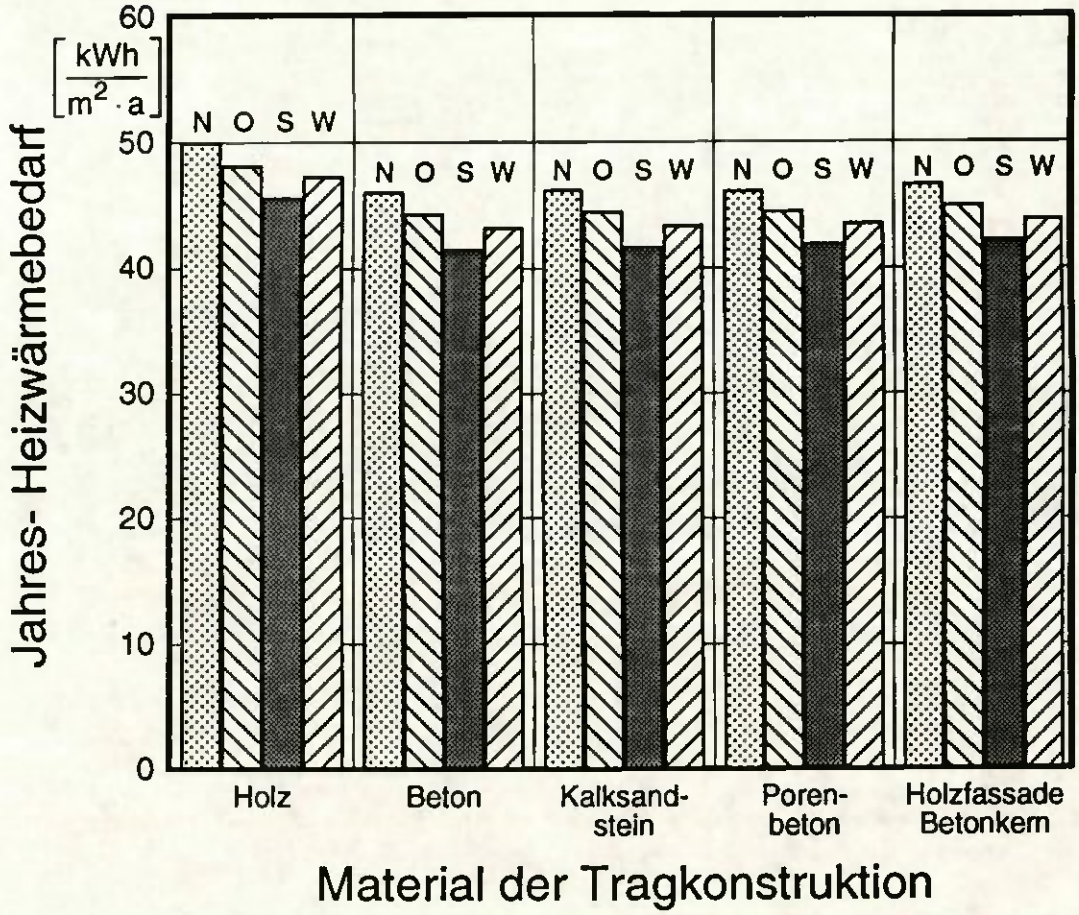
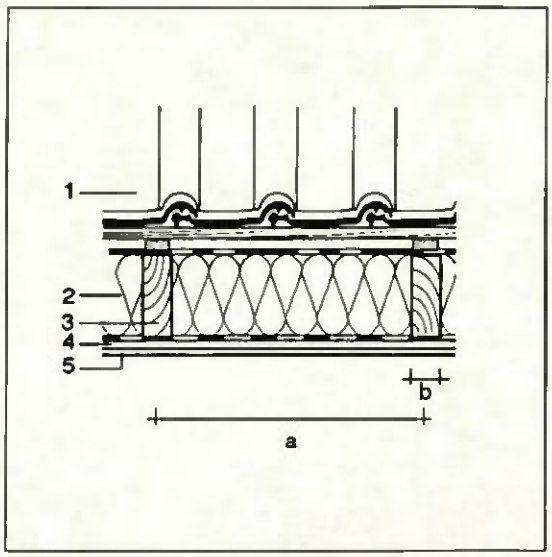
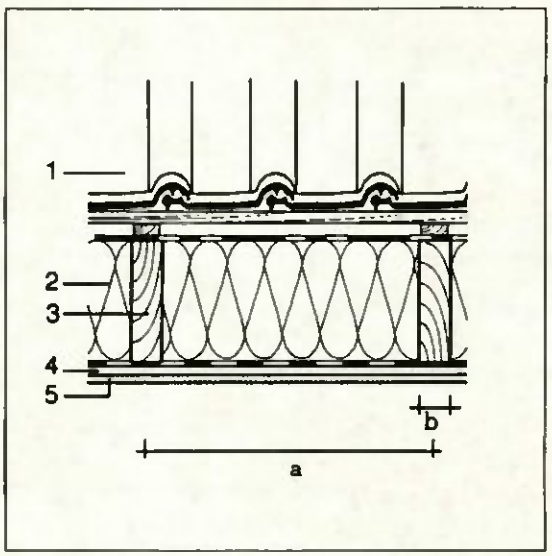


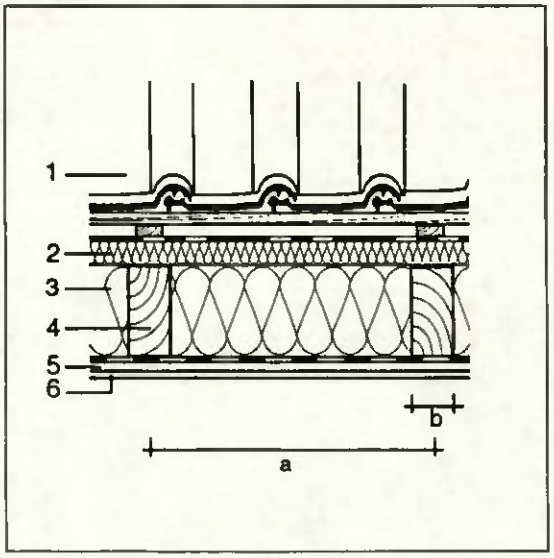
Bild 4.2-21: Einfluß der Bauart auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegete Daten: Standardfall, jedoch Ausführung der Baukonstruktionen wie angegeben variiert.



	Dach D1			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	18	20	0,04
3	Rippe 8/18, Abstand 62,5	18	600	0,13
4	Spanplatte	1,6	700	0,13
5	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,21 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,58	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 8,00	cm
			k_m = 0,25	W/(m²K)

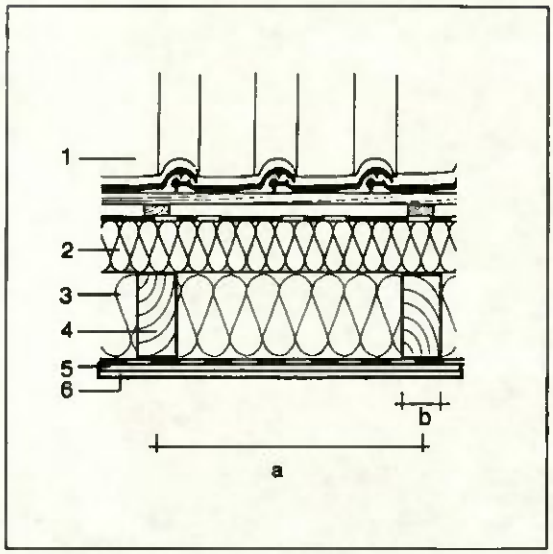


	Dach D2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	22	20	0,04
3	Rippe 6/22, Abstand 62,5	22	600	0,13
4	Spanplatte	1,6	700	0,13
5	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,17 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,49	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,20	W/(m²K)

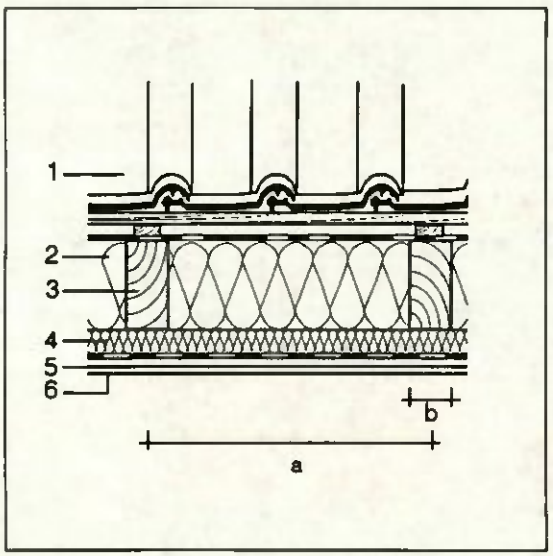


	Dach D3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	4	20	0,04
3	Dämmung	18	20	0,04
4	Rippe 8/18, Abstand 62,5	18	600	0,13
5	Spanplatte	1,6	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,17 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,37	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 8,00	cm
			k_m = 0,20	W/(m²K)

Bild 5-1: Regelquerschnitte Dachkonstruktionen

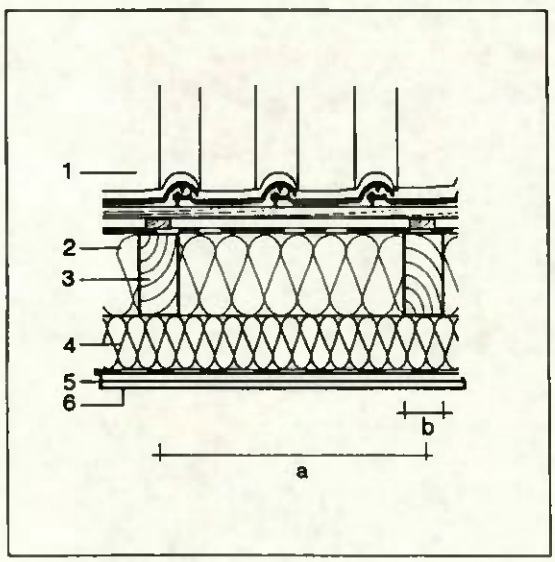


	Dach D4			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	10	20	0,04
3	Dämmung	18	20	0,04
4	Rippe 8/18, Abstand 62,5	18	600	0,13
5	Spanplatte	1,6	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,14 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,23	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 8,00	cm
			k_m = 0,15	W/(m²K)



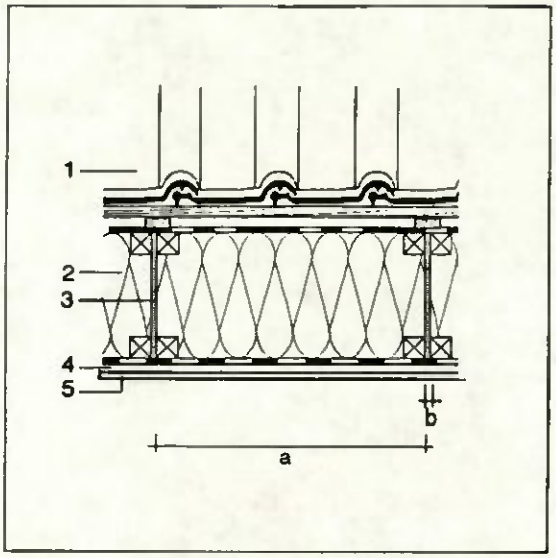
	Dach D5			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	18	20	0,0
3	Rippe 8/18, Abstand 62,5	18	600	0,13
4	Dämmung	4	20	0,04
5	Spanplatte	1,6	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,17 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,36	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = ~~6,00~~	cm
			k_m = 0,19	W/(m²K)

800



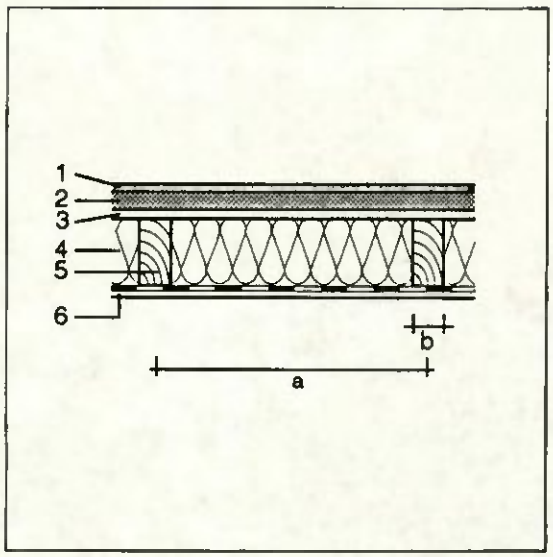
	Dach D6			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	18	20	0,04
3	Rippe 8/18, Abstand 62,5	18	600	0,13
4	Dämmung	10	20	0,04
5	Spanplatte	1,6	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,14 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,23	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 8,00	cm
			k_m = 0,15	W/(m²K)

Bild 5-2: Regelquerschnitte für Dachkonstruktionen

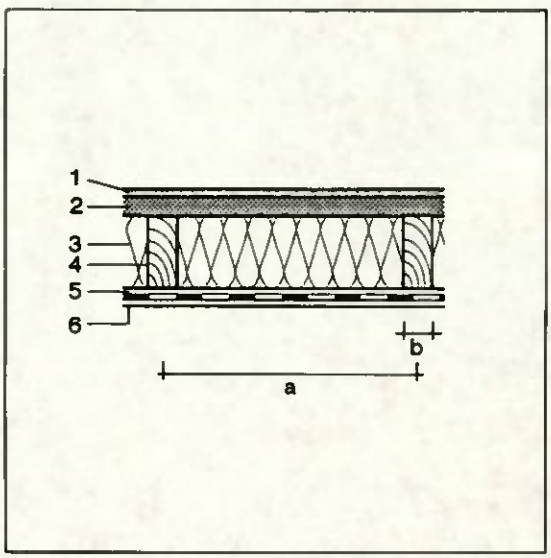


	Dach D7			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ, λ_m [W/(m·K)]
1	Dachstein			
2	Dämmung	24	20	0,04
3	Steg und Flansch (λ_m)	24	600	0,063
4	Spanplatte	1,6	700	0,13
5	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gelech} = 0,16 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,24	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 9,00	cm
			k_m = 0,17	W/(m²K)

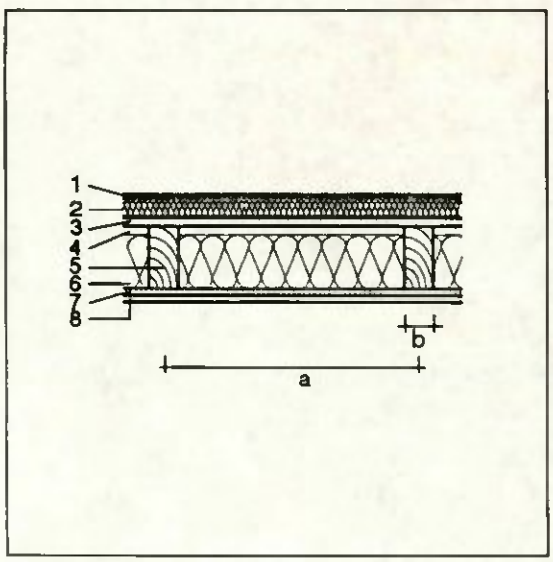
Bild 5-3: Regelquerschnitte für Dachkonstruktionen



	Außenwand W1			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Holzwolleleichtbauplatte	3,5	480	0,09
3	Spanplatte	1,3	700	0,13
4	Dämmung	12	20	0,04
5	Rippe 6/12, Abstand 62,5	12	600	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,27 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,61	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,30	W/(m²K)

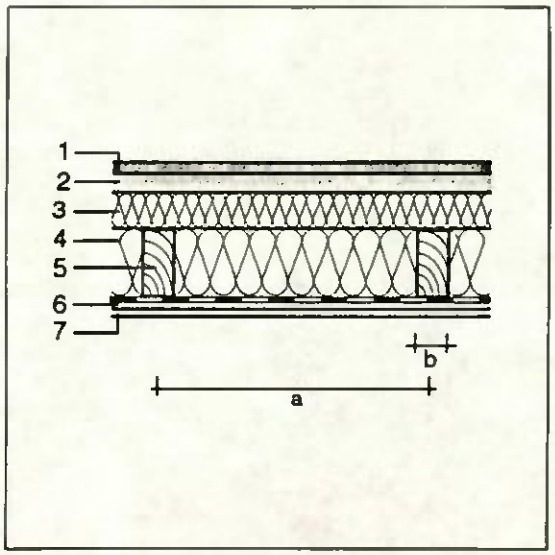


	Außenwand W2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Holzwolleleichtbauplatte	3,5	480	0,09
3	Dämmung	14	20	0,04
4	Rippe 6/14, Abstand 62,5	14	600	0,13
5	Spanplatte	1,6	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	0,95	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,24 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,55	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,27	W/(m²K)

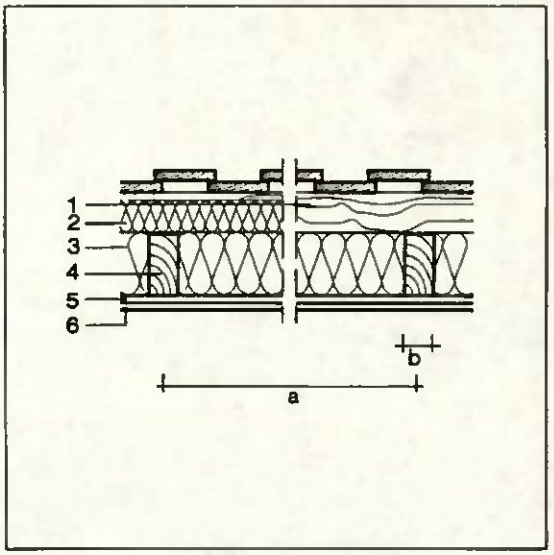


	Außenwand W3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	0,3	1100	0,7
2	Dämmung	6	20	0,04
3	Gipsfaserplatte	1,25	1200	0,36
4	Luftschicht	2	1	0,12
5	Dämmung	10	20	0,04
6	Rippe 6/12, Abstand 62,5	12	600	0,13
7	Spanplatte	1,6	700	0,13
8	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,22 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,36	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,23	W/(m²K)

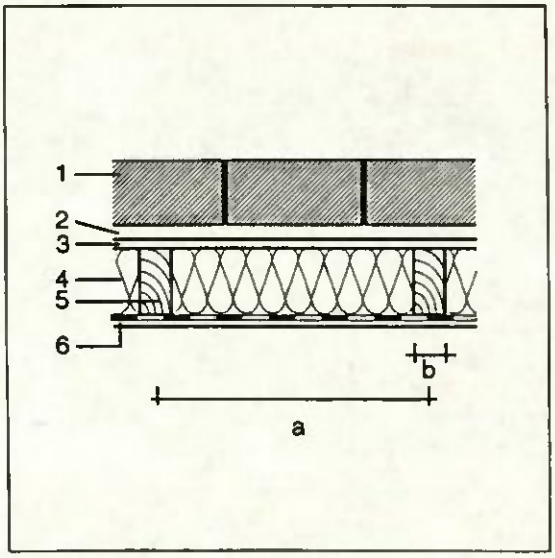
Bild 5.4: Regelquerschnitte für Wandkonstruktionen



	Außenwand W4			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Außenputz	2	1800	0,87
2	Holzwolle-Leichtbauplatte	3,5	500	0,093
3	Dämmung	6	20	0,04
4	Dämmung	12	20	0,04
5	Rippe 6/12, Abstand 62,5	12	600	0,13
6	Spanplatte	1,6	700	0,13
7	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,19 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,31	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,20	W/(m²K)

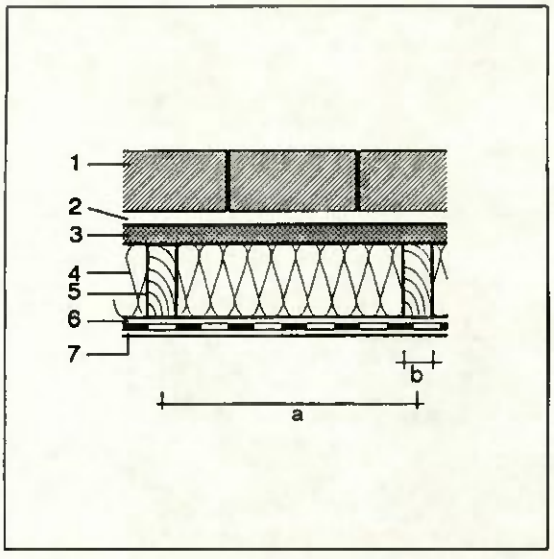


	Außenwand W5			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Kantholz 6/8	6	600	0,13
2	Dämmung	6	20	0,04
3	Dämmung	12	20	0,04
4	Rippe 6/12, Abstand 62,5	12	600	0,13
5	Spanplatte	1,6	700	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,3	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,19 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,31	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,20	W/(m²K)

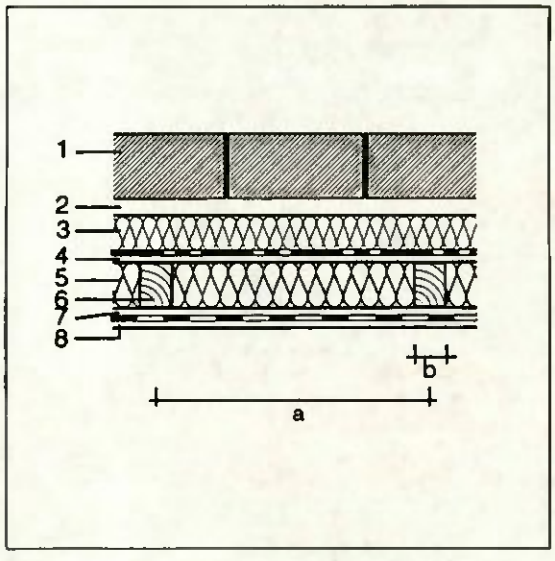


	Außenwand W6			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Klinkerverblender	11,5	2000	0,96
2	"stehende" Luftschicht			
3	Spanplatte	1,3	700	0,13
4	Dämmung	12	20	0,04
5	Rippe 6/12, Abstand 62,5	12	600	0,13
6	Gipskarton-Bauplatte	1,8	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,27 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,64	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,31	W/(m²K)

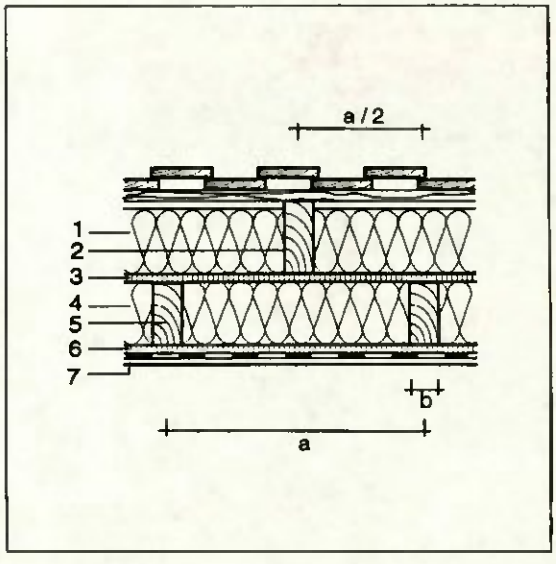
Bild 5-5: Regelquerschnitte für Wandkonstruktionen



	Außenwand W7			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Klinkerverblender	11,5	2000	0,96
2	"stehende" Luftschicht			
3	Holzwolleleichtbauplatte	3	480	0,09
4	Dämmung	14	20	0,04
5	Rippe 6/14, Abstand 62,5	14	600	0,13
6	Spanplatte	1,6	700	0,13
7	Gipskarton-Bauplatte	0,95	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,22 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,49	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,25	W/(m²K)

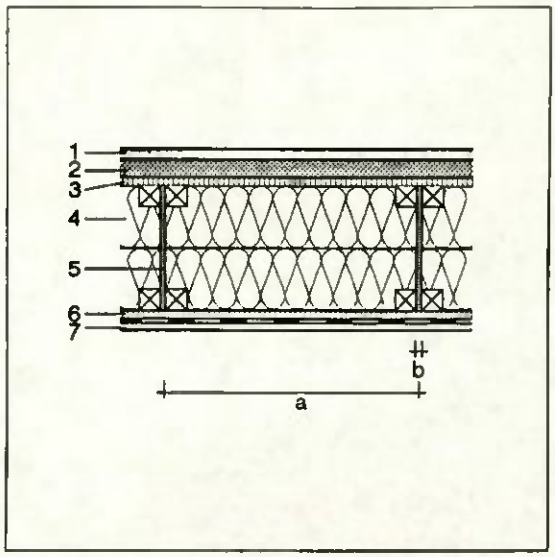


	Außenwand W8			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Klinkerverblender	11,5	2000	0,96
2	"stehende" Luftschicht			
3	Dämmung	6	20	0,04
4	Spanplatte	1,3	700	0,13
5	Dämmung	8	20	0,04
6	Rippe 6/8, Abstand 62,5	8	600	0,13
7	Spanplatte	1,3	700	0,13
8	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,24 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,35	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,25	W/(m²K)

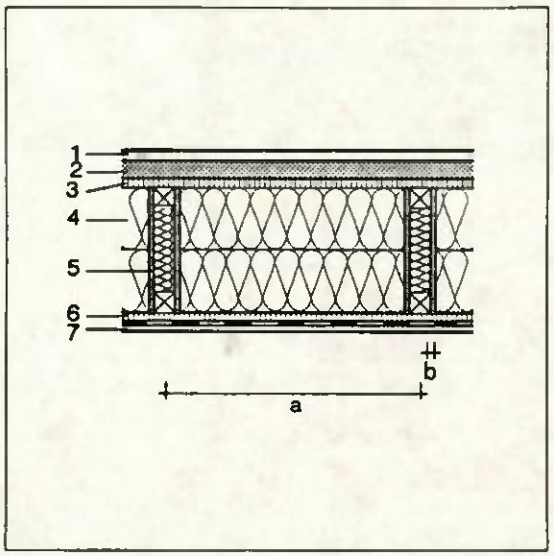


	Außenwand W9			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Dämmung	12	20	0,035
2	Außenständer 6/14	12	600	0,13
3	Spanplatte	1,6	700	0,13
4	Dämmung	12	20	0,04
5	Innenständer 6/12	12	600	0,13
6	Spanplatte	1,6	700	0,13
7	Gipskarton-Bauplatte	0,95	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,15 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,17	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 1,00	cm
			k_m = 0,15	W/(m²K)

Bild 5-6: Regelquerschnitte für Wandkonstruktionen



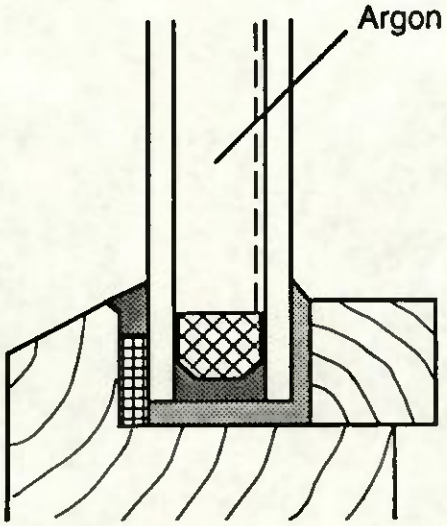
	Außenwand W10			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ, λ_m [W/(m·K)]
1	Außenputz	2	1800	0,87
2	Holzwolleleichtbauplatte	3,5	480	0,093
3	Spanplatte	1,6	700	0,13
4	Dämmung	24	20	0,04
5	Rippe 9/24, Abstand 62,5	24	600	0,063
6	Spanplatte	1,6	700	0,13
7	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,15 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,21	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 9,00	cm
			k_m = 0,16	W/(m²K)



	Außenwand W11			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ, λ_m [W/(m·K)]
1	Außenputz	2	1800	0,87
2	Holzwolleleichtbauplatte	3,5	480	0,093
3	Spanplatte	1,6	700	0,13
4	Dämmung	24	20	0,04
5	Rippe 2/24, Abstand 62,5	24	600	0,085
6	Spanplatte	1,6	700	0,13
7	Gipskarton-Bauplatte	1,25	900	0,21
	k_{Gefach} = 0,15 W/(m²K)		k_{Rippe} = 0,27	W/(m²K)
	a = 62,50 cm		b = 6,00	cm
			k_m = 0,16	W/(m²K)

Bild 5-7: Regelquerschnitte für Wandkonstruktionen

Wärmeschutzverglasung



k_V = 1,3 W /(m² K)

k_F = 1,4 W /(m² K)

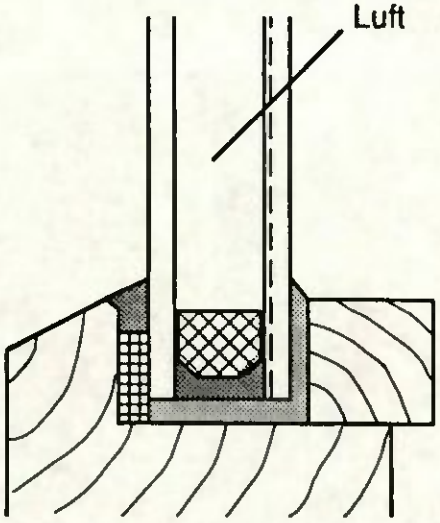
g_F = 0,62

$k_{eq,F,Nord}$ = 0,81 W /(m² K)

$k_{eq,F,Ost/West}$ = 0,38 W /(m² K)

$k_{eq,F,Süd}$ = - 0,09 W /(m² K)

Energiesparverglasung



k_V = 1,9 W /(m² K)

k_F = 1,8 W /(m² K)

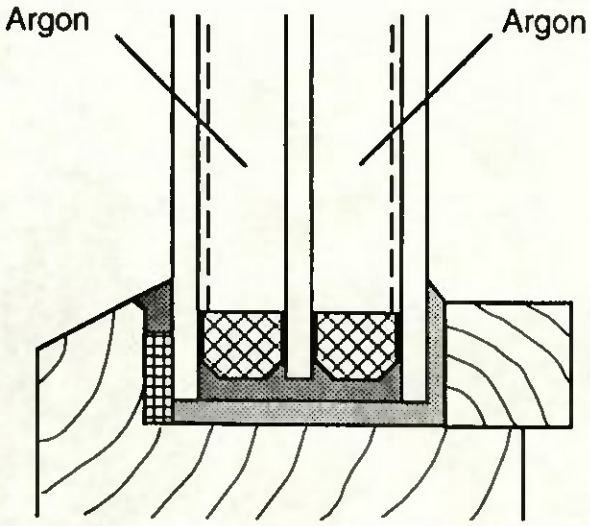
g_F = 0,72

$k_{eq,F,Nord}$ = 1,12 W /(m² K)

$k_{eq,F,Ost/West}$ = 0,61 W /(m² K)

$k_{eq,F,Süd}$ = 0,07 W /(m² K)

Superglazing



k_V = 0,80 W /(m² K)

k_F = 1,1 W /(m² K)

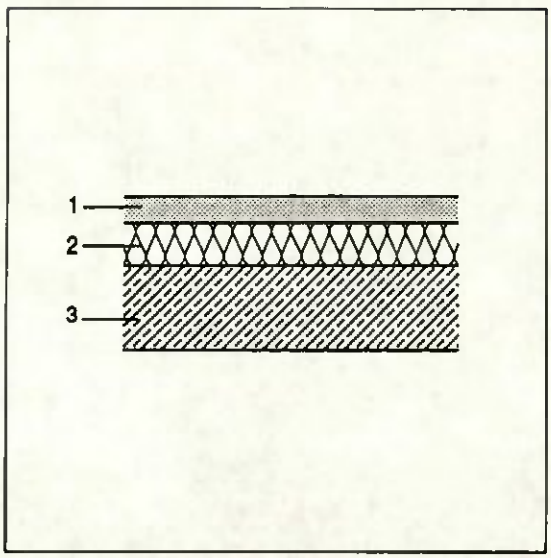
g_F = 0,51

$k_{eq,F,Nord}$ = 0,62 W /(m² K)

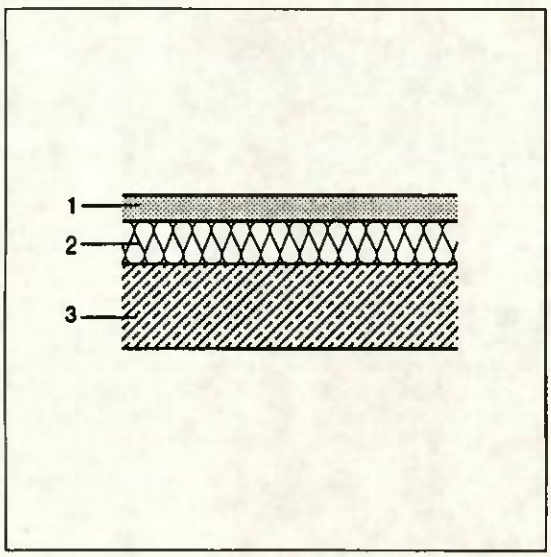
$k_{eq,F,Ost/West}$ = 0,26 W /(m² K)

$k_{eq,F,Süd}$ = - 0,12 W /(m² K)

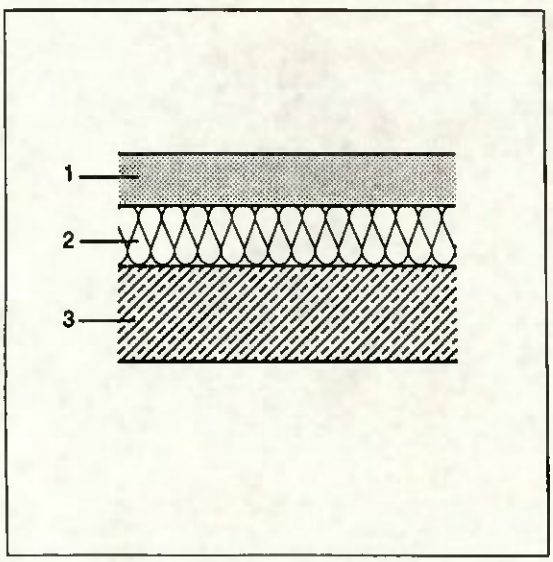
Bild 5-8: Fensterkonstruktionen



	Kellerdecke K1			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	7	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1
			k =	0,45 W/(m²K)



	Kellerdecke K2			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	5	2000	1,4
2	Dämmung	8	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1
			k =	0,41 W/(m²K)



	Kellerdecke K3			
	Baustoff	s [cm]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]
1	Estrich	10	2000	1,4
2	Dämmung	12	20	0,04
3	Stahlbeton	16	2400	2,1
			k =	0,29 W/(m²K)

Bild 5-9: Regelquerschnitte für Kellerdecken

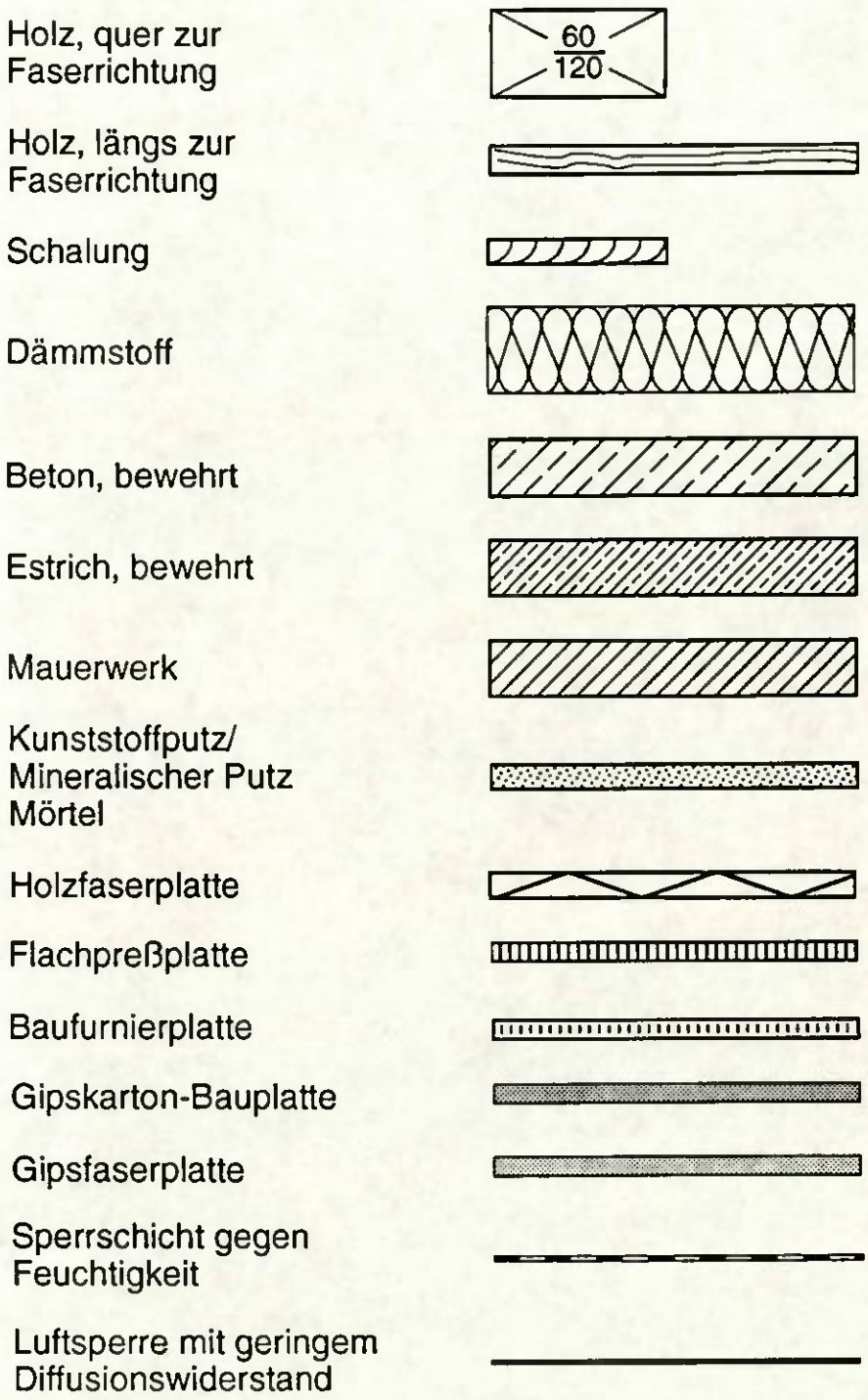


Bild 5.5-1: Schraffuren für die Bauteilanschlüsse in Kapitel 5.5.1 und 5.5.2.

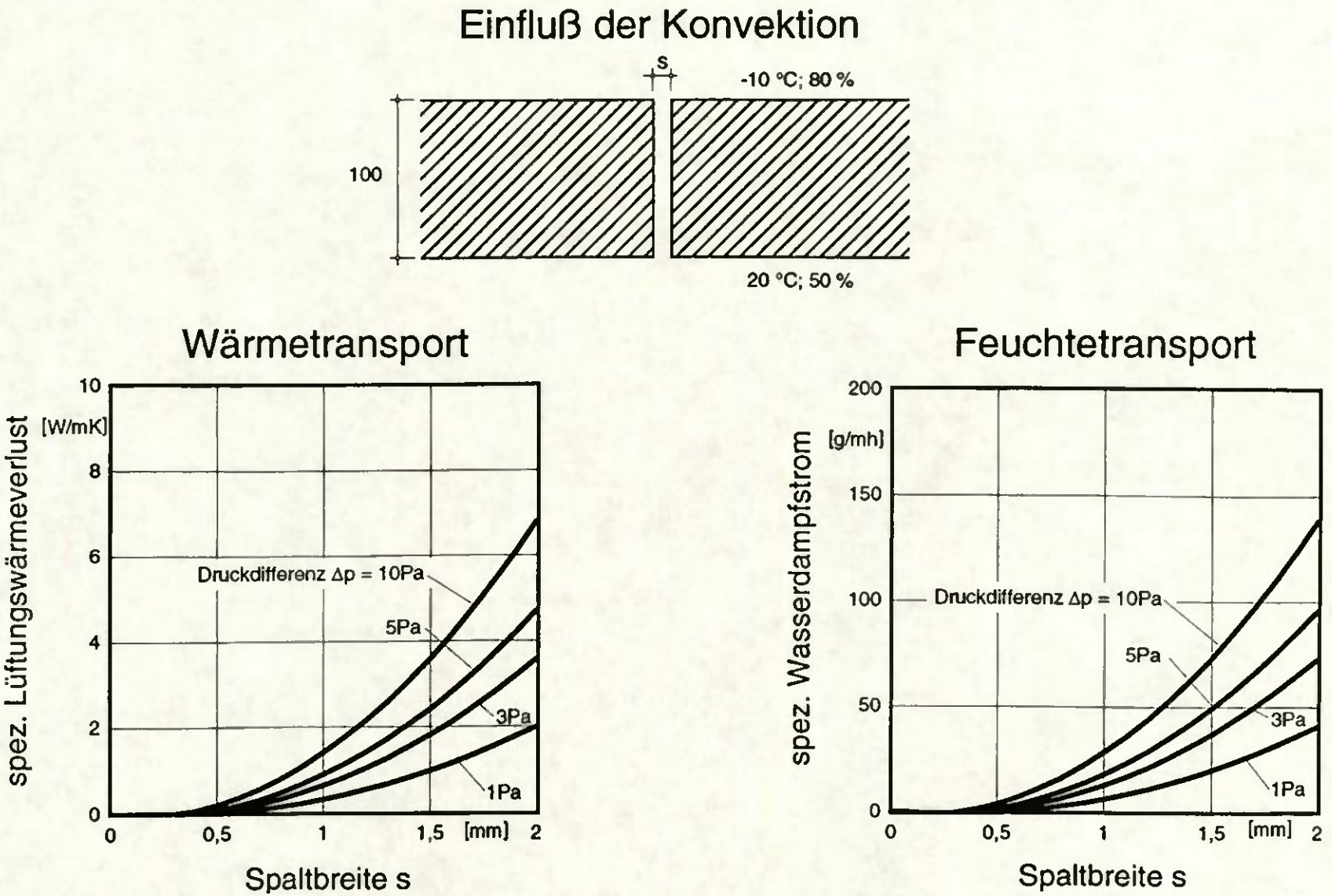


Bild 5.5.1-1: Konvektiver Wärme- und Feuchtetransport durch einen Bauteilspalt. Das linke Diagramm stellt den spezifischen Lüftungswärmeverlust und das rechte Diagramm den spezifischen Wasserdampfstrom über der Spaltbreite in Abhängigkeit von der wirksamen Druckdifferenz dar.

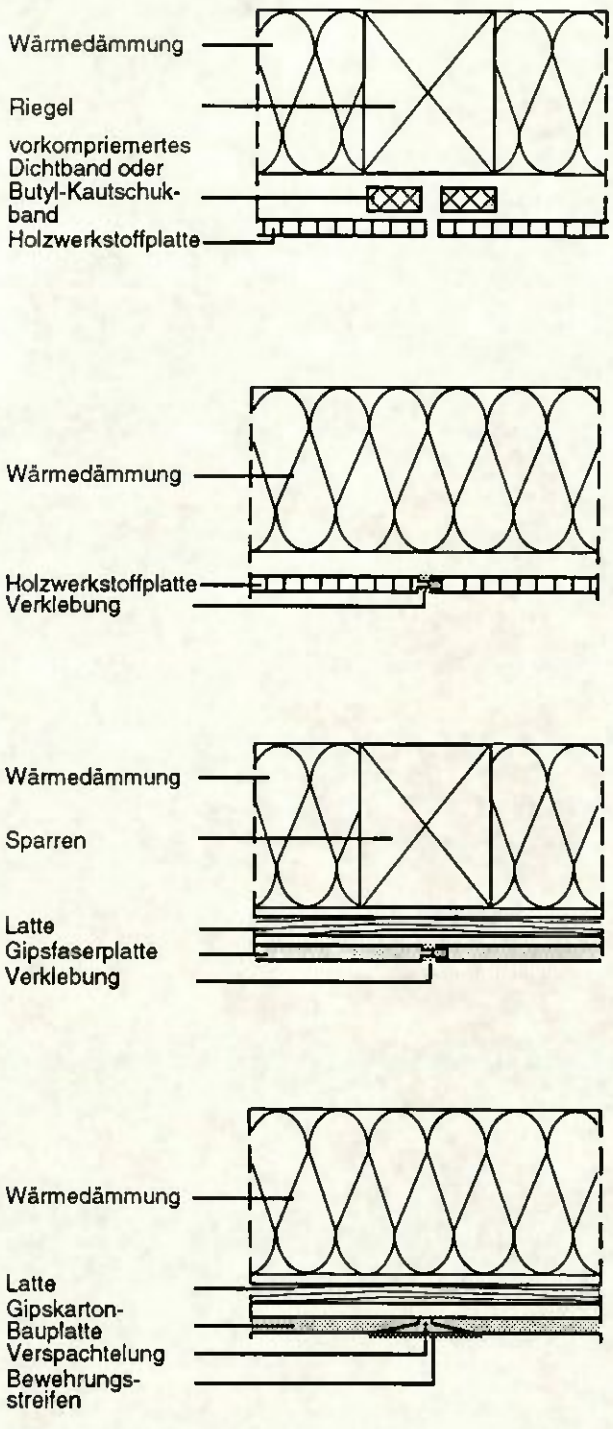


Bild 5.5.1-2: Ausführungsbeispiele für winddichte Stöße bei Holzwerkstoffen, Gipsfaser und Gipskarton-Bauplatten.

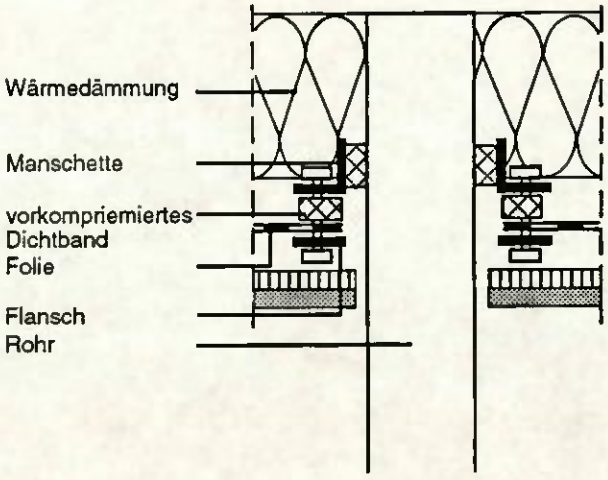


Bild 5.5.1-3: Ausführungsbeispiel für eine Rohrdurchdringung in der Dachkonstruktion.

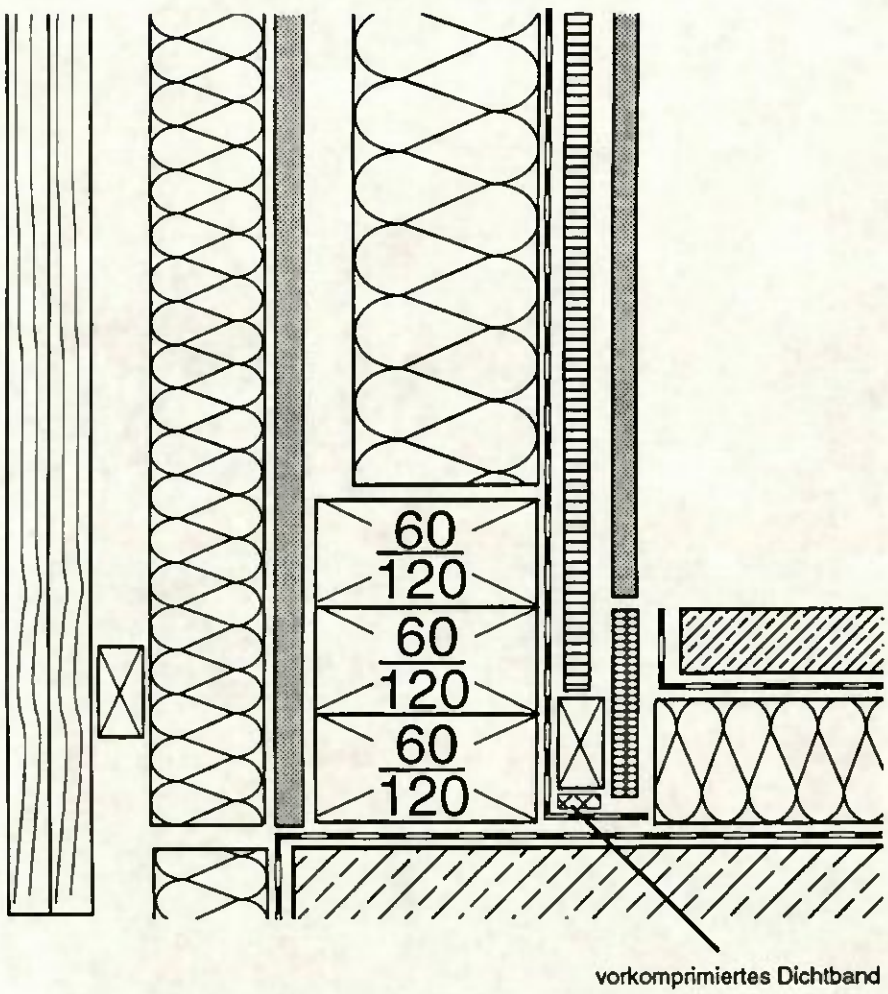


Bild 5.5.1-4: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Sockeleinbindung.

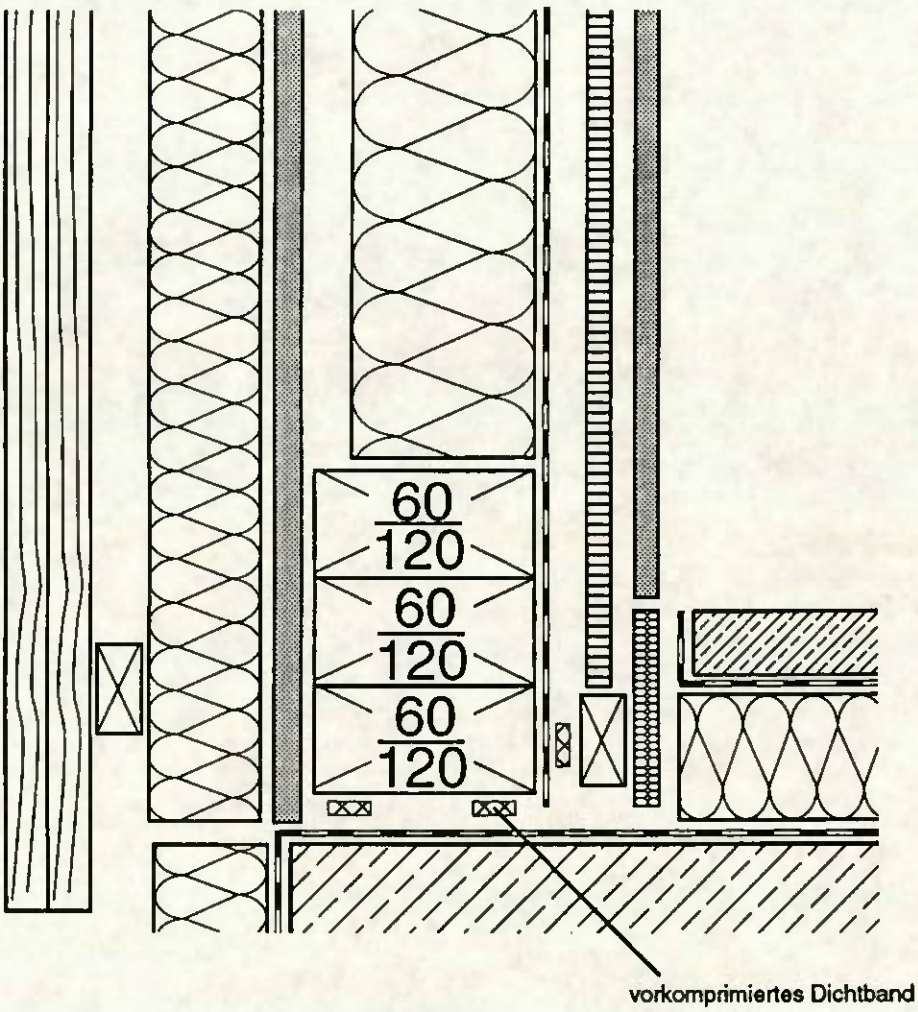


Bild 5.5.1-5: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Sockeleinbindung.

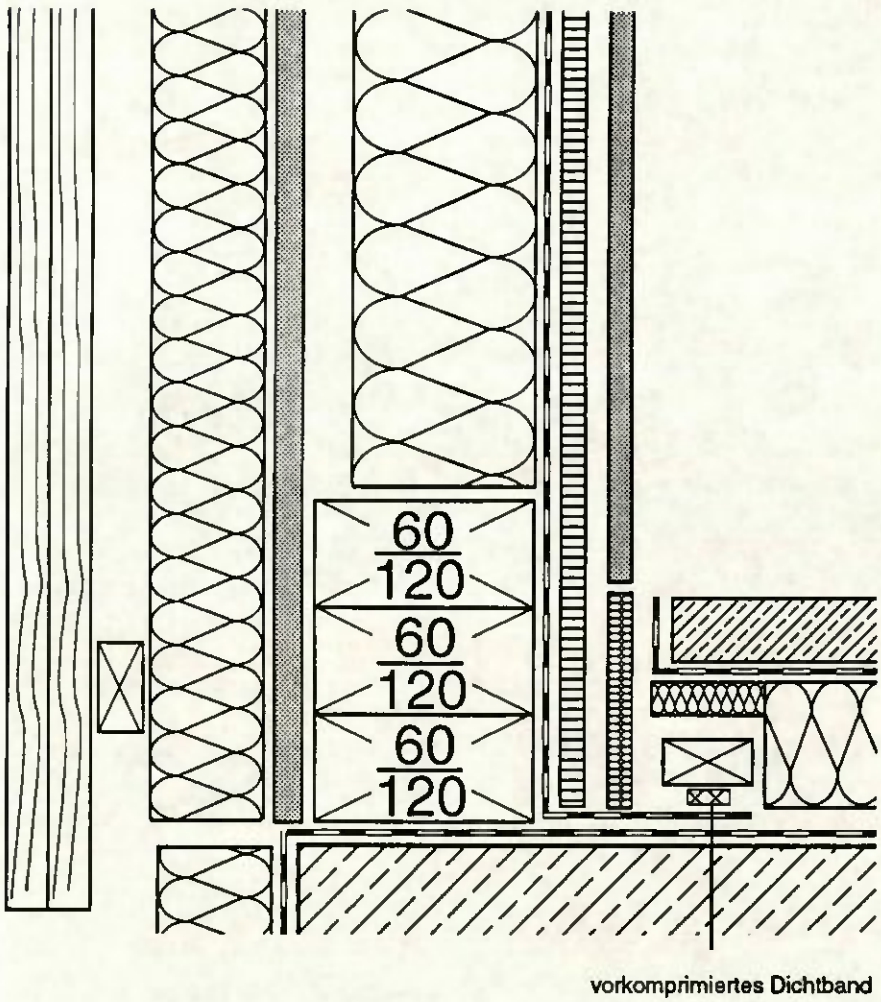


Bild 5.5.1-6: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Sockeleinbindung.

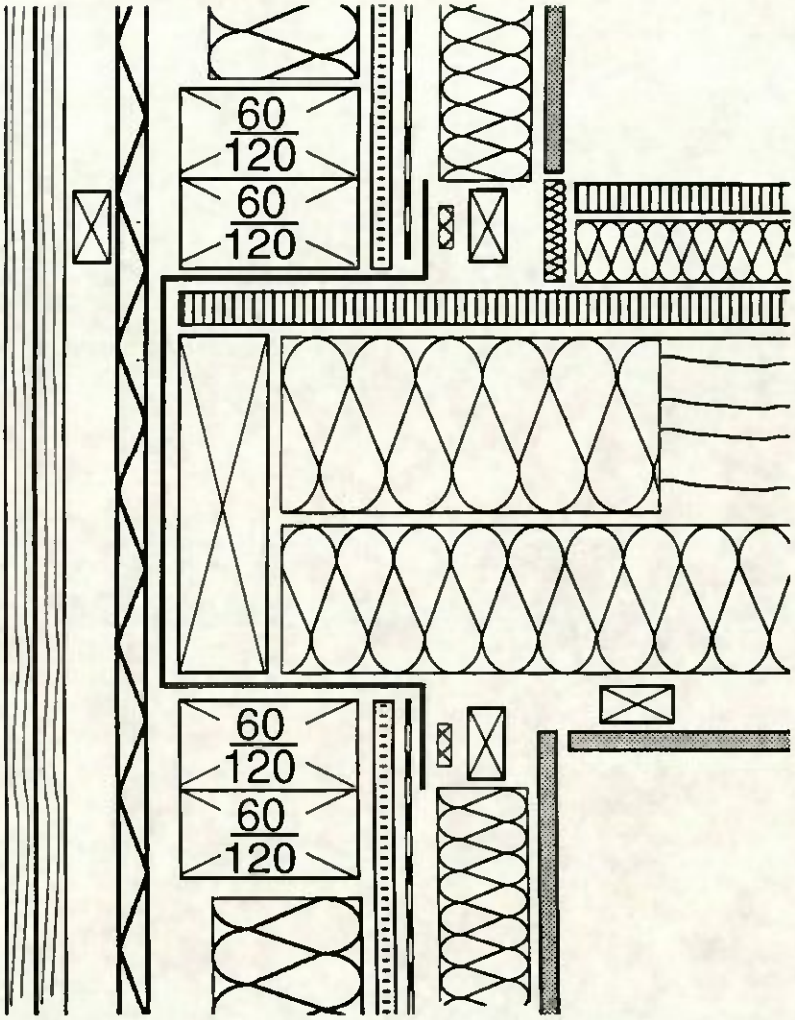


Bild 5.5.1-7: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Geschoßdeckeneinbindung.

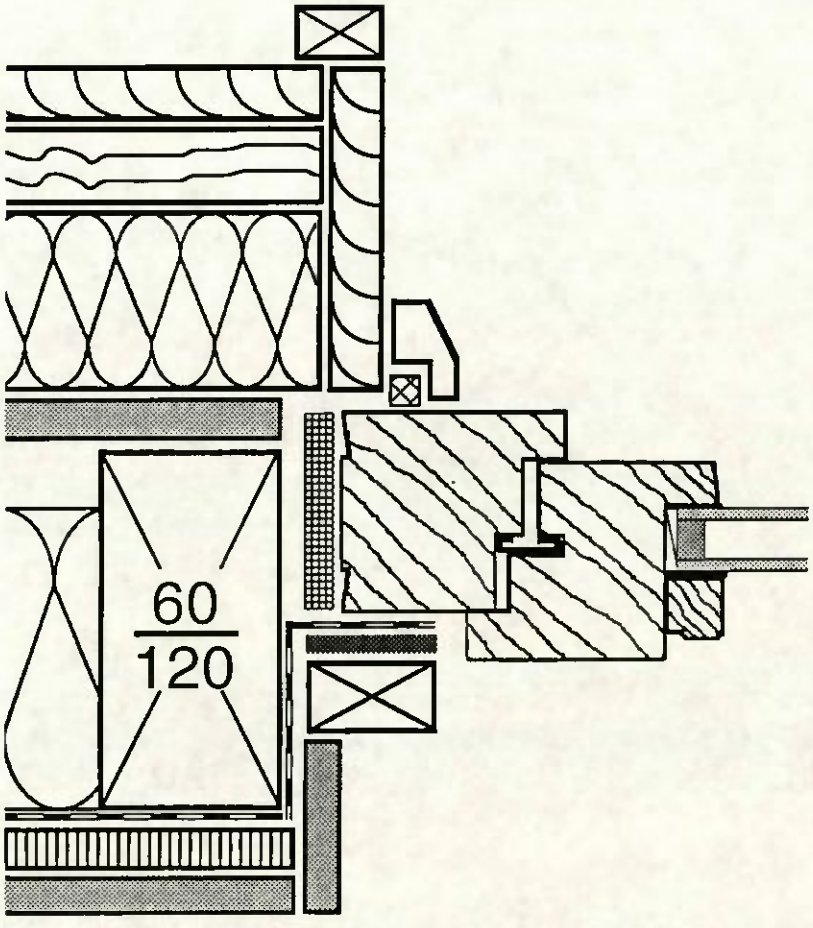


Bild 5.5.1-8: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Fensterlaibung.

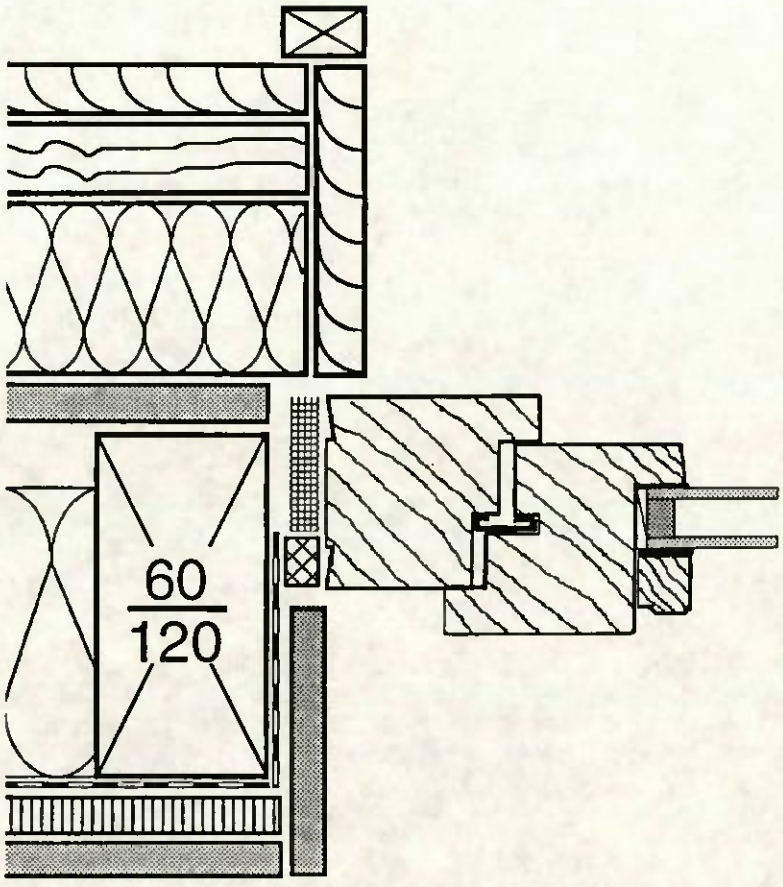


Bild 5.5.1.-9: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Fensterlaibung.

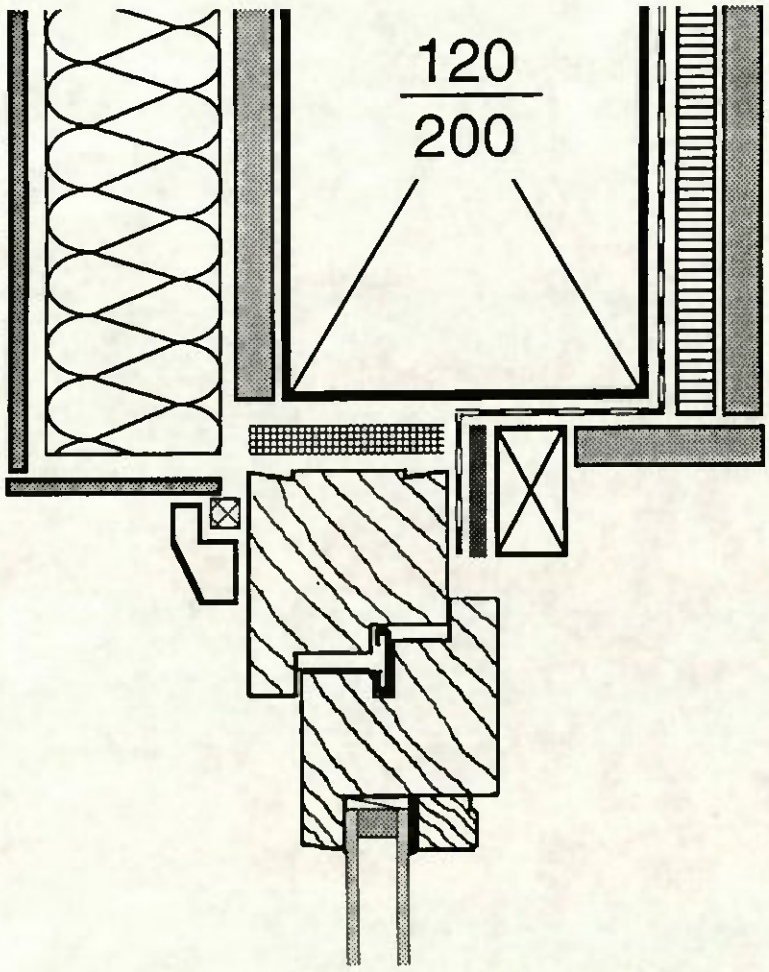


Bild 5.5.1-10: Ausführungsbeispiel für einen winddichten Fenstersturz.

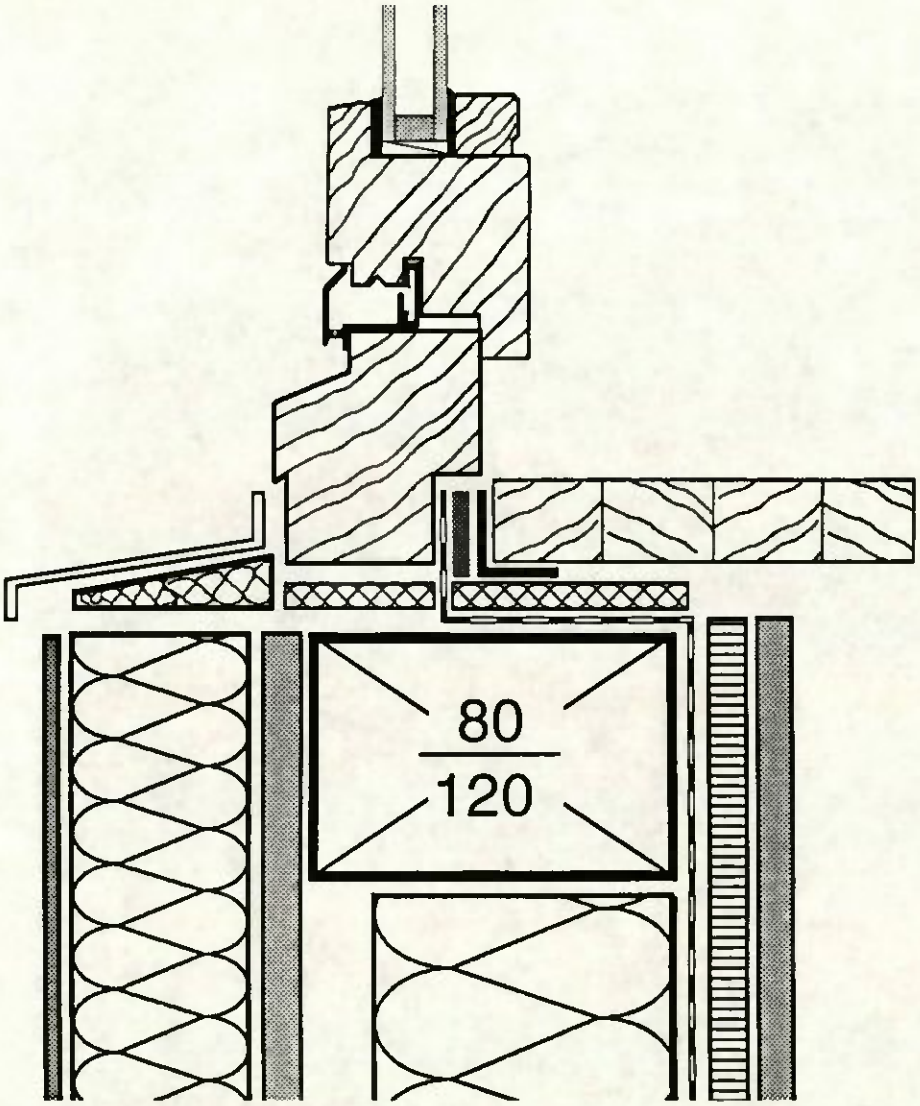


Bild 5.5.1-11: Ausführungsbeispiel für eine winddichte Fensterbrüstung.

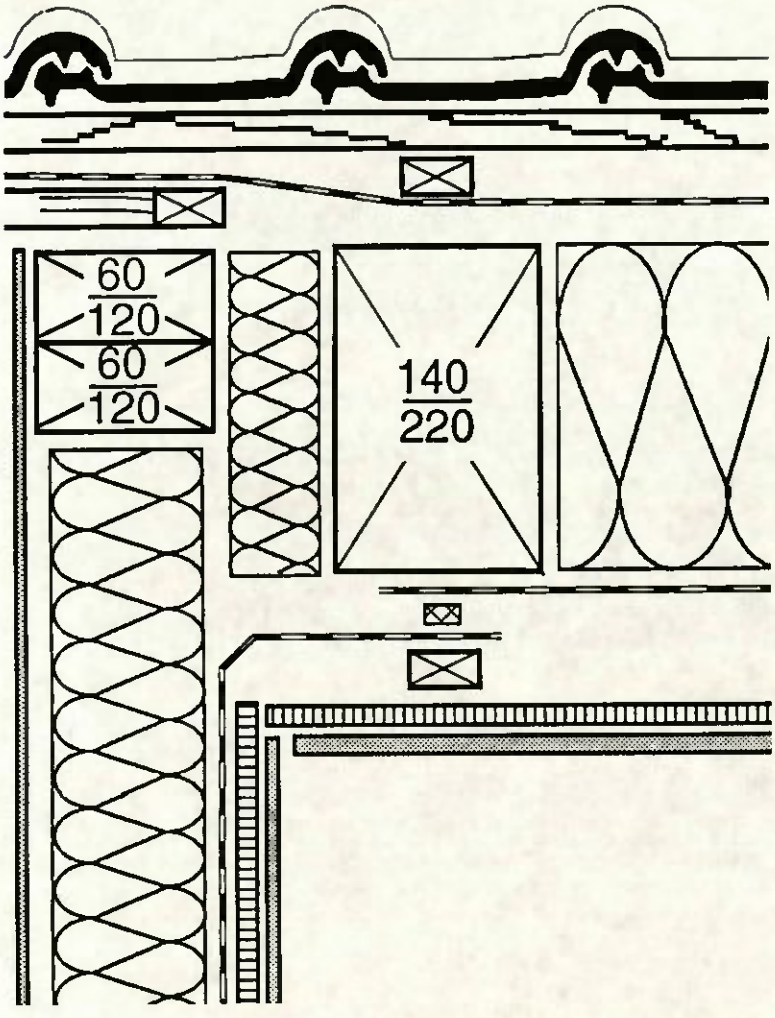


Bild 5.5.1-12: Ausführungsbeispiel für einen winddichten Ortgang.

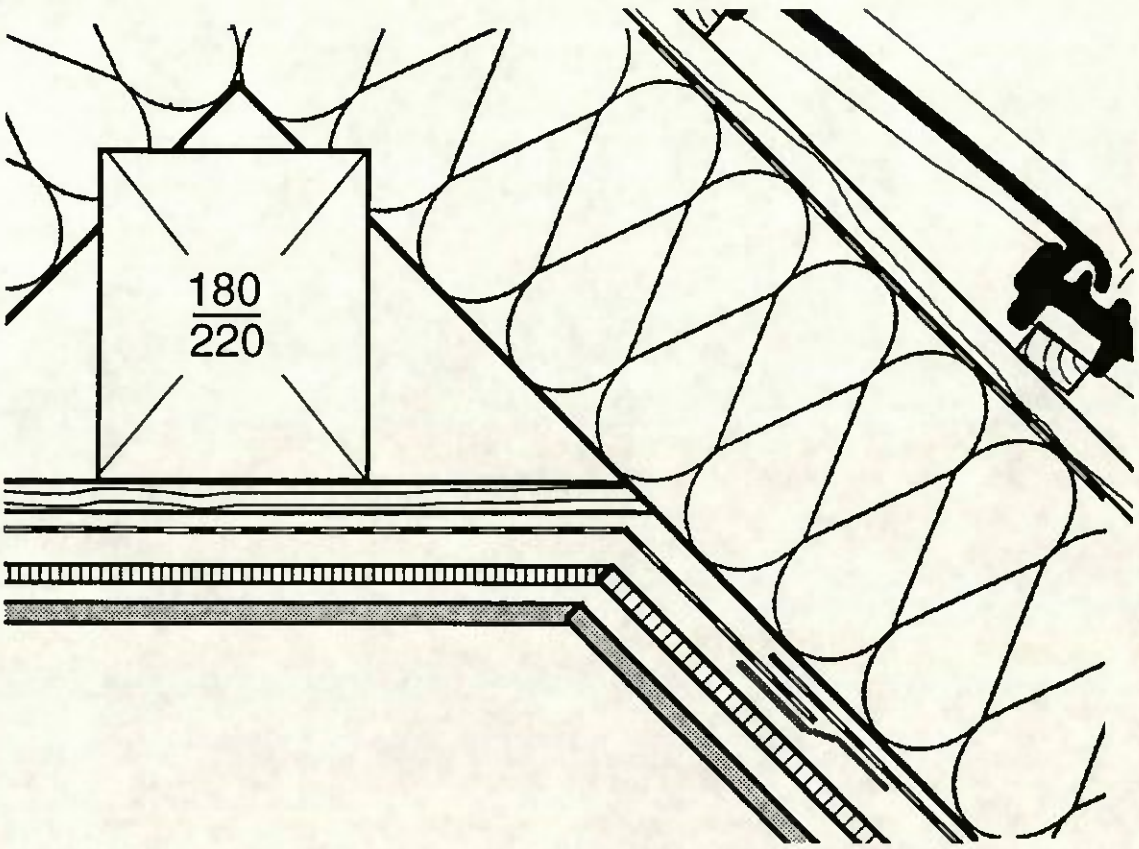


Bild 5.5.1-13: Ausführungsbeispiel für einen winddichten First.

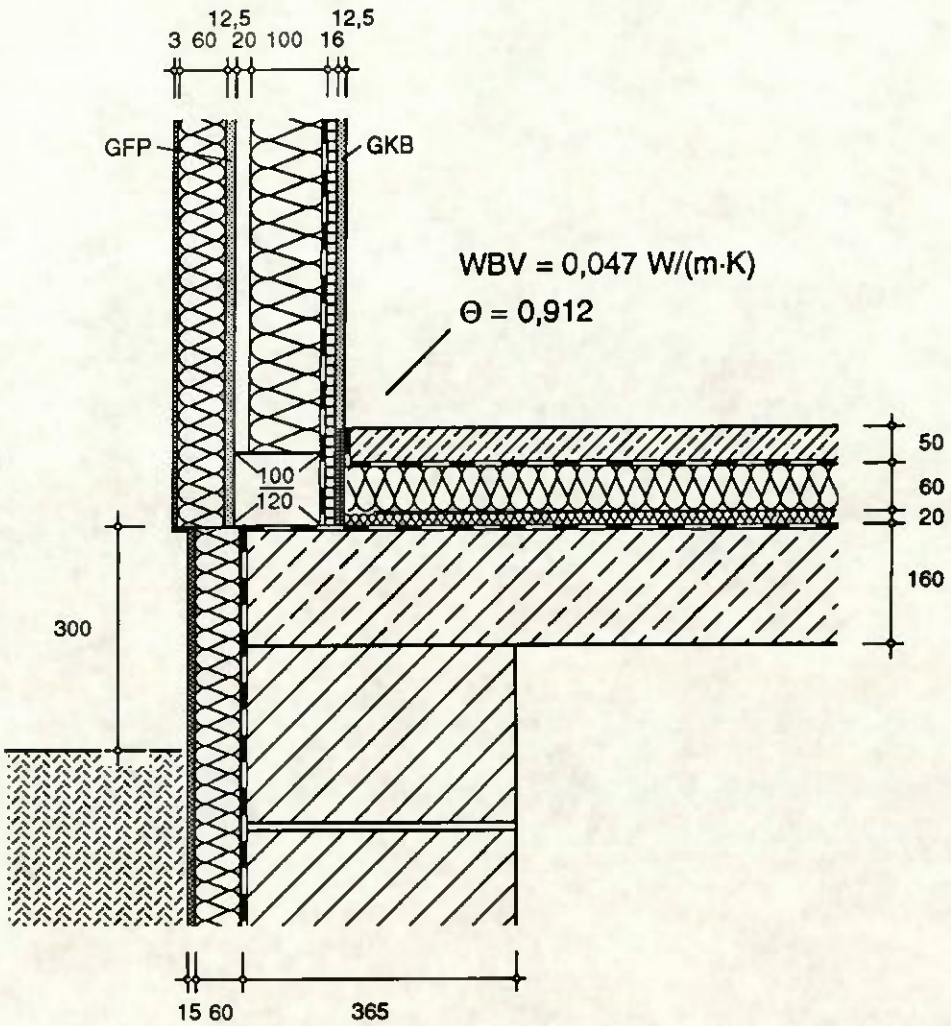


Bild 5.5.2-1: Sockelanschluß für die Tafelbauart.

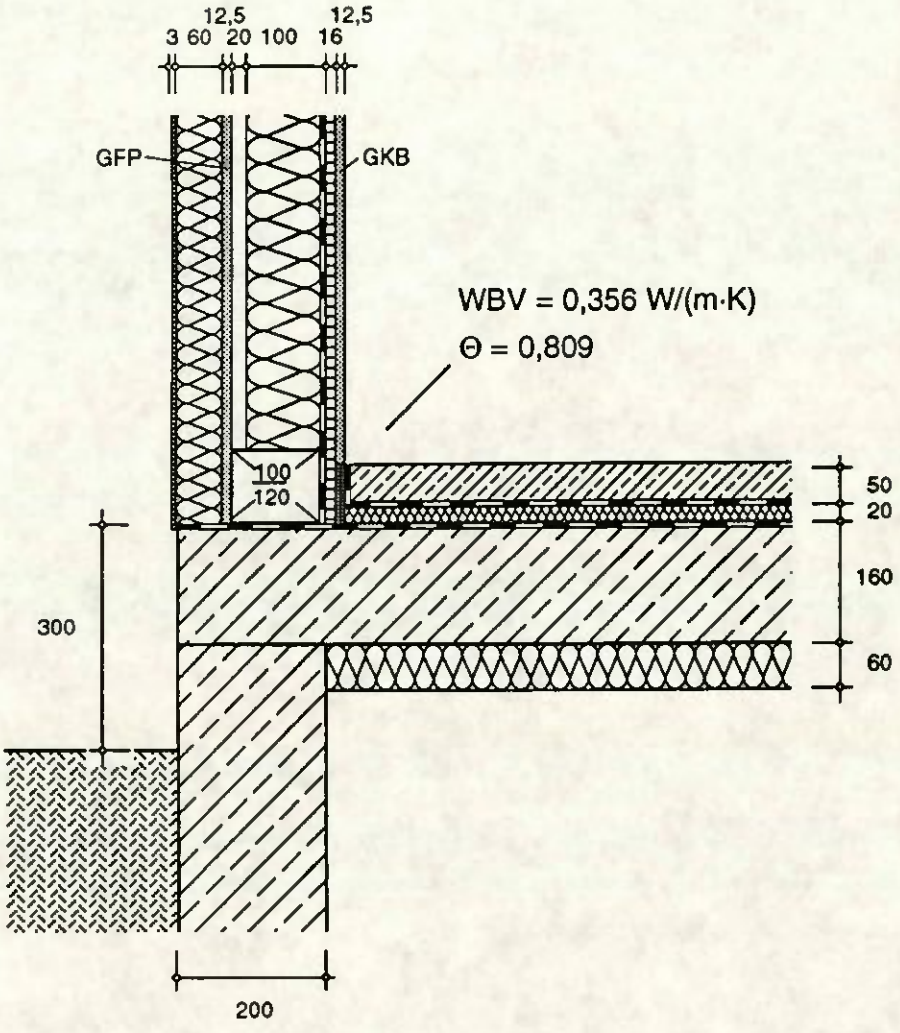


Bild 5.5.2-2: Sockelanschluß für die Tafelbauart.

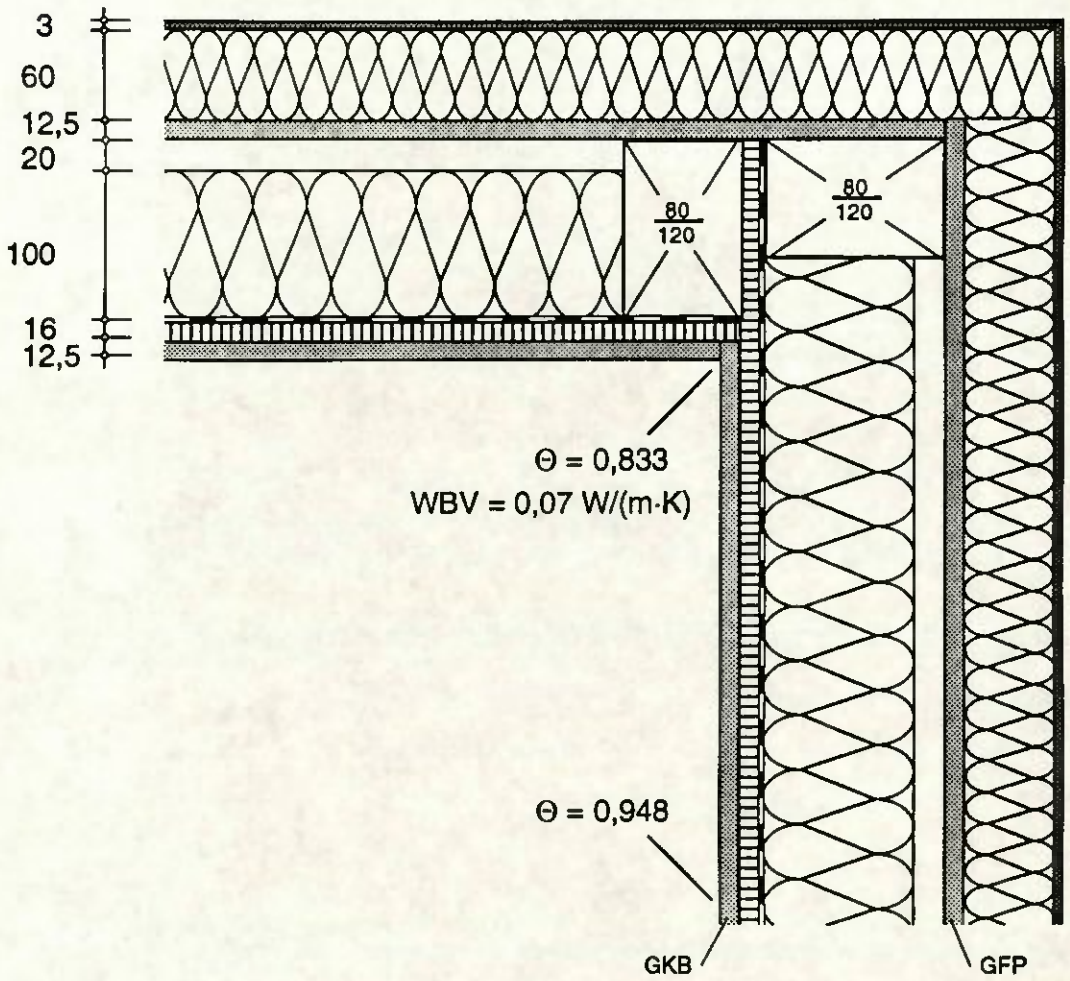


Bild 5.5.2-3: Außenecke für die Tafelbauart.

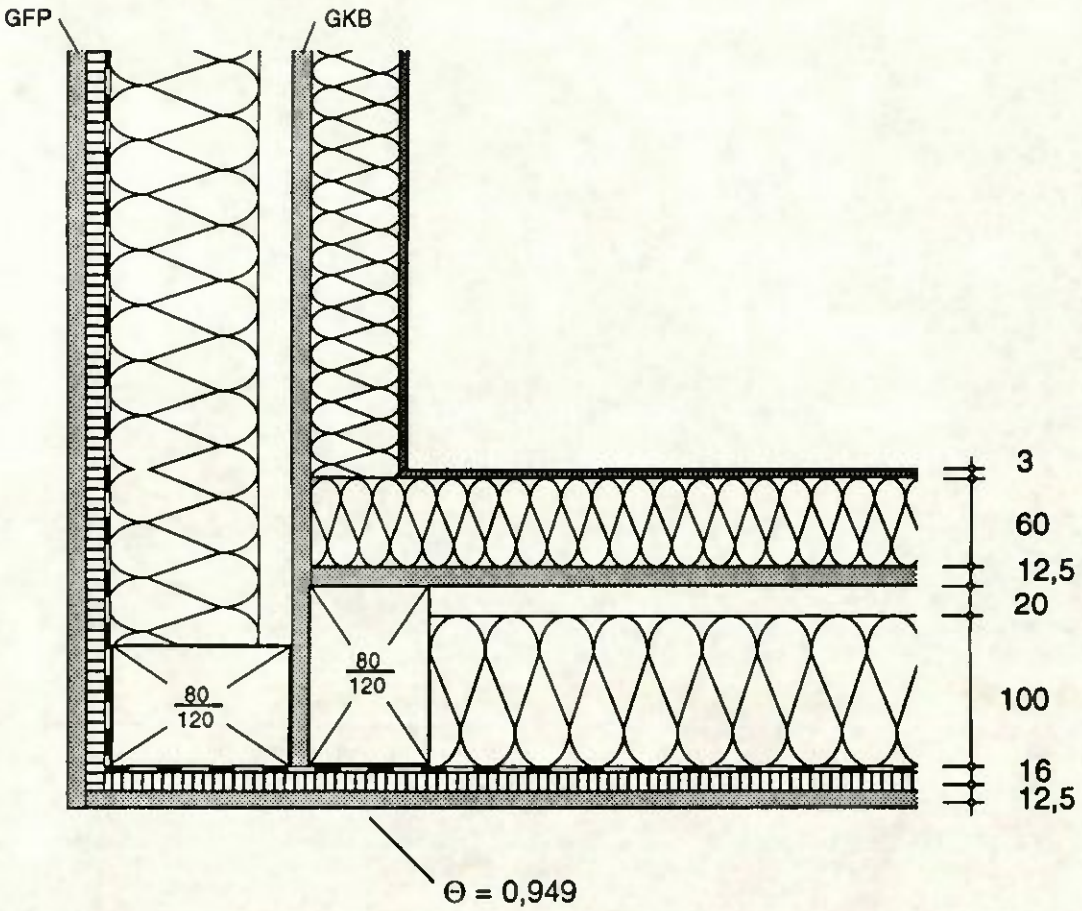


Bild 5.5.2-4: Innenecke für die Tafelbauart.

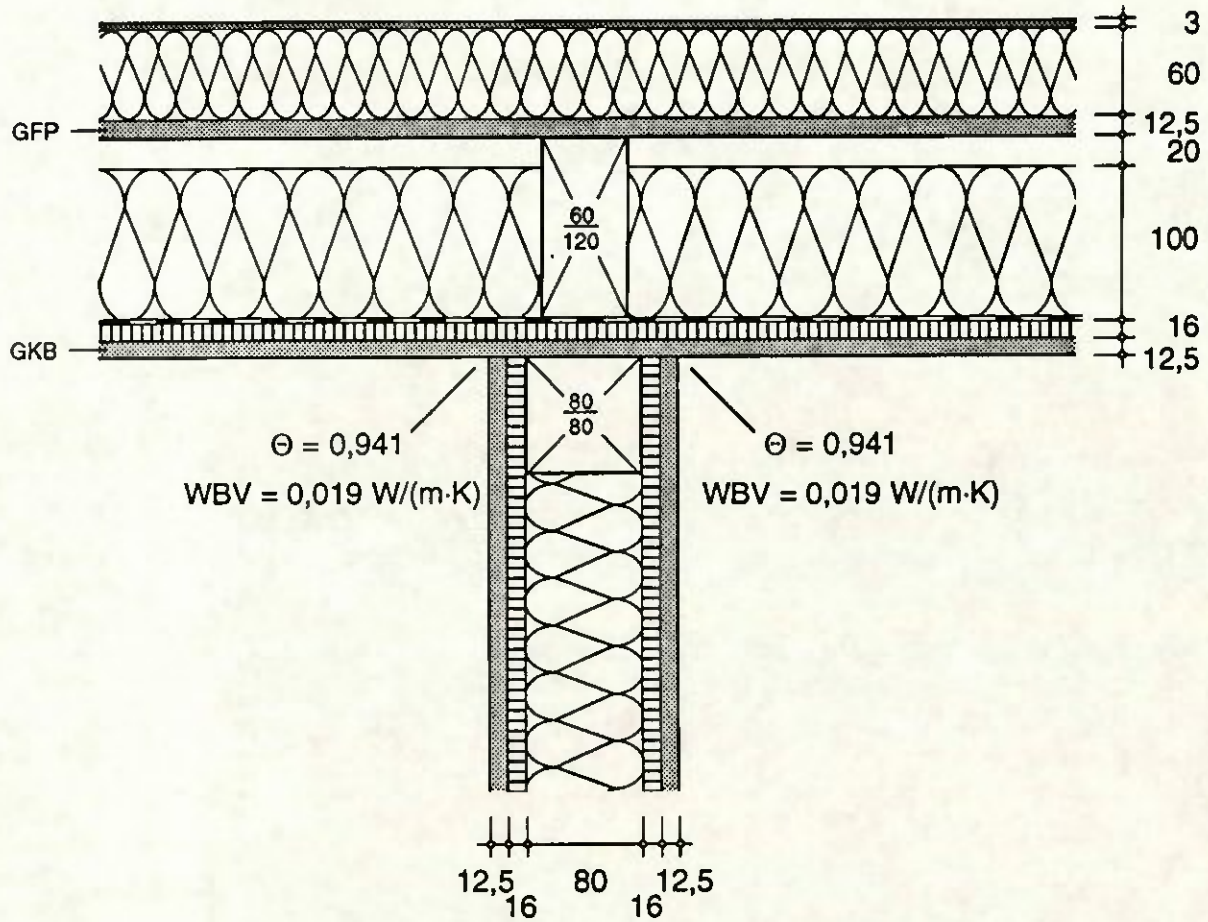


Bild 5.5.2-5: Wandanschluß innen für die Tafelbauart.

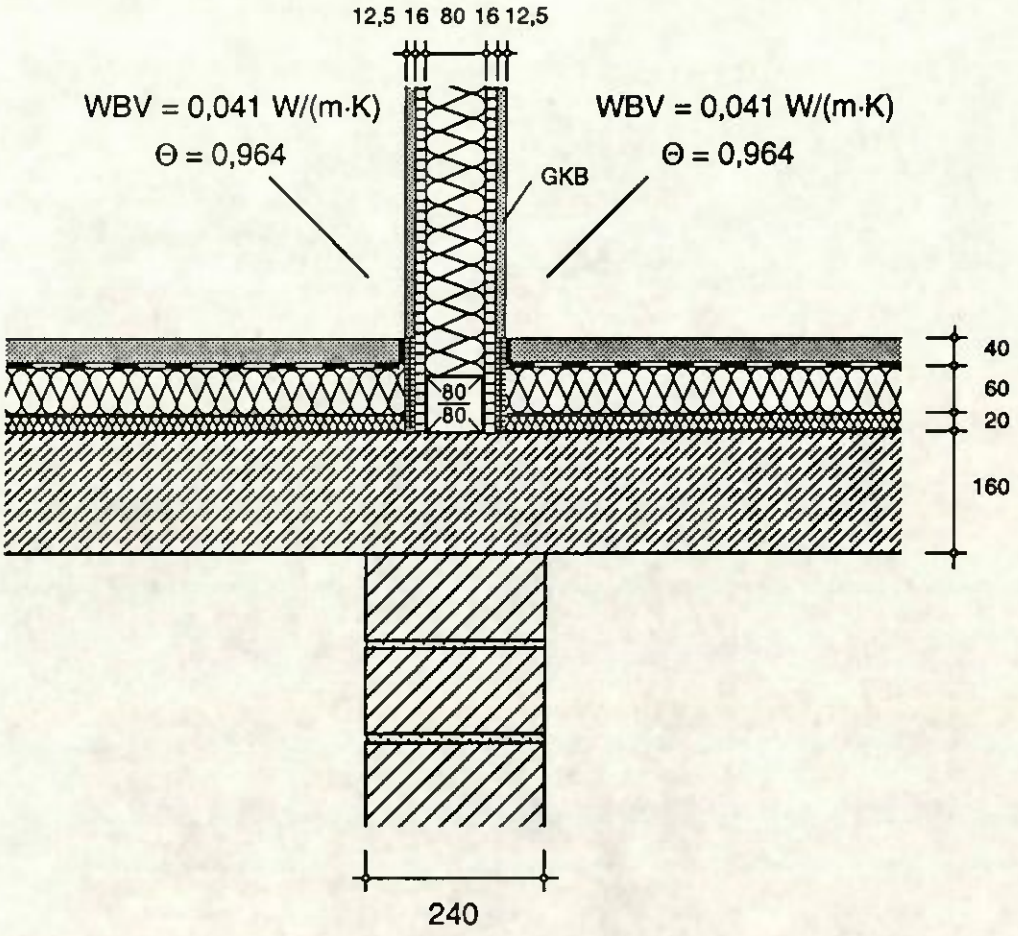


Bild 5.5.2-6: Anschluß Innenwand - Kellerdecke bei einem unbeheizten Keller für die Tafelbauart.

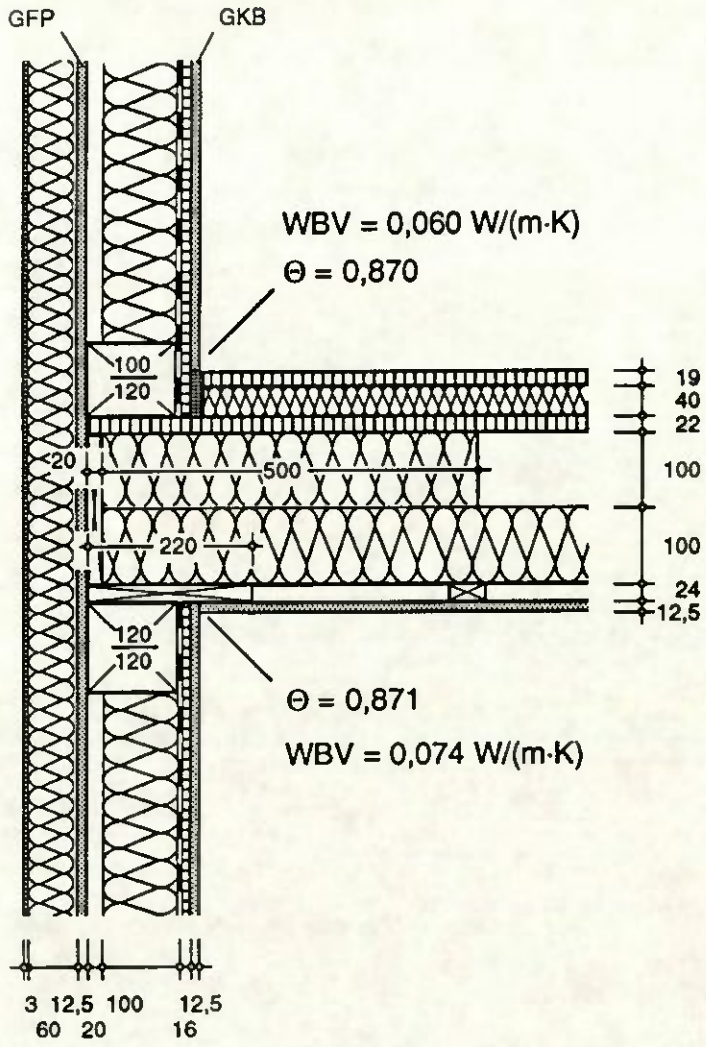


Bild 5.5.2-7: Anschluß der Geschoßdecke an die Außenwand für die Tafelbauart.

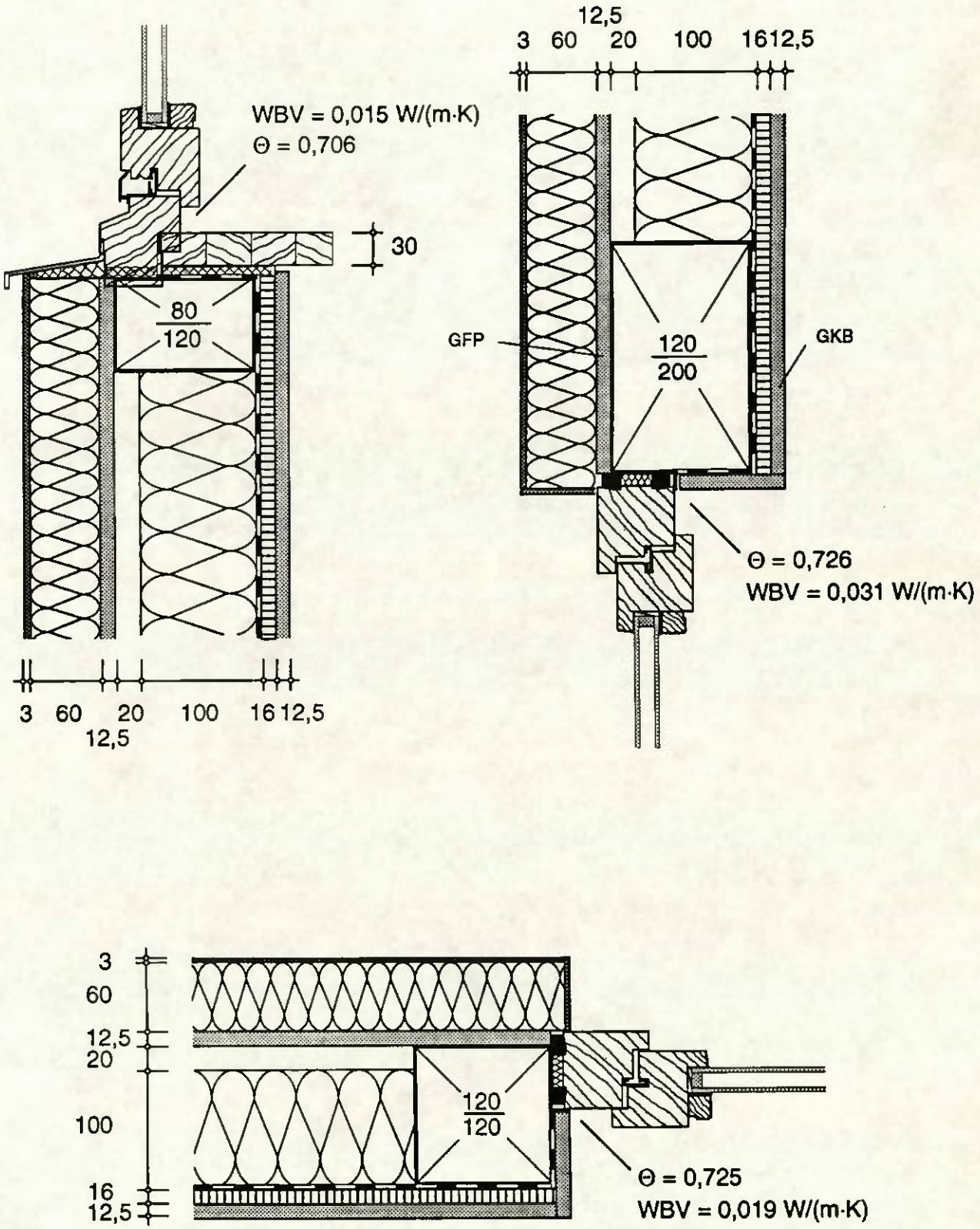


Bild 5.5.2-8: Fensterbrüstung, -laibung, -sturz für die Tafelbauart.

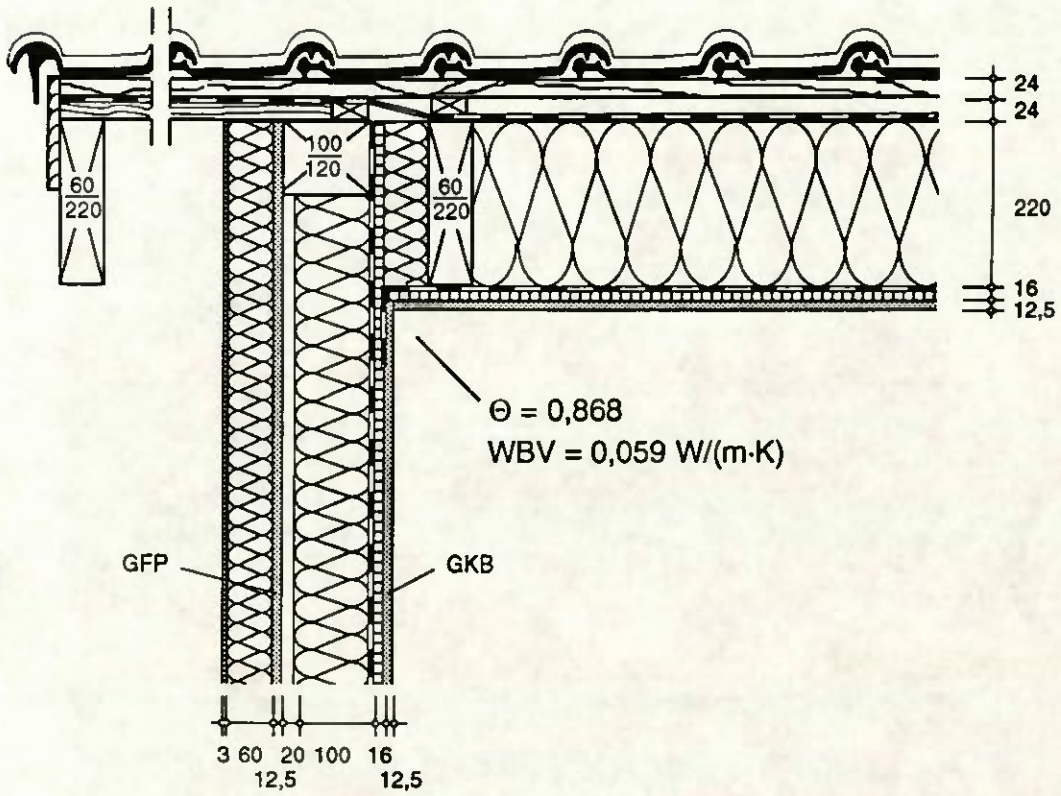


Bild 5.5.2-9: Ausbildung des Ortgangs bei der Tafelbauart.

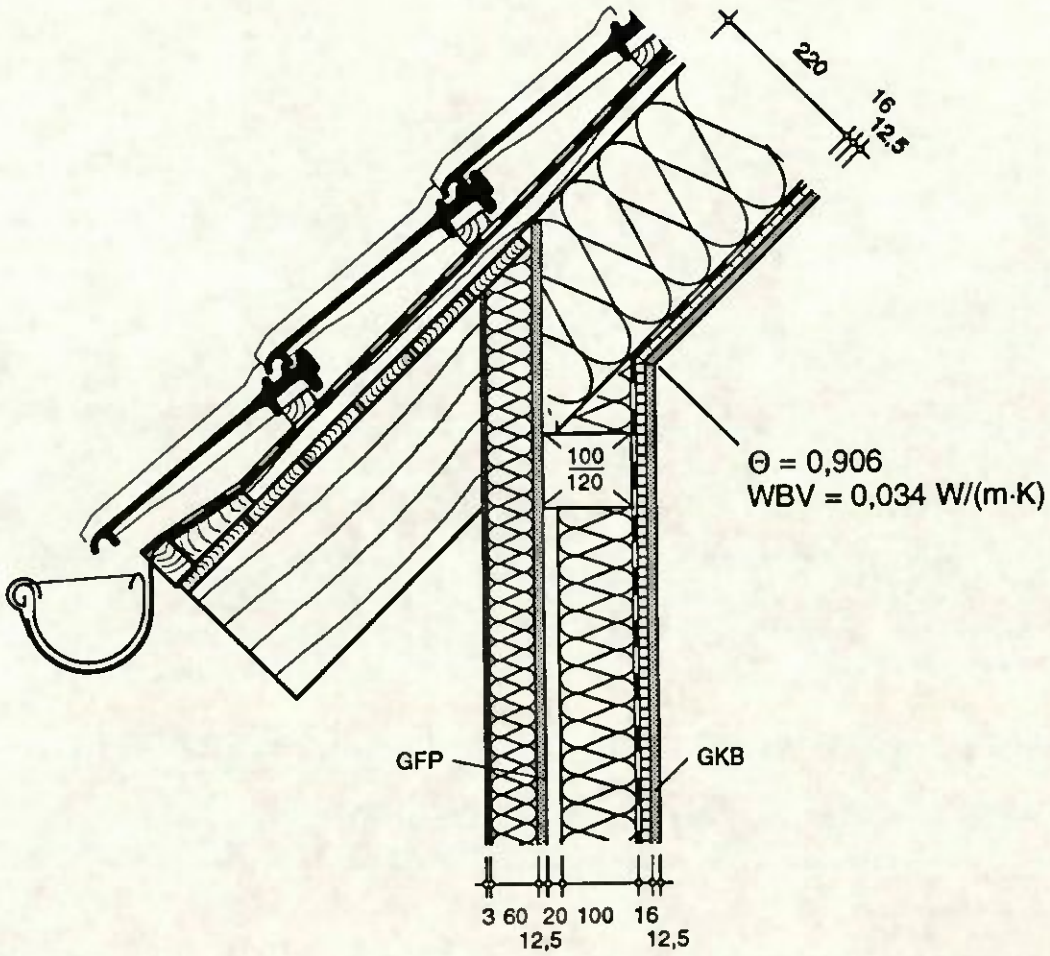


Bild 5.5.2-10: Ausbildung der Traufe bei der Tafelbauart.

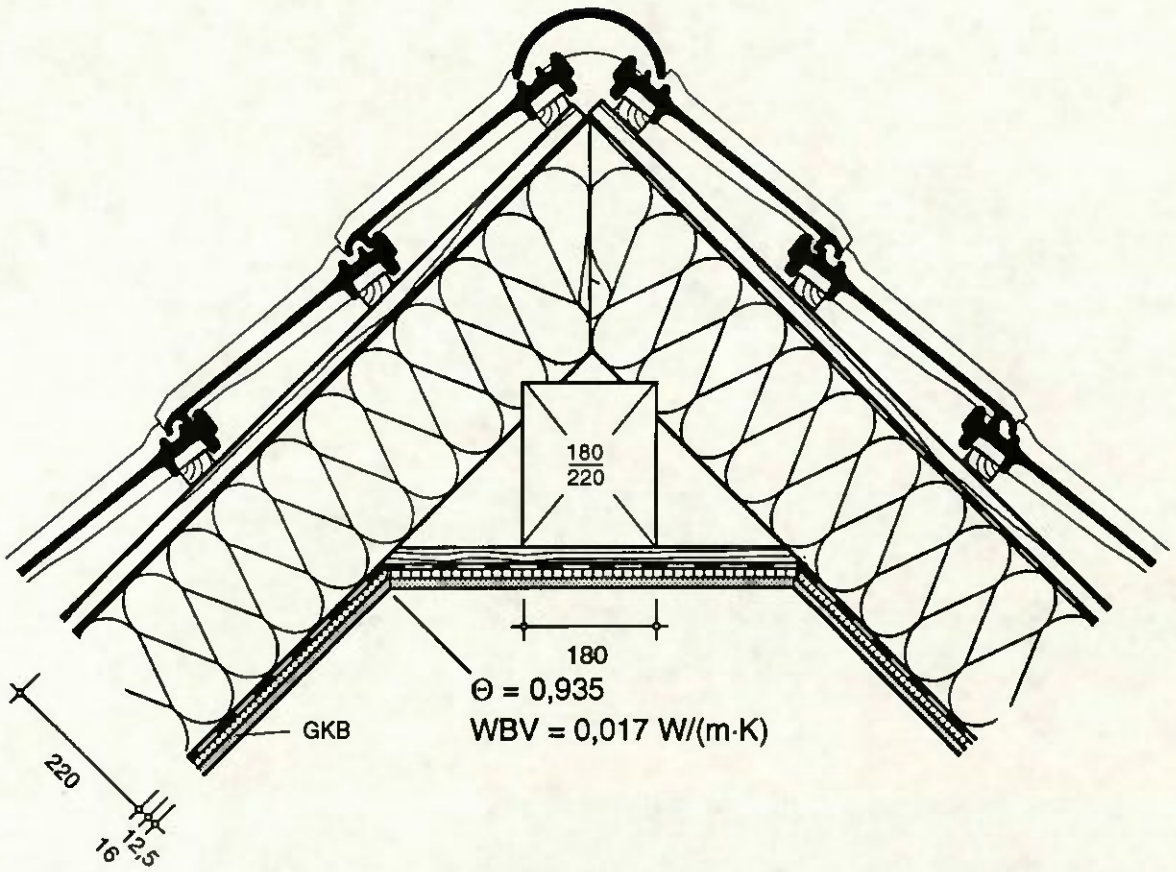


Bild 5.5.2-11: Ausbildung der First bei der Tafelbauart.

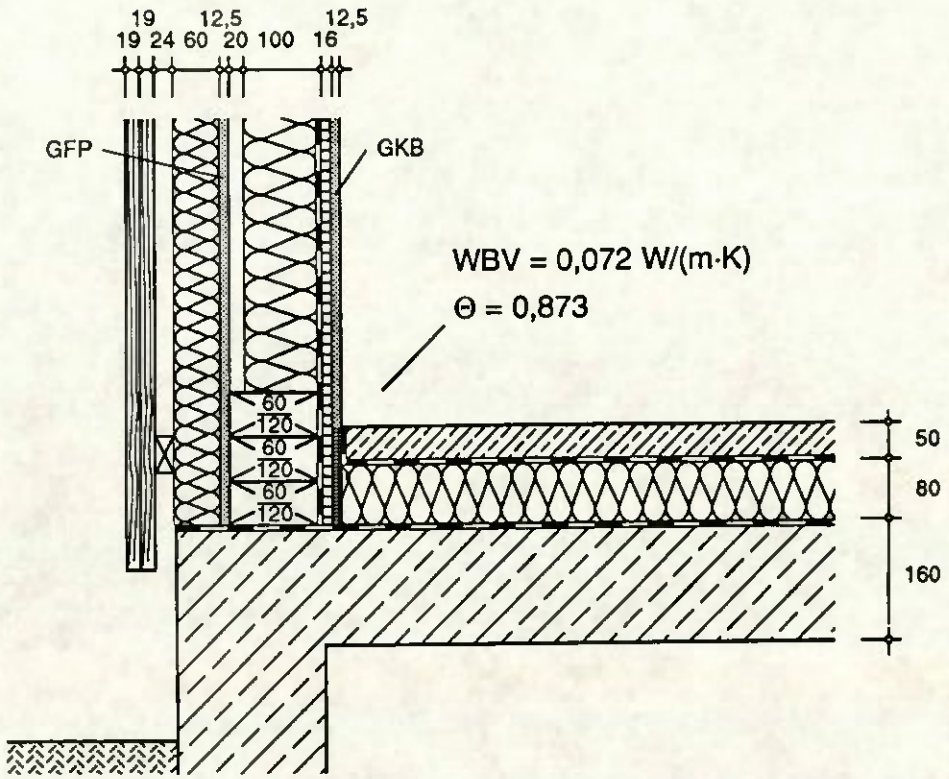


Bild 5.5.2-12: Sockelanschluß für die Skelettbauart außengedämmt.

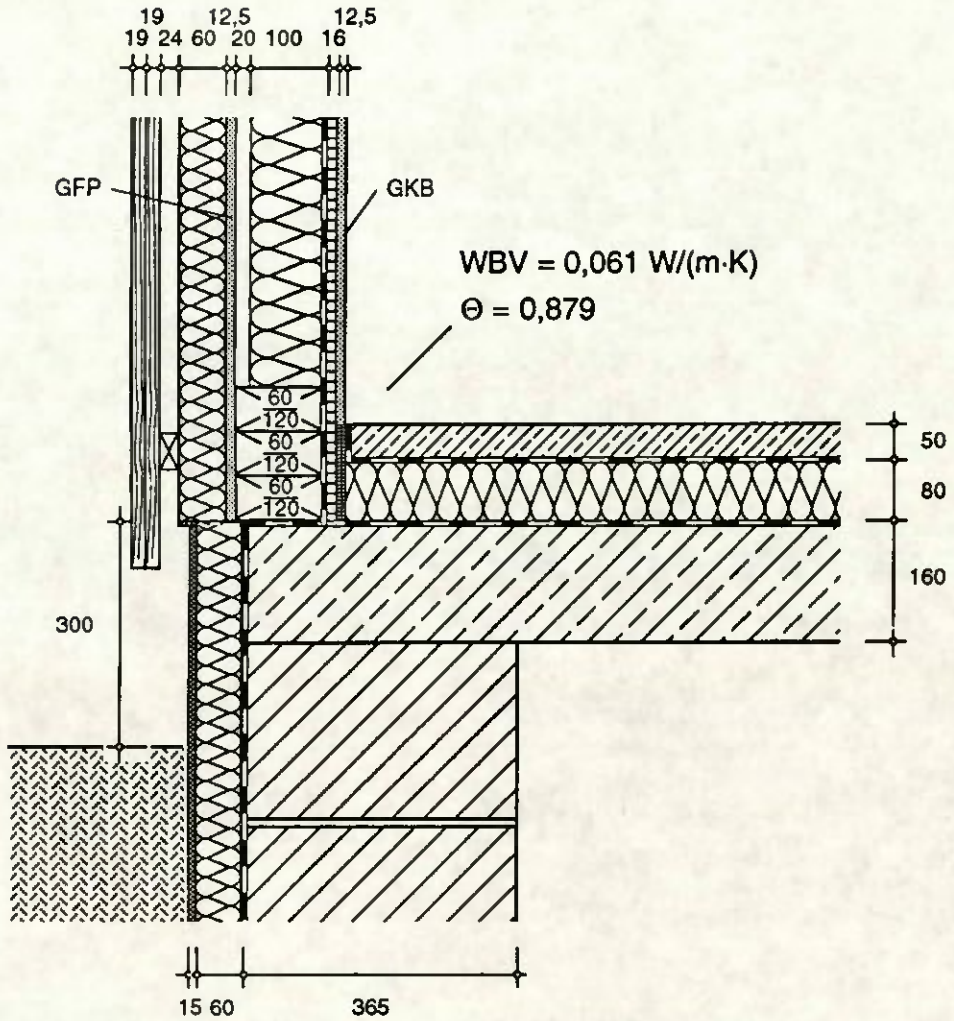


Bild 5.5.2-13: Sockelanschluß für die Skelettbauart außengedämmt.

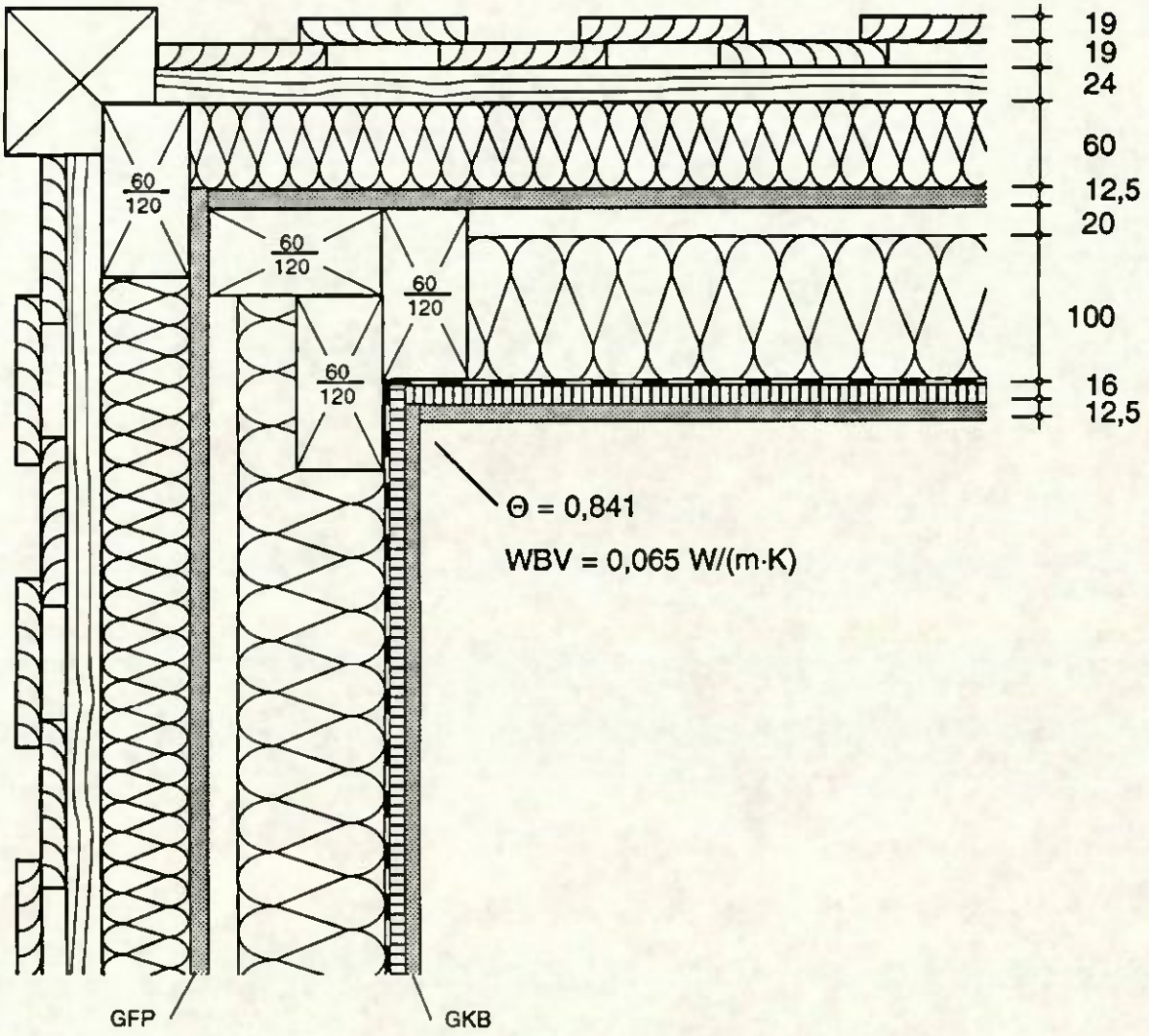


Bild 5.5.2-14: Außenecke mit Außendämmung und Deckleistenschalung bei der Skelettbauart im Maßstab 1:5.

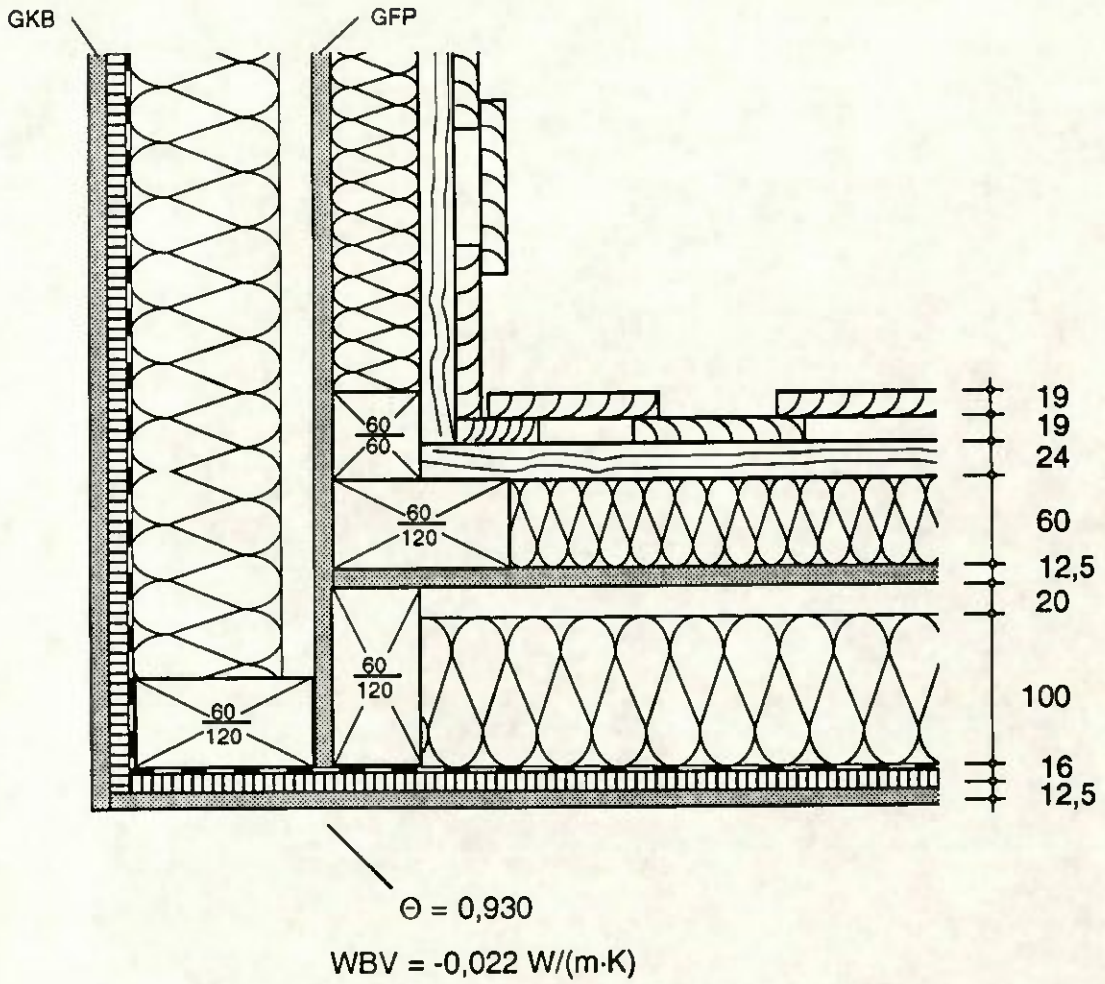


Bild 5.5.2-15: Innenecke mit Außendämmung und Deckleistenschalung bei der Skelettbauart im Maßstab 1:5.

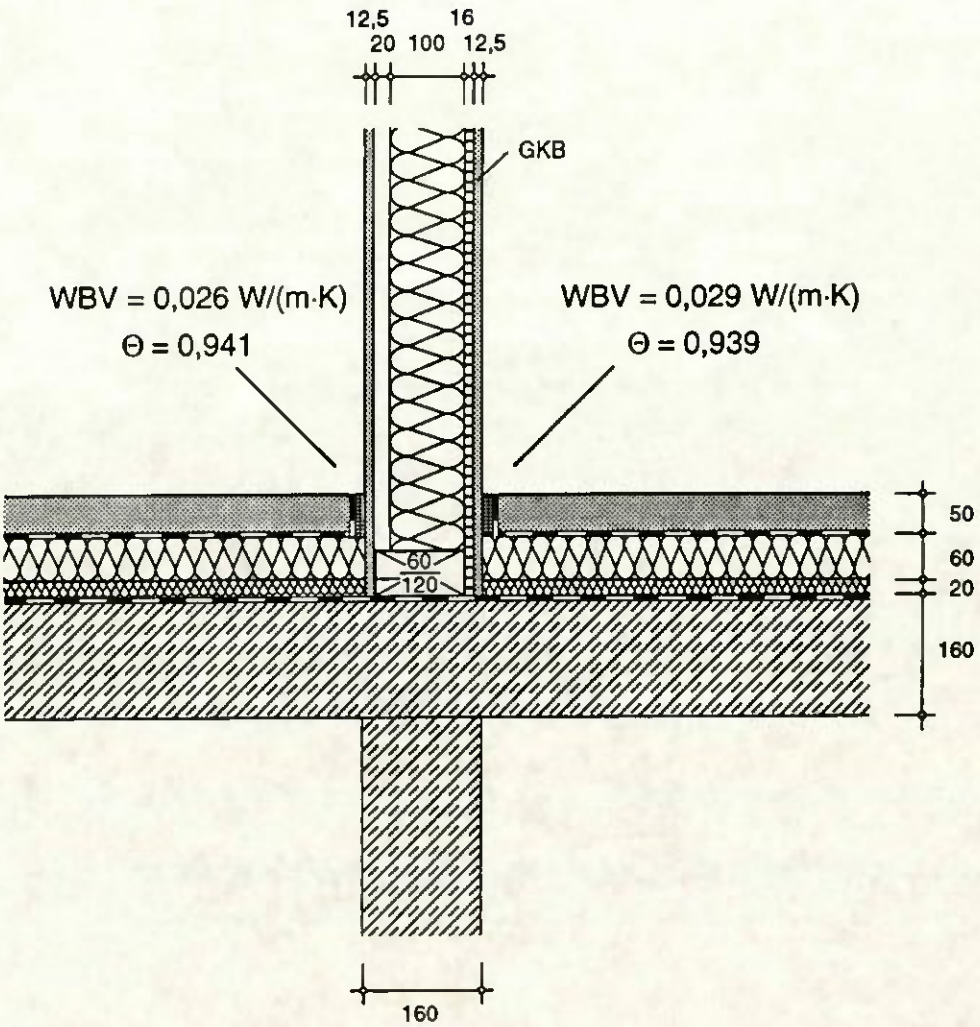


Bild 5.5.2-16: Anschluß Innenwand - Kellerdecke bei einem unbeheizten Keller für die Skelettbauart.

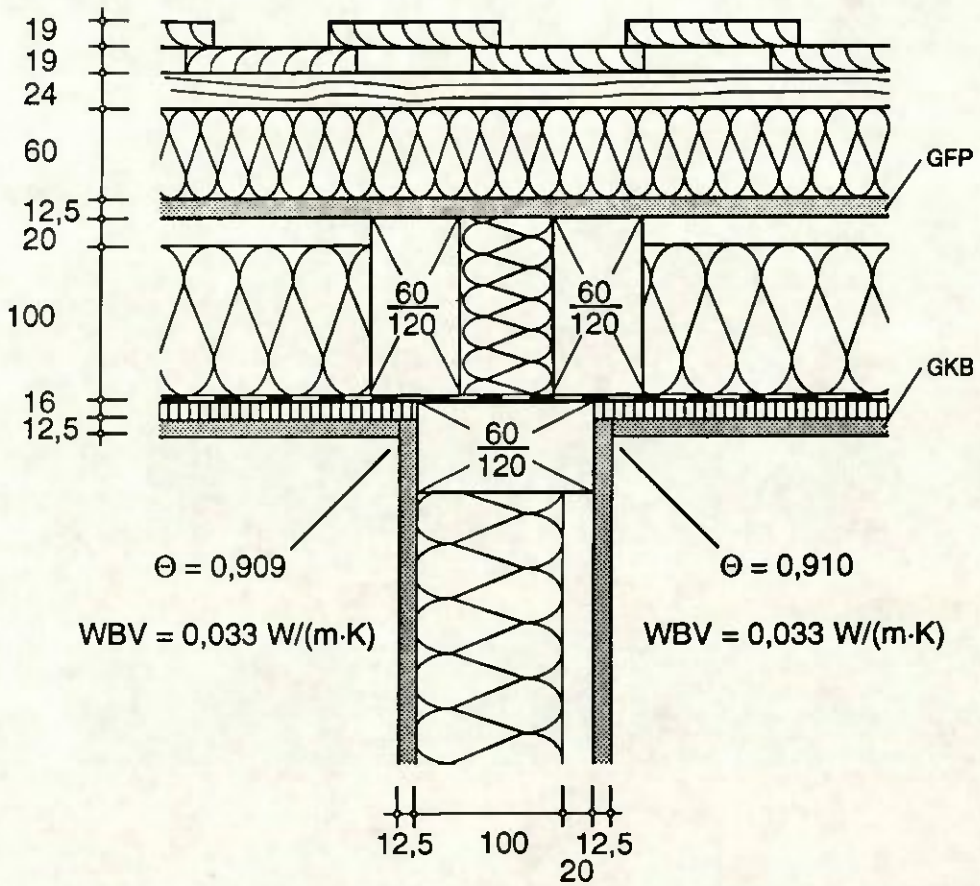


Bild 5.5.2-17: Wandanschluß innen für die Skelettbauart außengedämmt im Maßstab 1:5.

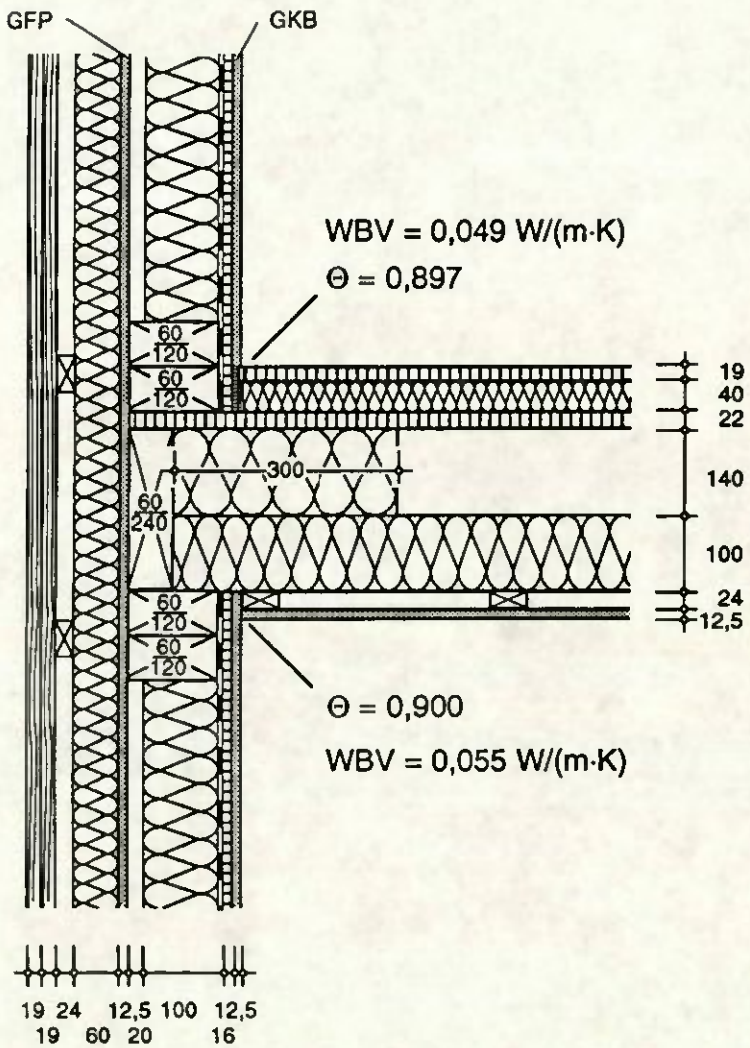


Bild 5.5.2-18: Anschluß der Geschoßdecke an die Außenwand für die Skelettbauart außengedämmt.

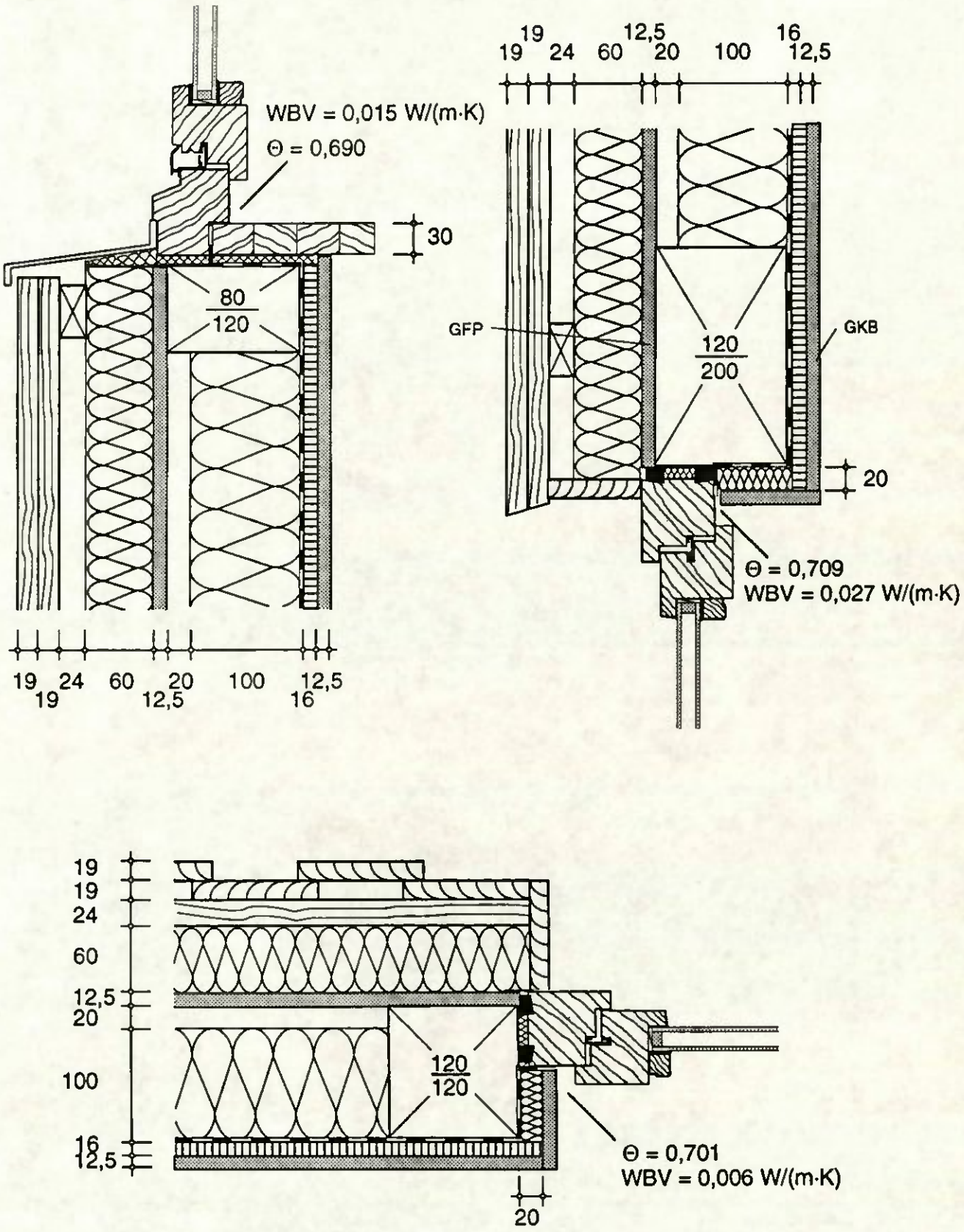


Bild 5.5.2-19: Fensterbrüstung, -laibung, -sturz für die Skelettbauart außengedämmt im Maßstab 1:5. Zusätzlich mit Dämmung im Bereich der Fensterlaibung und des Sturz.

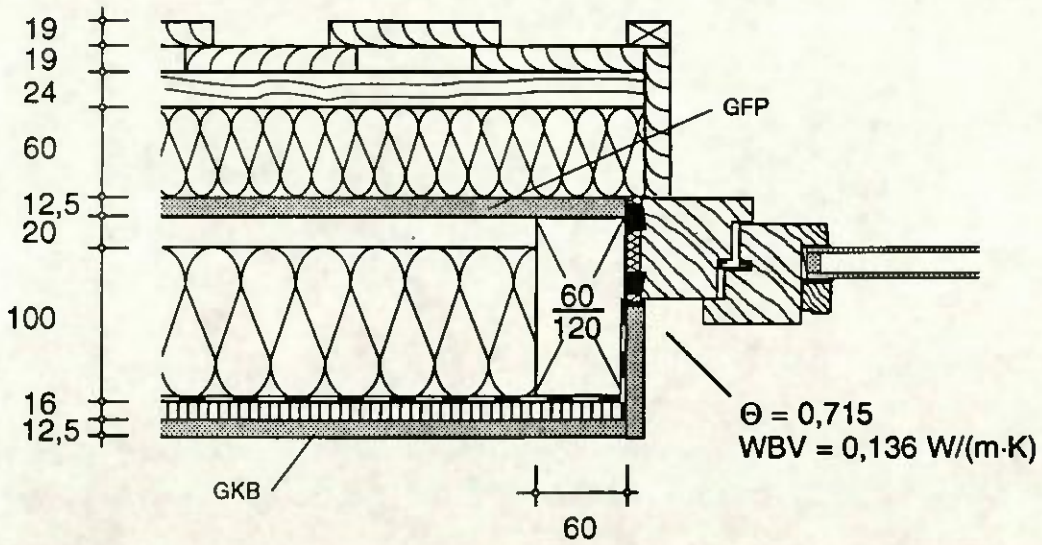


Bild 5.5.2-20: Fensterlaibung für die Skelettbauart außengedämmt im Maßstab 1:5. Jedoch ohne Dämmung im Bereich der Fensterlaibung.

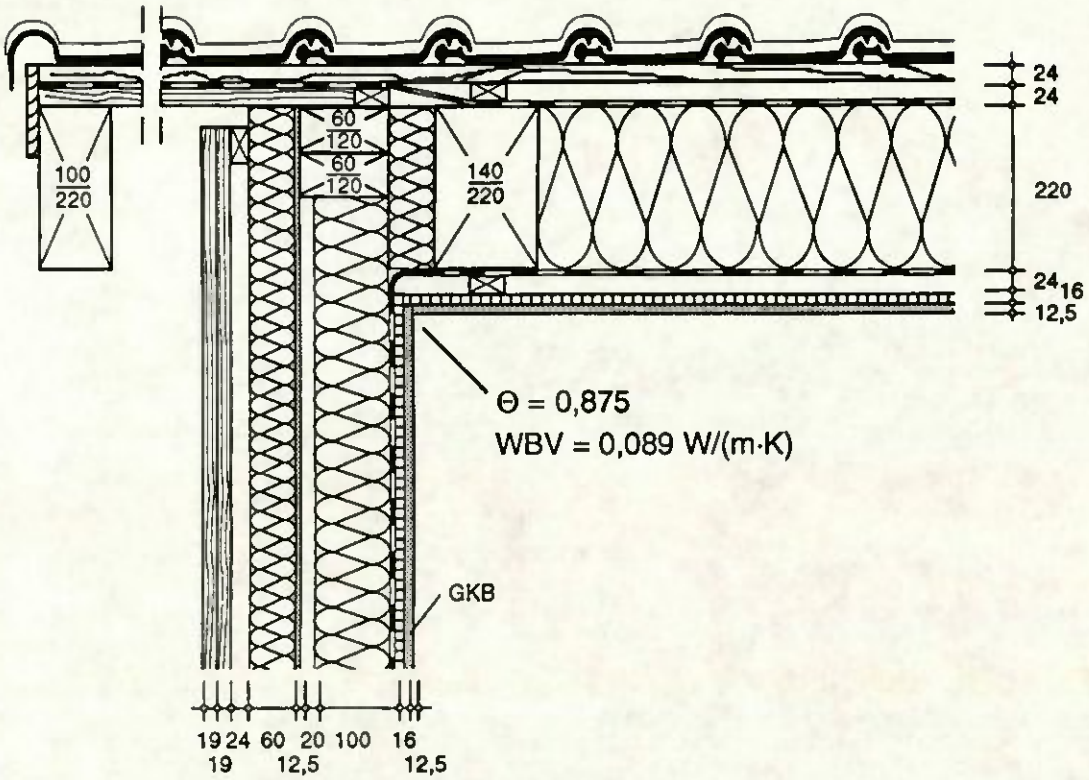


Bild 5.5.2-21: Ausbildung des Ortgangs bei der Skelettbauart außengedämmt.

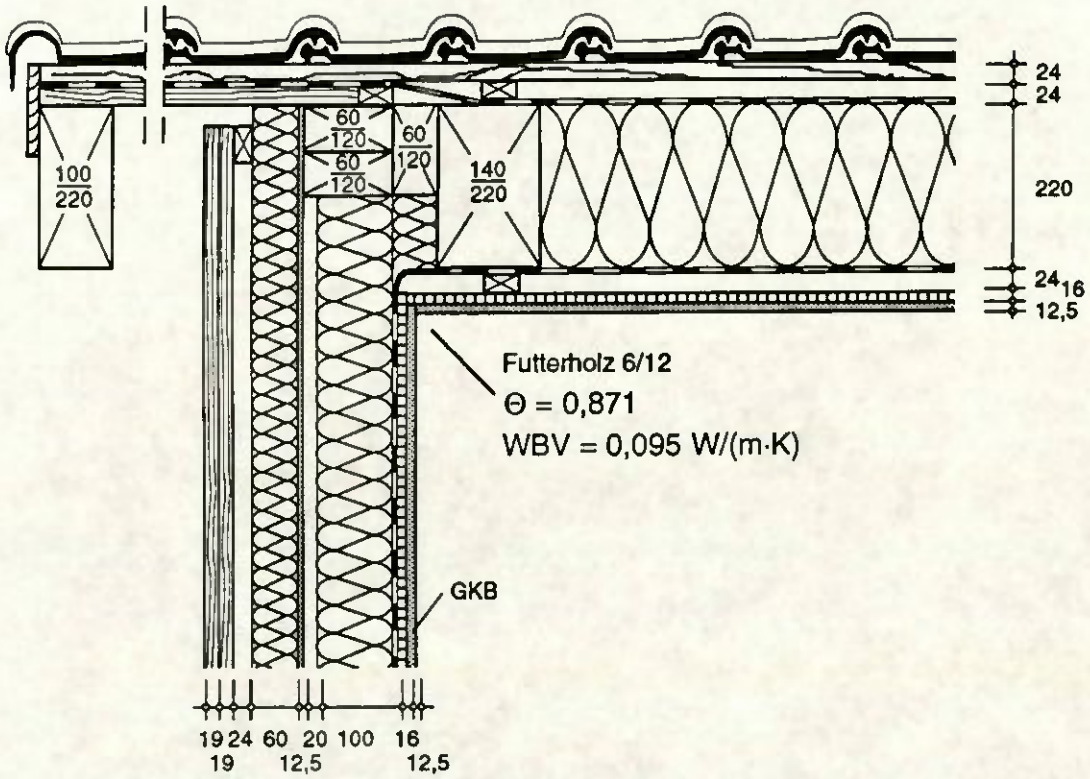


Bild 5.5.2-22: Ausbildung des Ortgangs bei der Skelettbauart außengedämmt mit Futterholz für die Befestigung der Giebelwand.

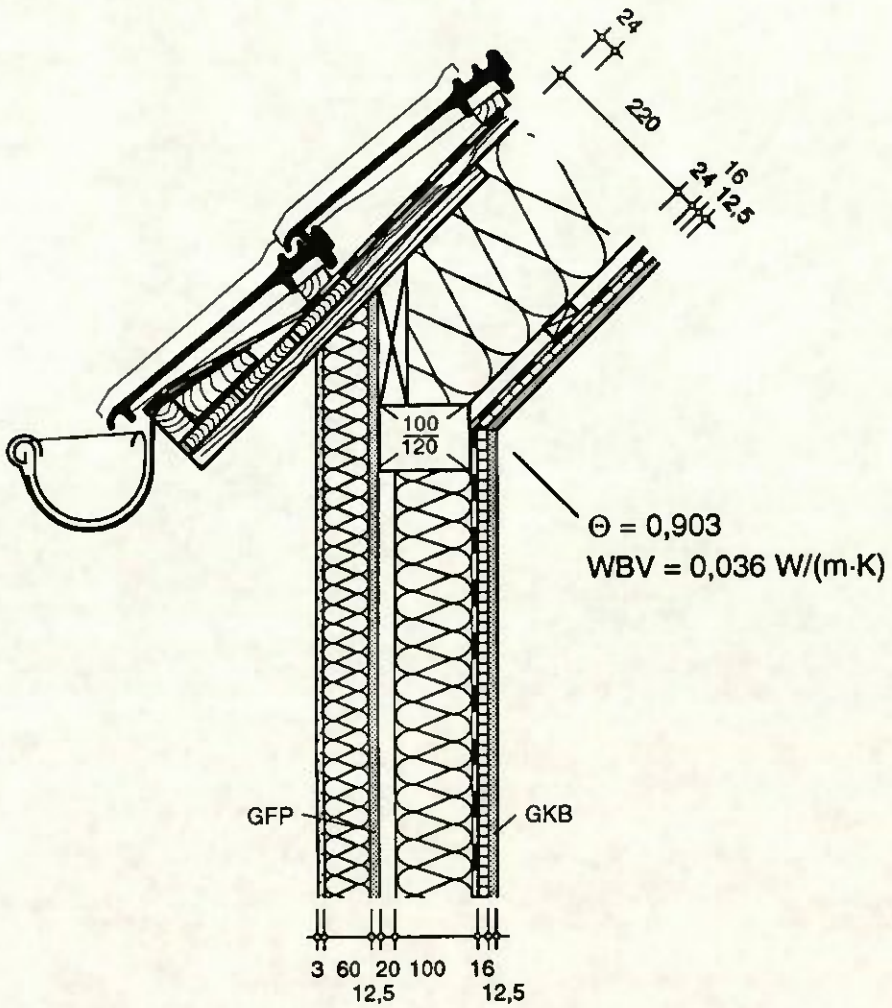


Bild 5.5.2-23: Ausbildung der Traufe bei der Skelettbauart außengedämmt.

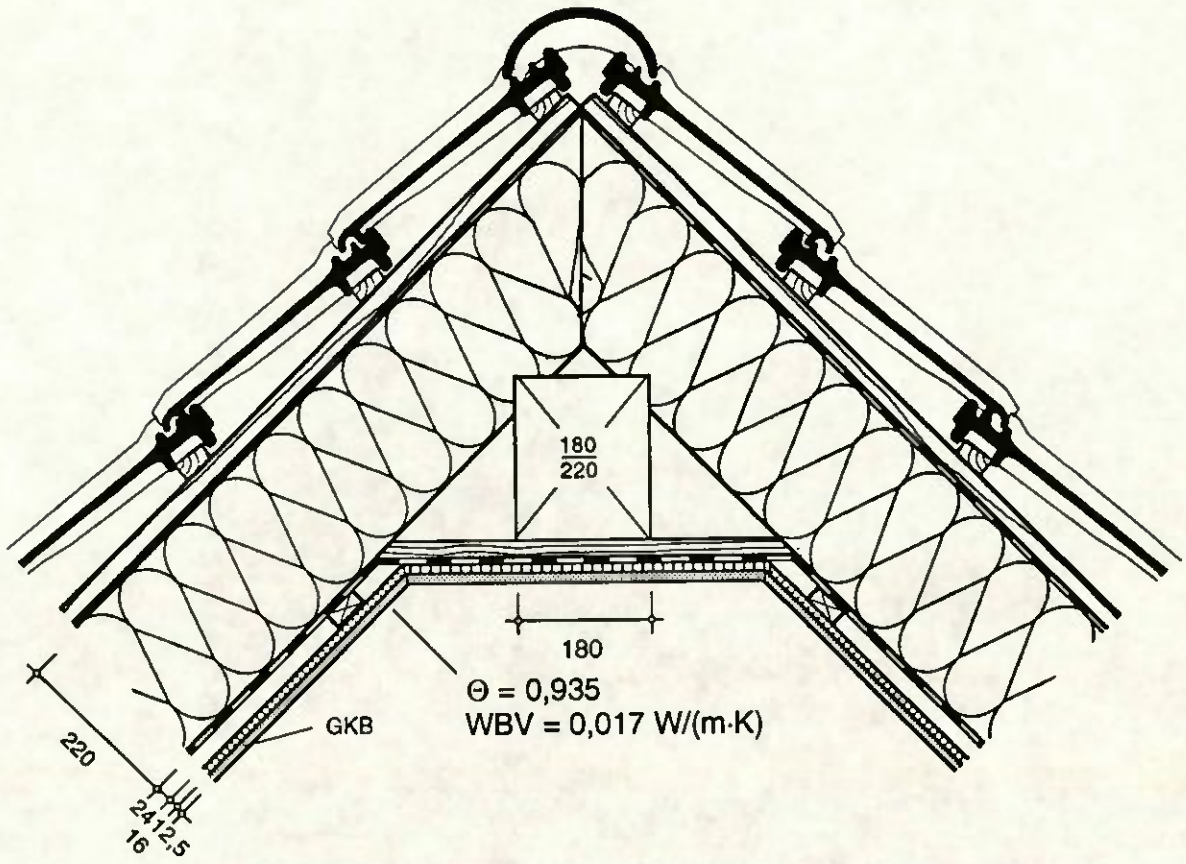


Bild 5.5.2-24: Ausbildung des First bei der Skelettbauart außengedämmt.

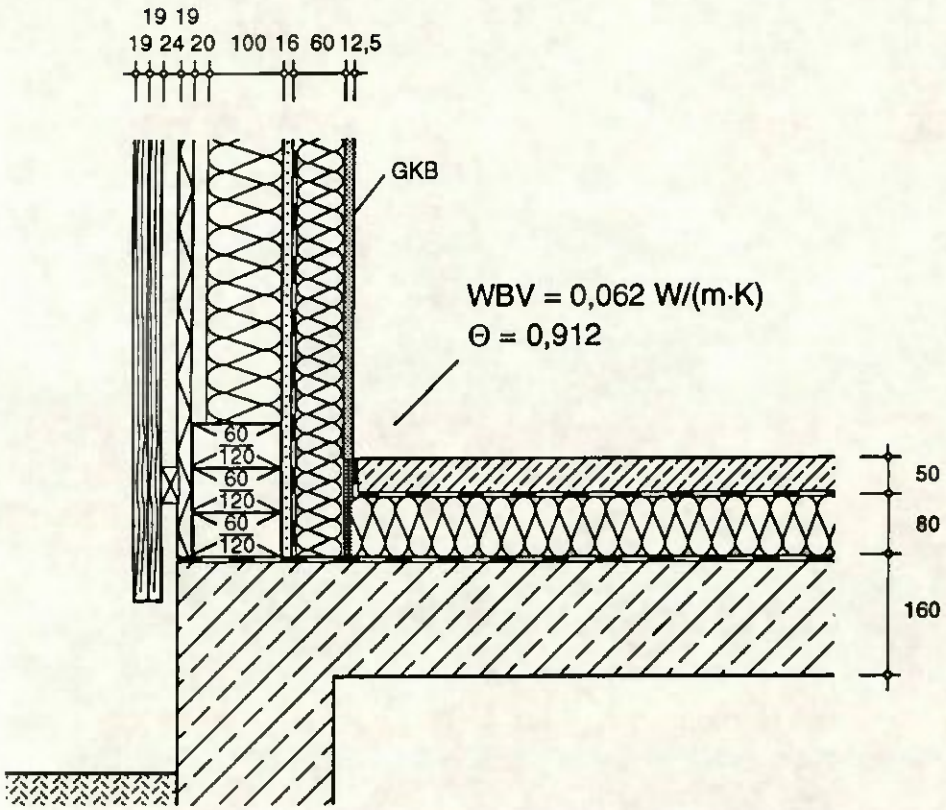


Bild 5.5.2-25: Sockelanschluß für die Skelettbauart innengedämmt.

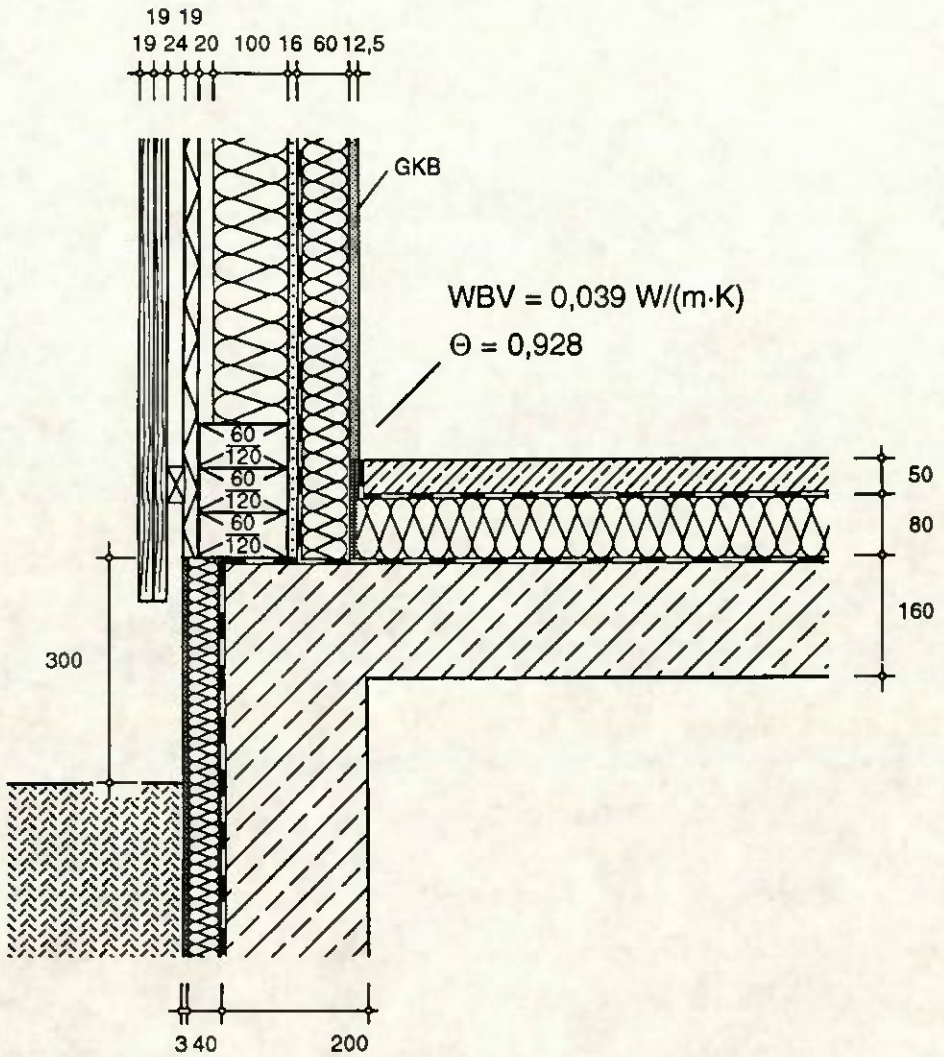


Bild 5.5.2-26: Sockelanschluß für die Skelettbauart innengedämmt.

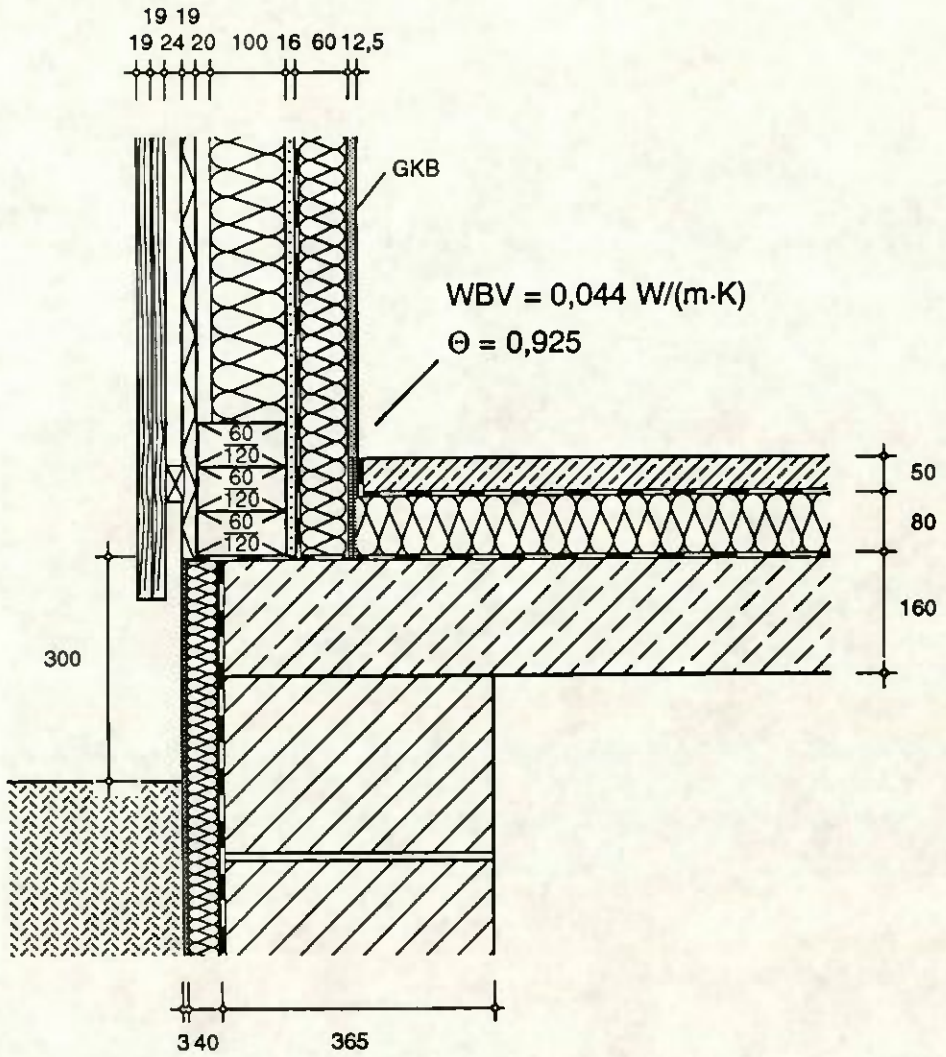


Bild 5.5.2-27: Sockelanschluß für die Skelettbauart innengedämmt.

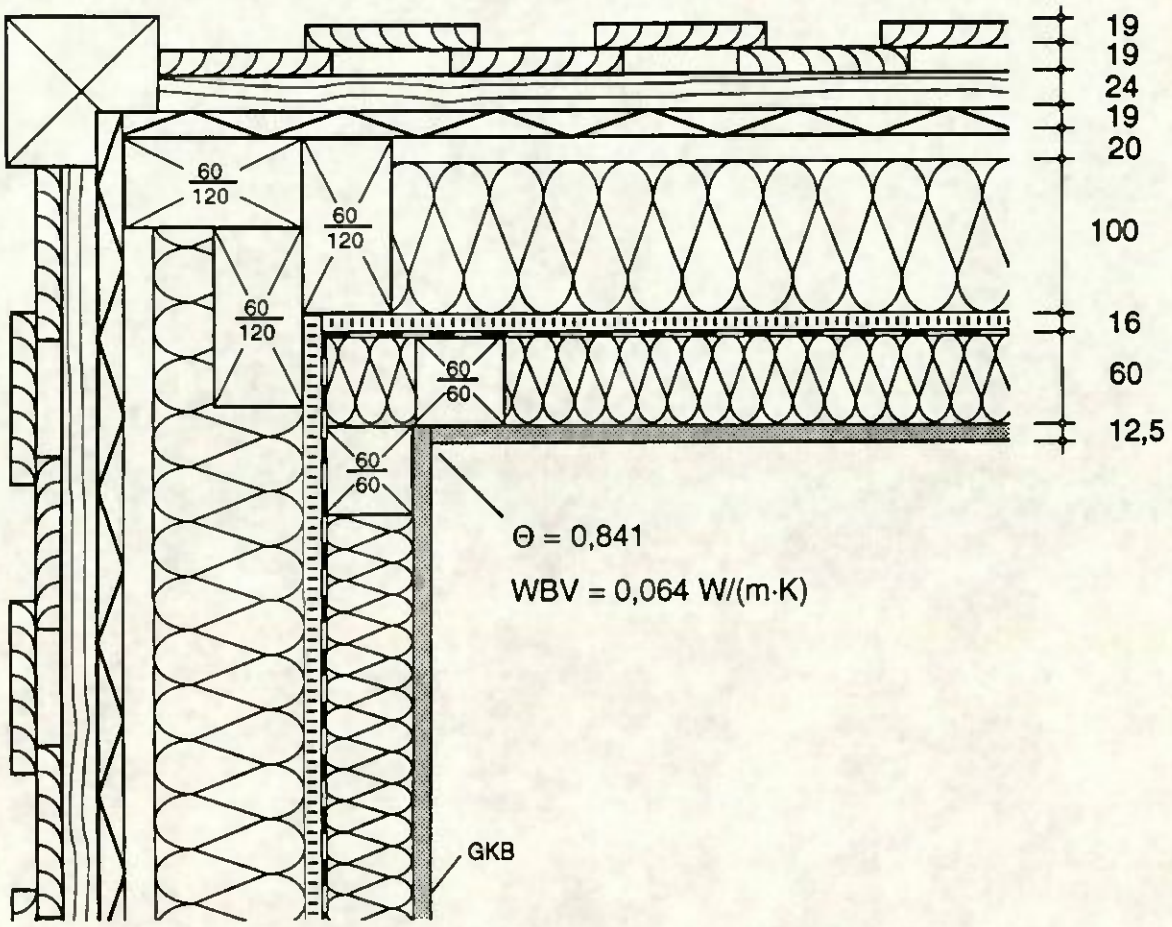


Bild 5.5.2-28: Außenecke mit Innendämmung und Deckleistenschalung bei der Skelettbauart im Maßstab 1:5 mit Holzunterkonstruktion.

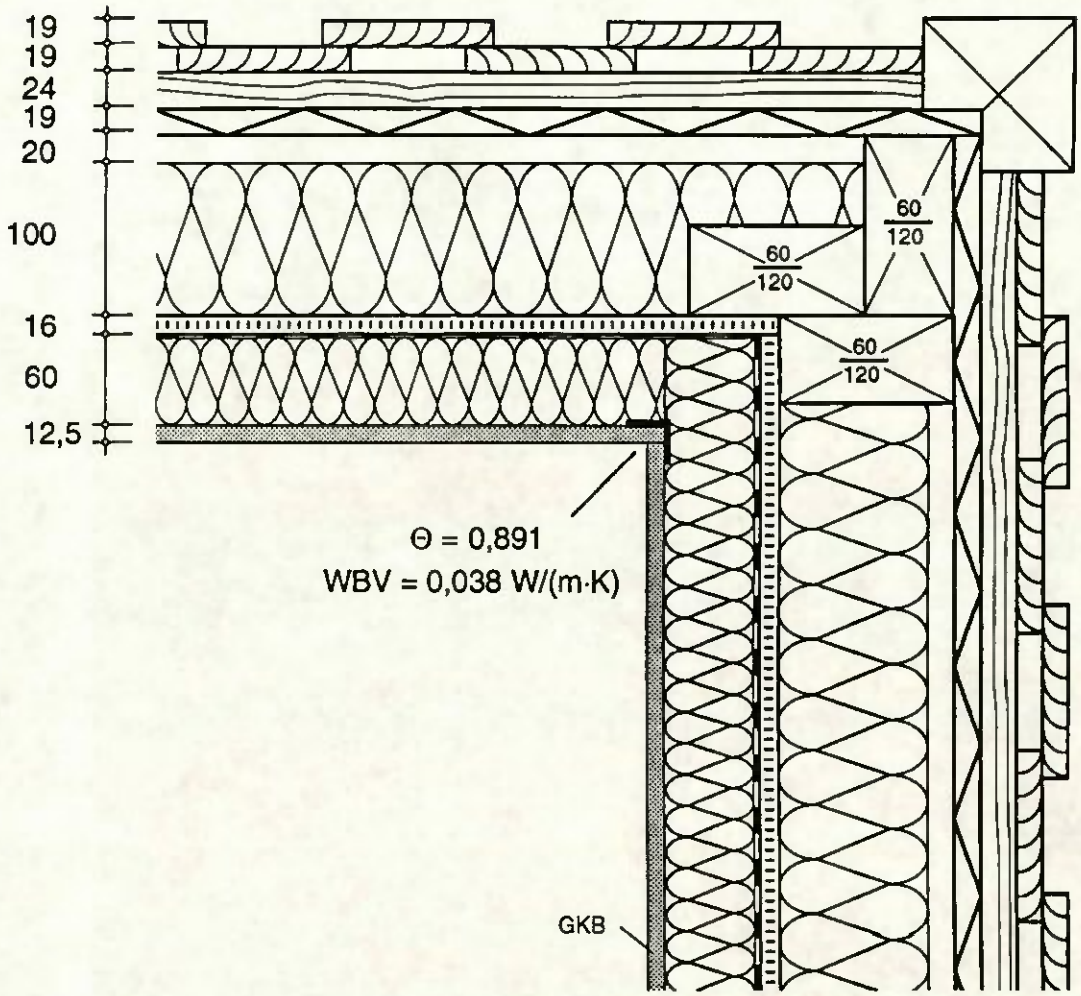


Bild 5.5.2-29: Außenecke mit Innendämmung und Deckleistenschalung bei der Skelettbauart im Maßstab 1:5 ohne zusätzliche Unterkonstruktion.

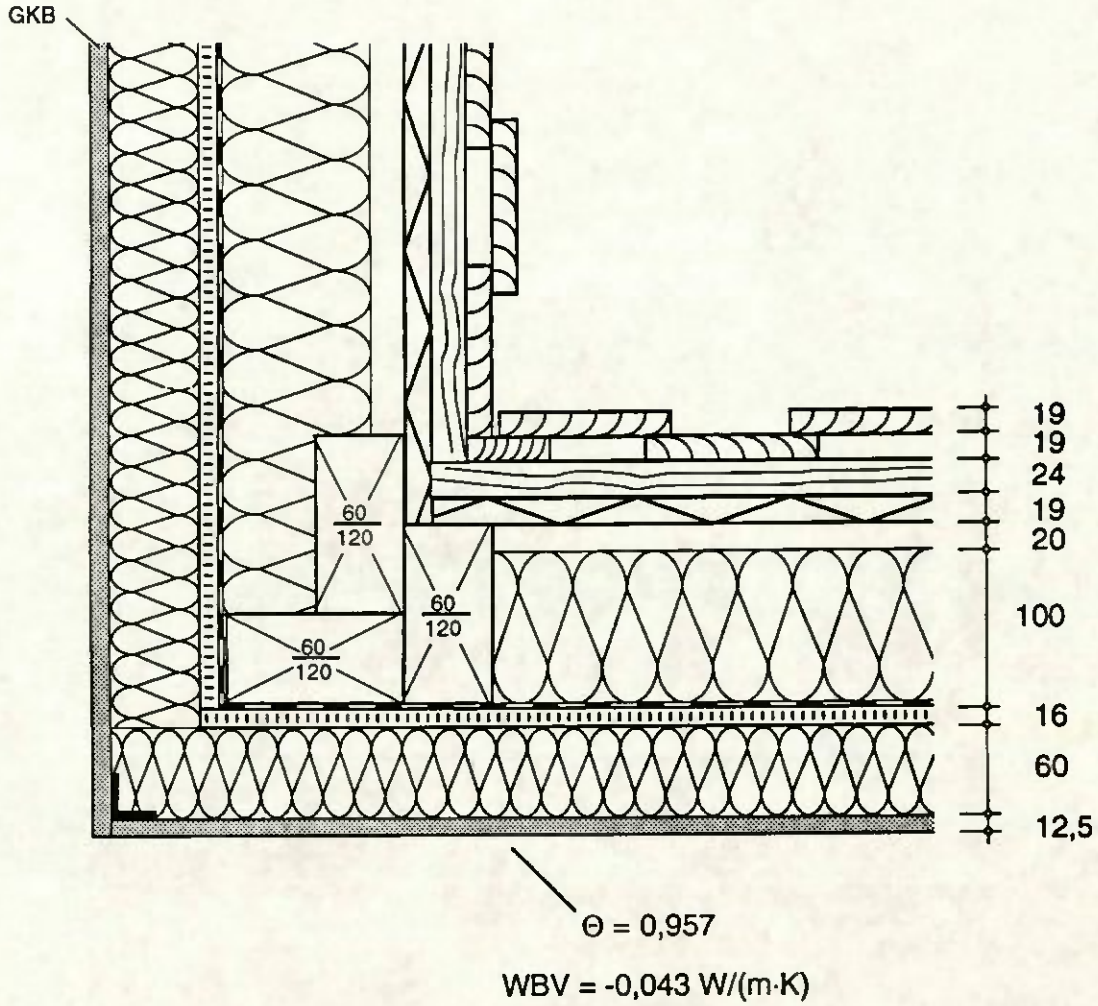


Bild 5.5.2-30: Innenecke mit Innendämmung und Deckleistenschalung bei der Skelettbauart im Maßstab 1:5.

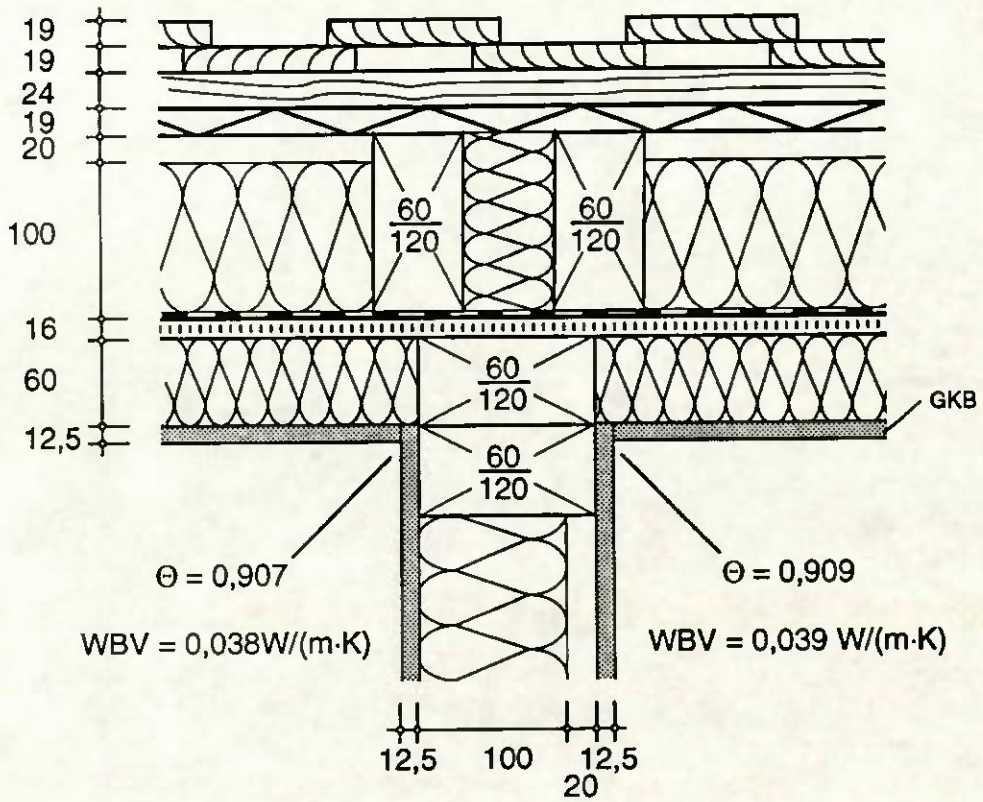


Bild 5.5.2-31: Wandanschluß innen für die Skelettbauart innengedämmt im Maßstab 1:5.

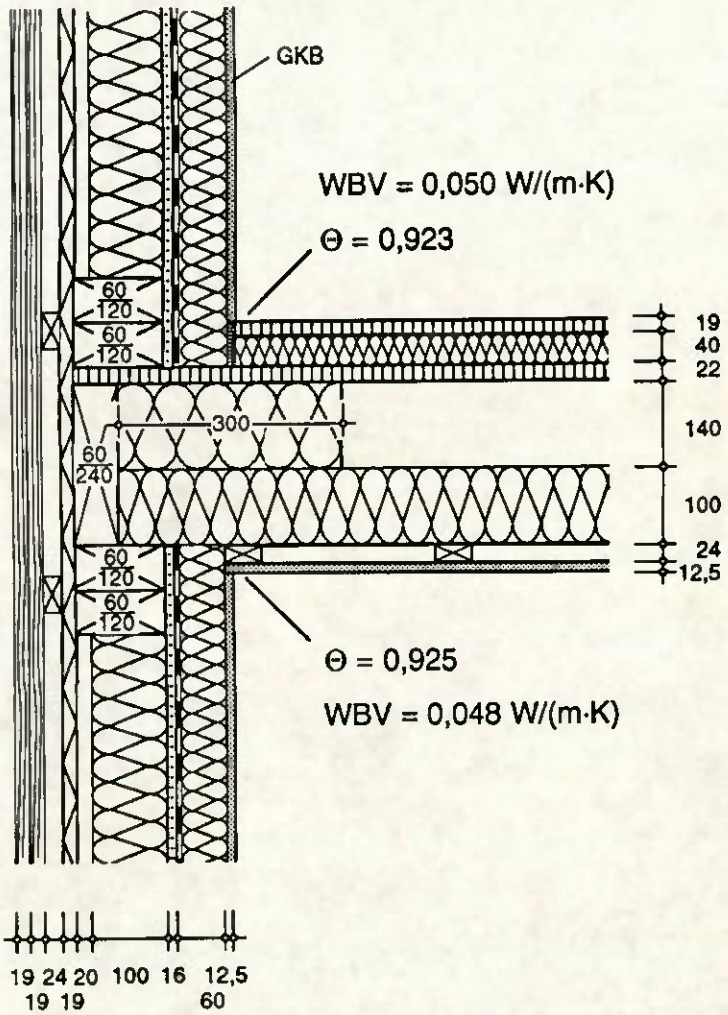


Bild 5.5.2-32: Anschluß der Geschoßdecke an die Außenwand für die Skelettbauart innengedämmt.

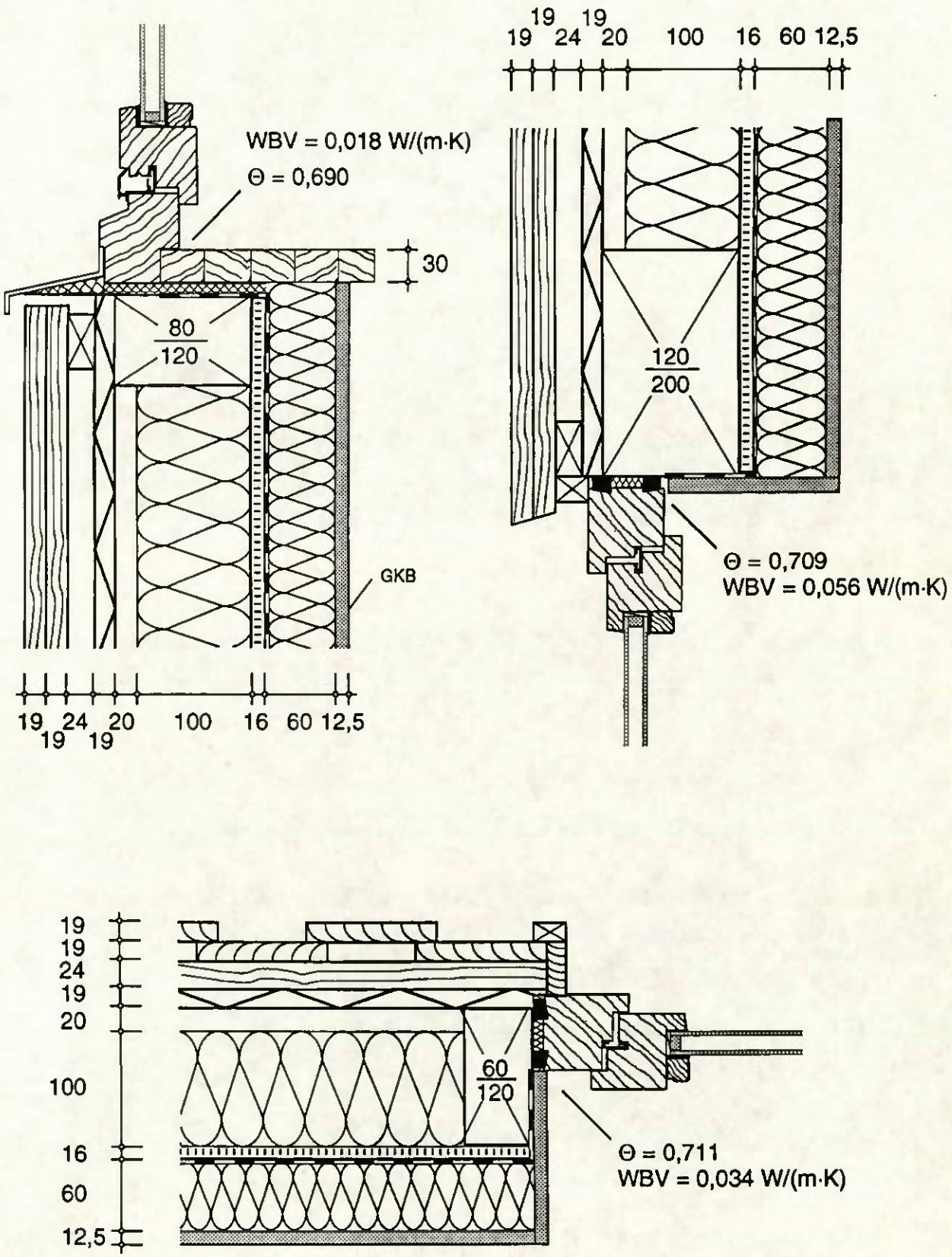


Bild 5.5.2-33: Fensterbrüstung, -laibung, -sturz für die Skelettbauart innengedämmt im Maßstab 1:5 ohne zusätzliche Dämmung.

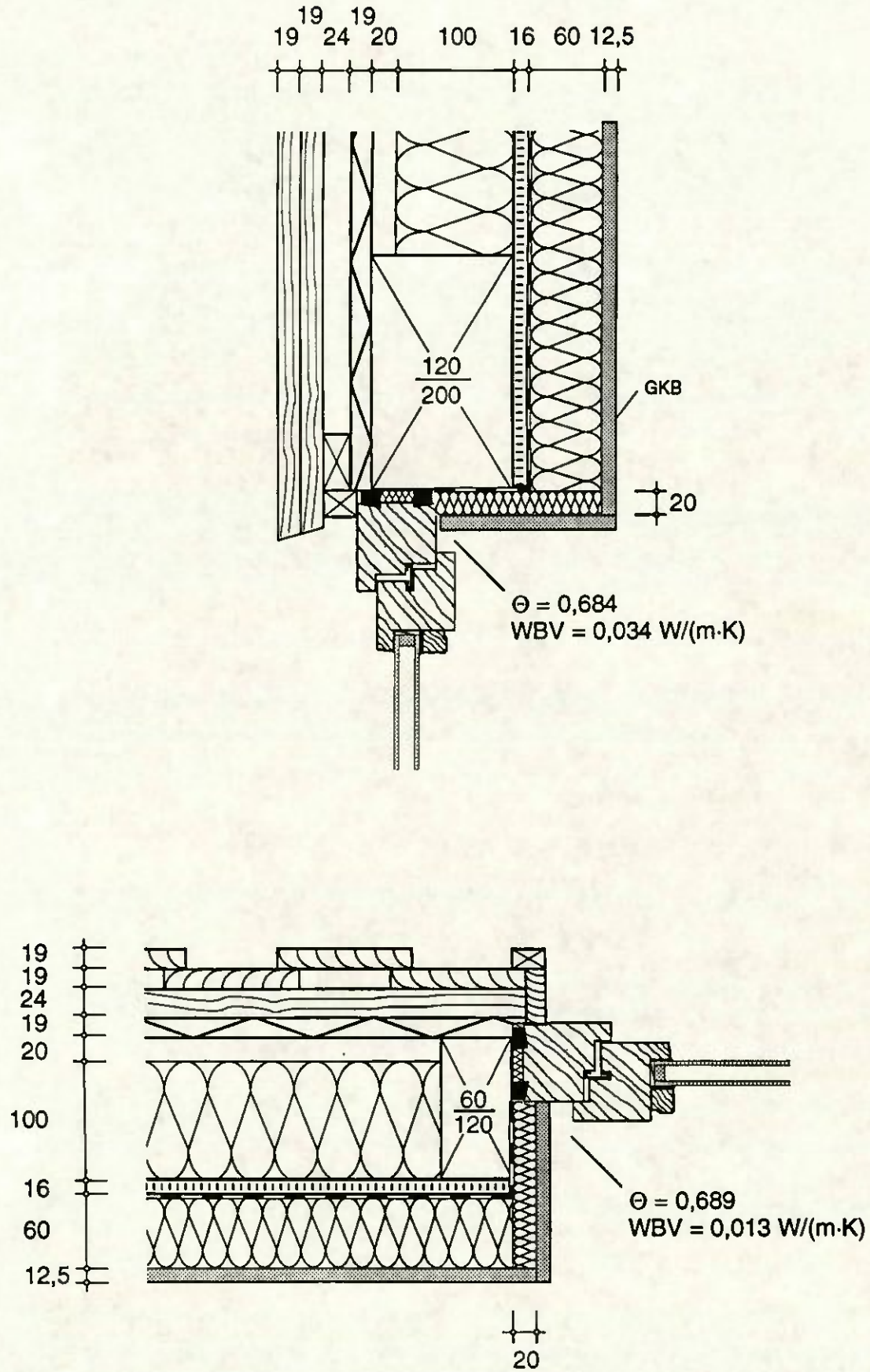


Bild 5.5.2-34: Fenstersturz und -laibung für die Skelettbauart innengedämmt im Maßstab 1:5. Zusätzlich mit Dämmung im Bereich der Fensterlaibung und des Sturz.

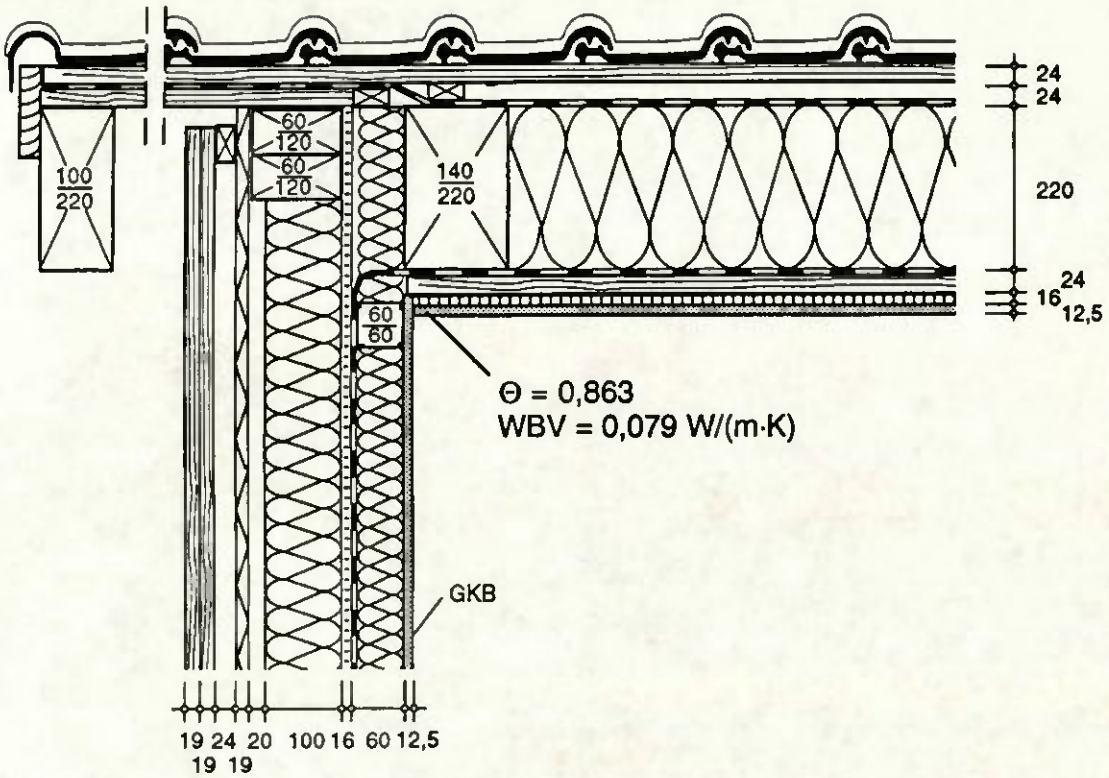


Bild 5.5.2-35: Ausbildung des Ortgangs bei der Skelettbauart innengedämmt.

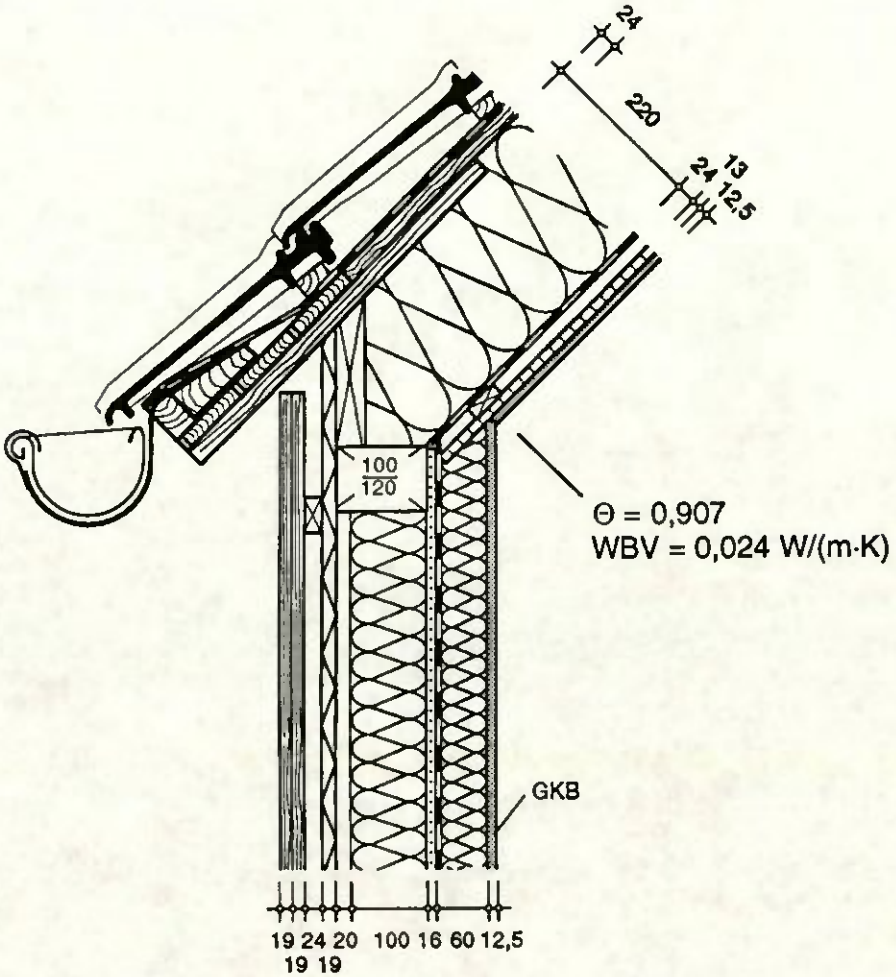


Bild 5.5.2-36: Ausbildung der Traufe bei der Skelettbauart innengedämmt.

Diagramm 1: Abhängigkeit der Vorlauftemperatur von der Außenlufttemperatur.

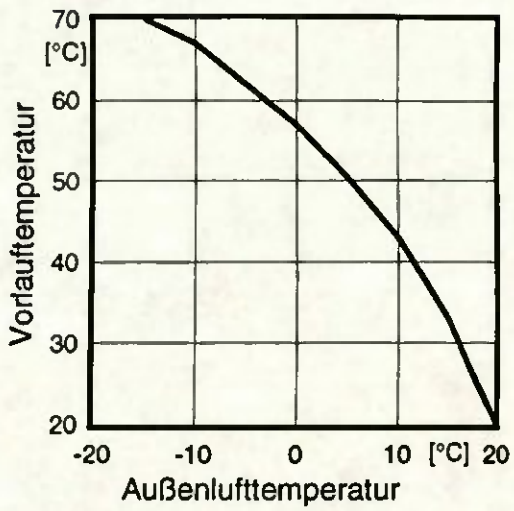


Diagramm 2: Schließ- und Öffnungskennlinie für das Thermostatventil.
Betrachteter Fall:
Wohnzimmer (ϑ_{soll} = 22 °C)
Warmwasserheizung mit Plattenheizkörper

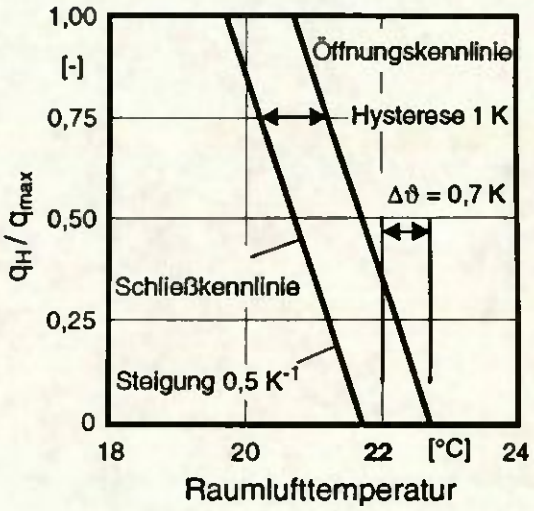


Diagramm 3: Kesselwirkungsgrad eines Niedrigtemperaturkessels mit der Spreizung 70/50 °C.

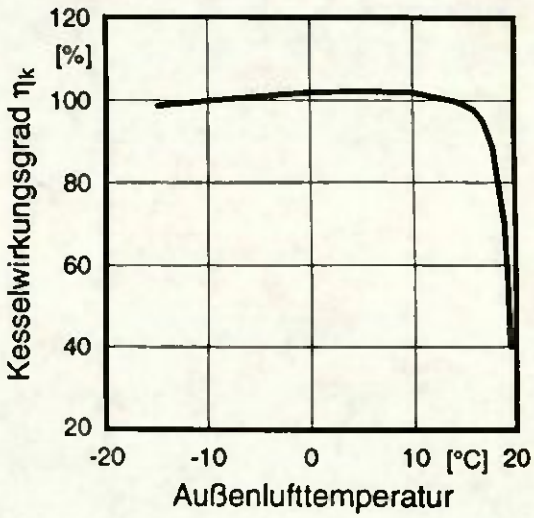


Bild 6-1: Komponenten des Heizungsmodells.

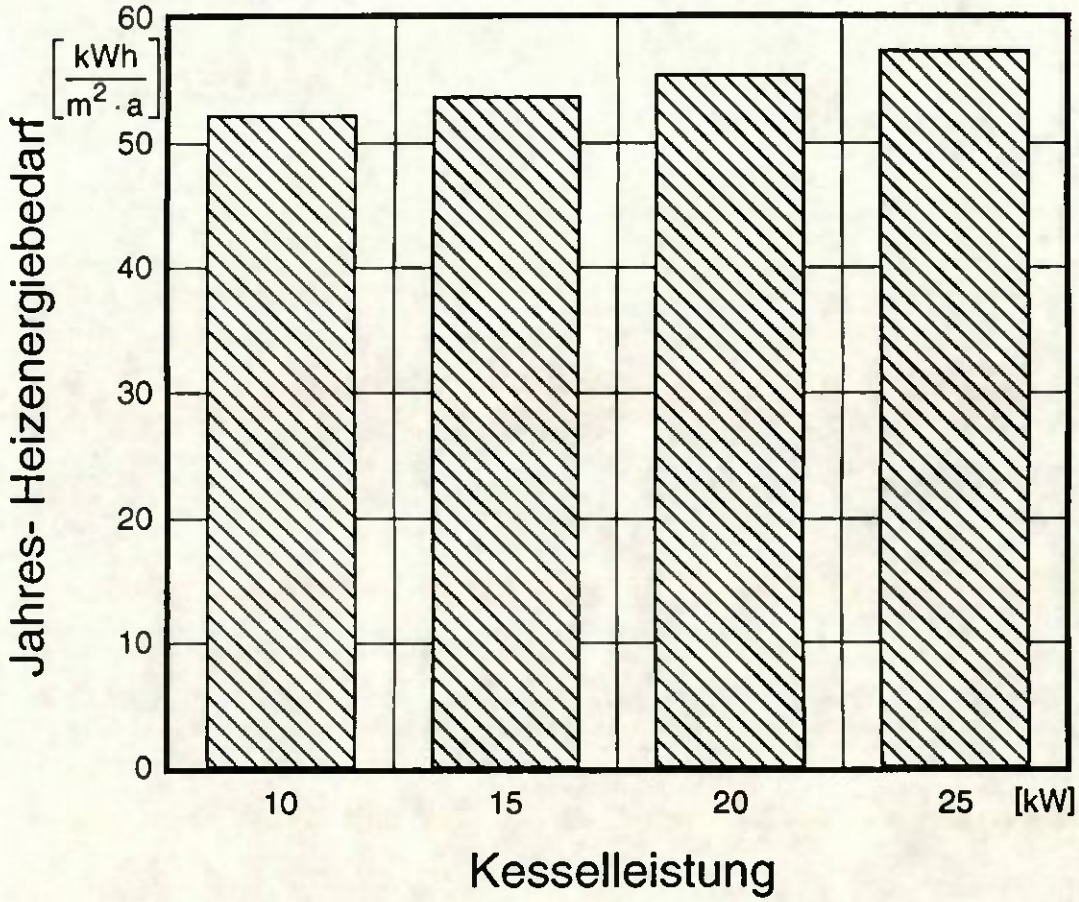


Bild 6-2: Einfluß der installierten Kesselleistung auf den Jahres-Heizenergiebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern.

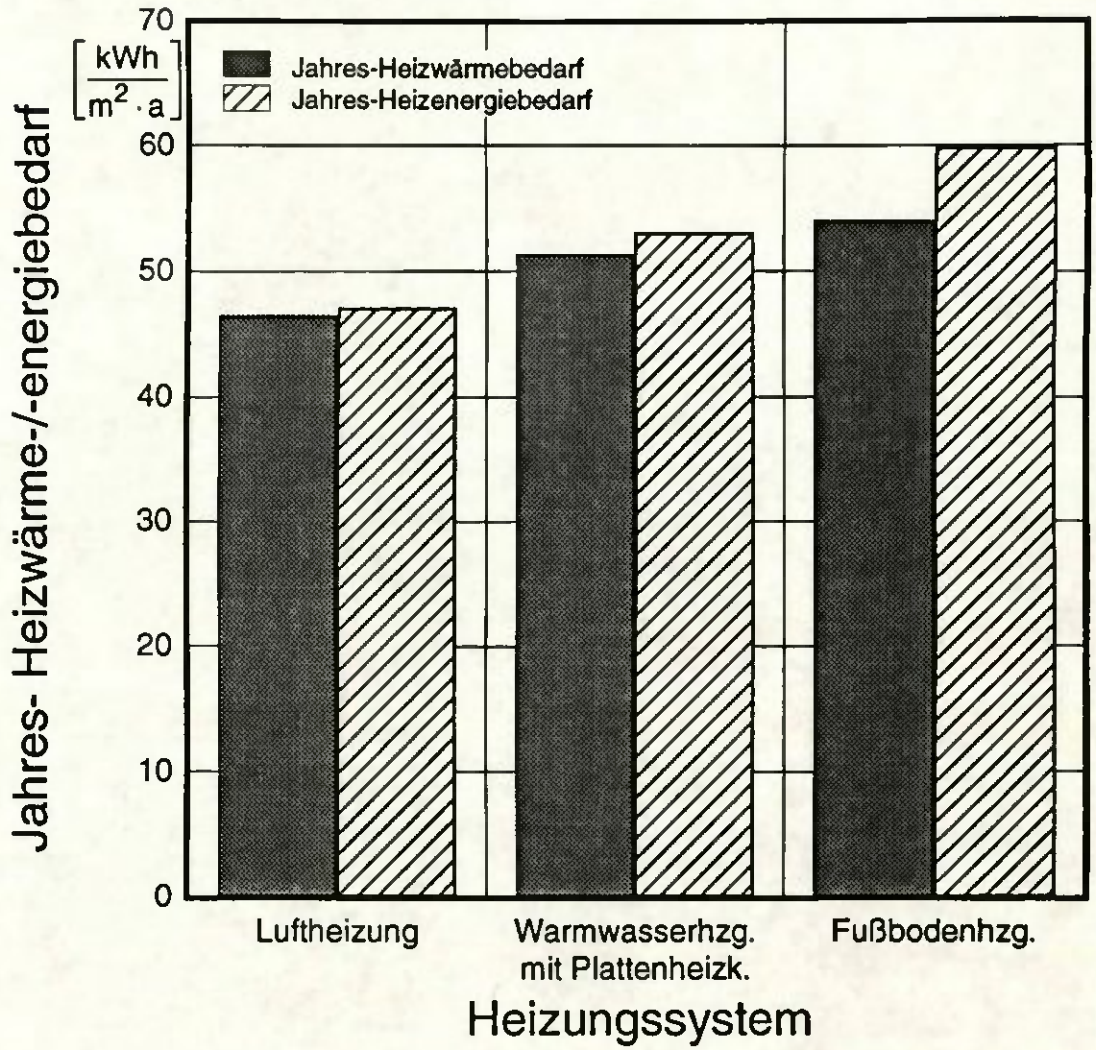


Bild 6-3: Einfluß des Heizungssystems auf den Jahres-Heizwärmebedarf und den Jahres-Heizenergiebedarf. Die Regelgröße ist die Raumlufttemperatur. Bei Regelung nach der empfundenen Temperatur verringert sich der Wärmebedarf für die Flächenheizung, da die Raumlufttemperatur abgesenkt werden kann.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch geregelte Luftheizung, Warmwasserheizung mit Plattenheizkörper sowie Fußbodenheizung.

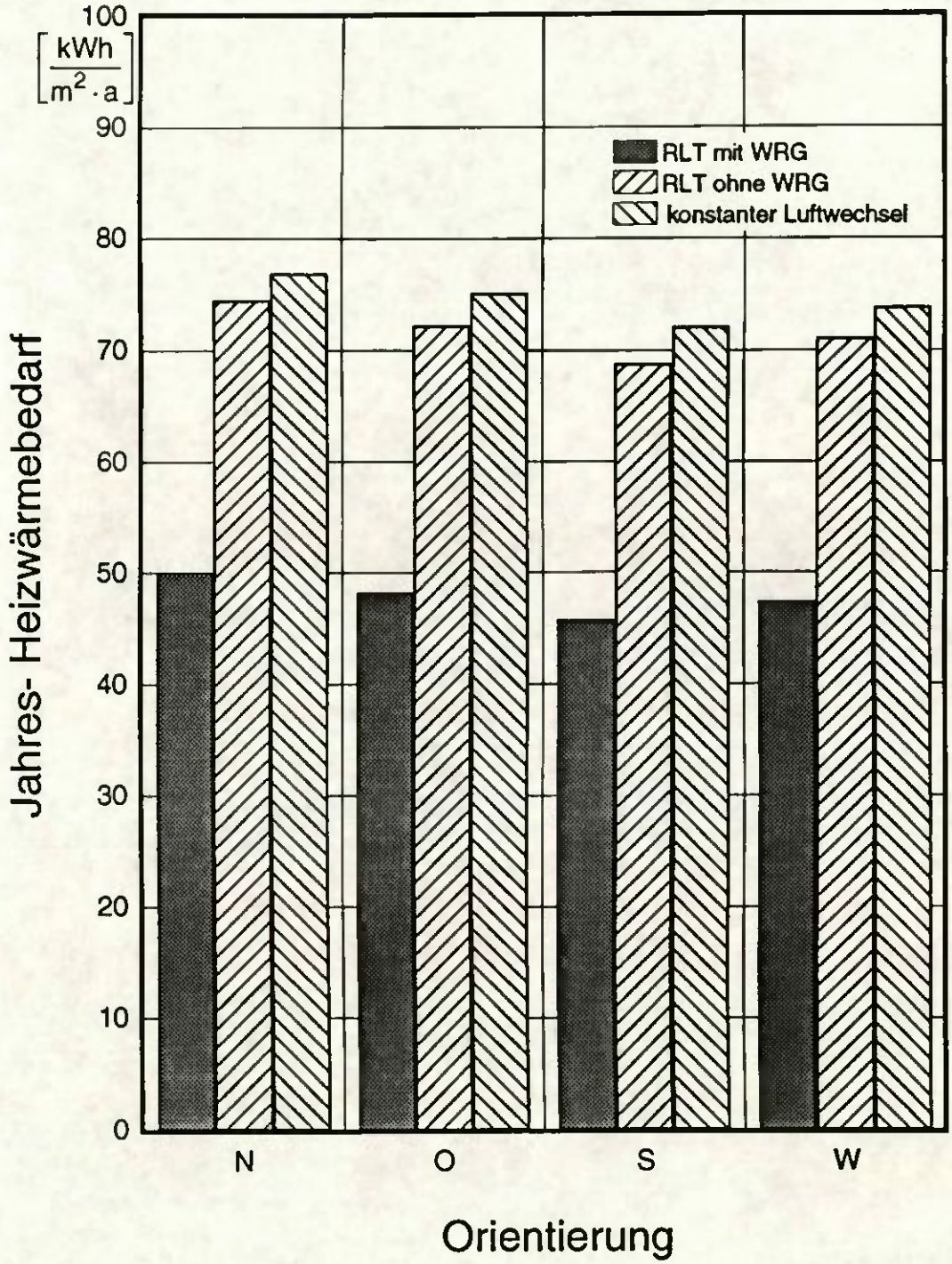


Bild 6-4: Einfluß der Lüftungsanlage auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch RLT ohne WRG sowie natürliche Lüftung mit einem konstanten Luftwechsel von 0,5 h^{-1}.

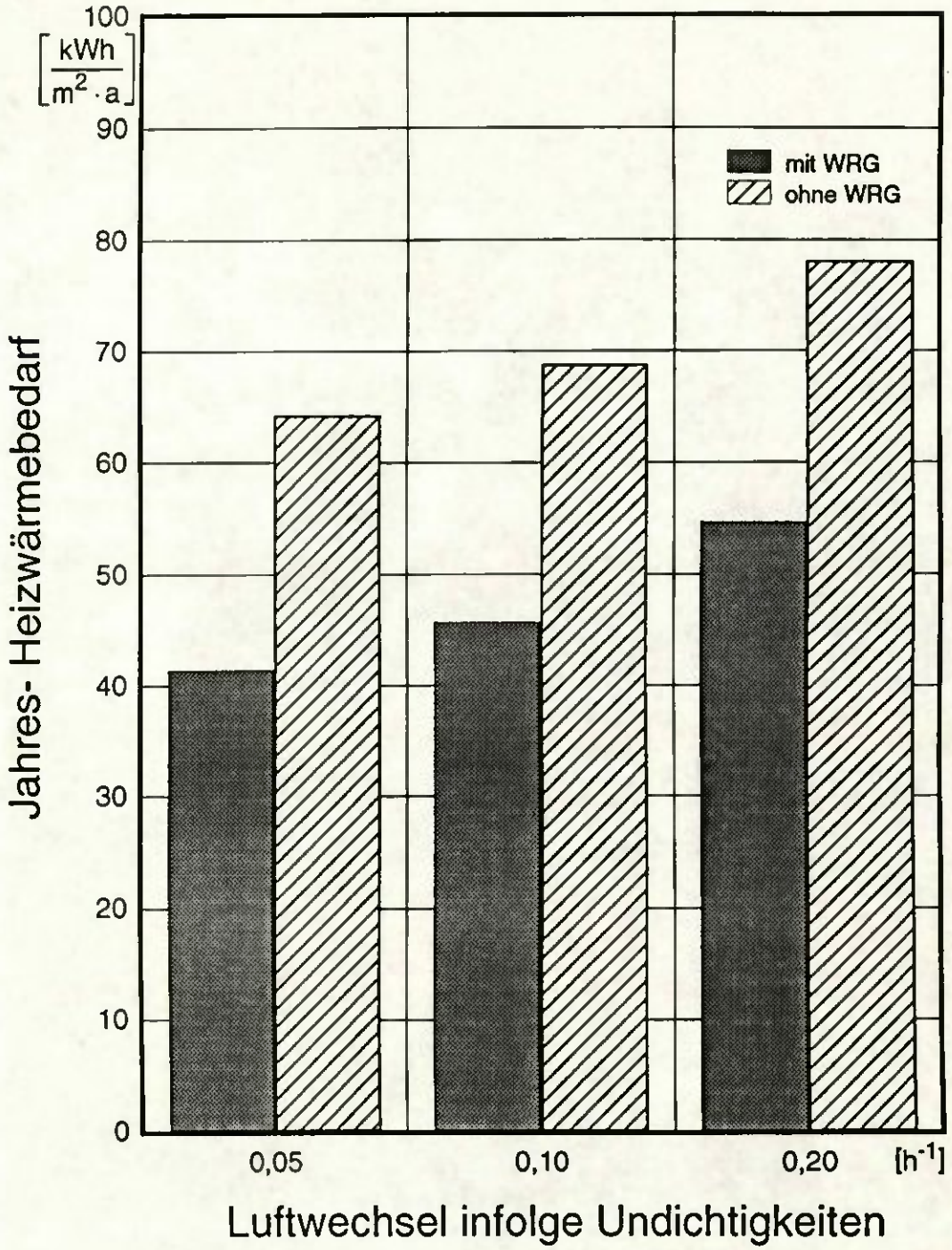


Bild 6-5: Einfluß der Gebäudedichtigkeit auf den Jahres-Heizwärmebedarf bei Gebäuden mit Lüftungsanlage mit und ohne Wärmerückgewinnung.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, Südorientierung,
Wärmerückgewinnung η = 65 %.

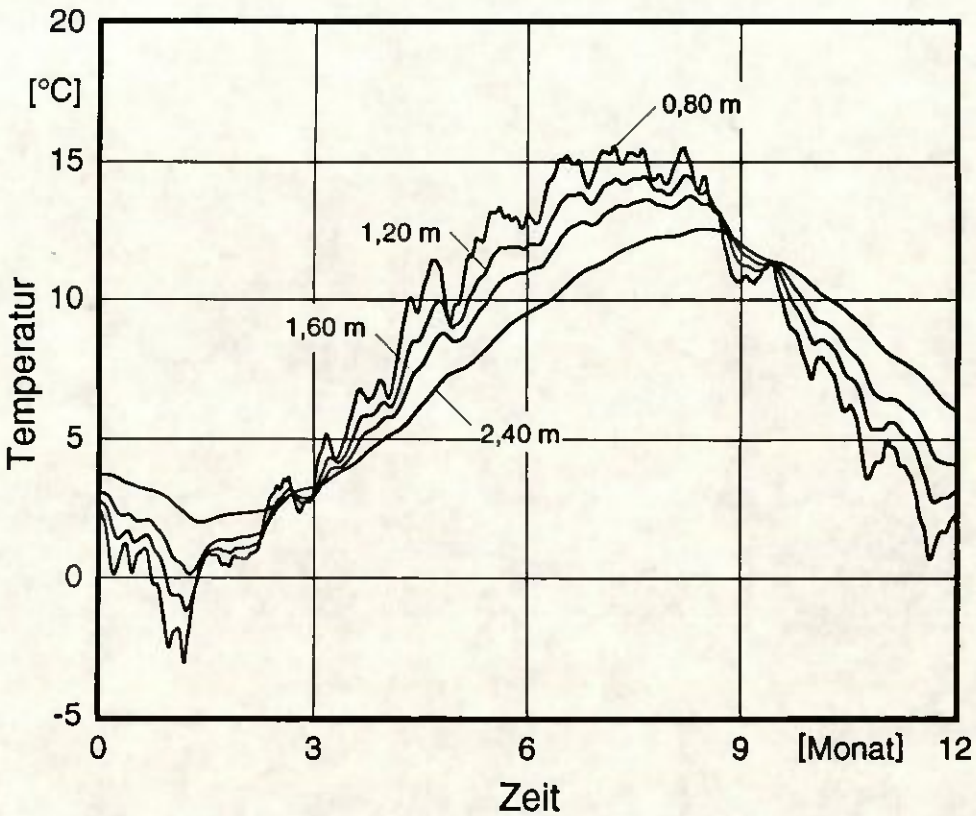


Bild 6-6: Zeitlicher Verlauf der Erdreichtemperatur in einer Tiefe von 0,80 m, 1,20 m, 1,60 m und 2,40 m für den Standort Würzburg.
Zugrunde gelegte Daten:
λ = 2,0 W/mK ρ = 2000 kg/m^3 Albedo = 0,2
α_L = 0,96 w = 25 kg/m^2 h^{0,5}

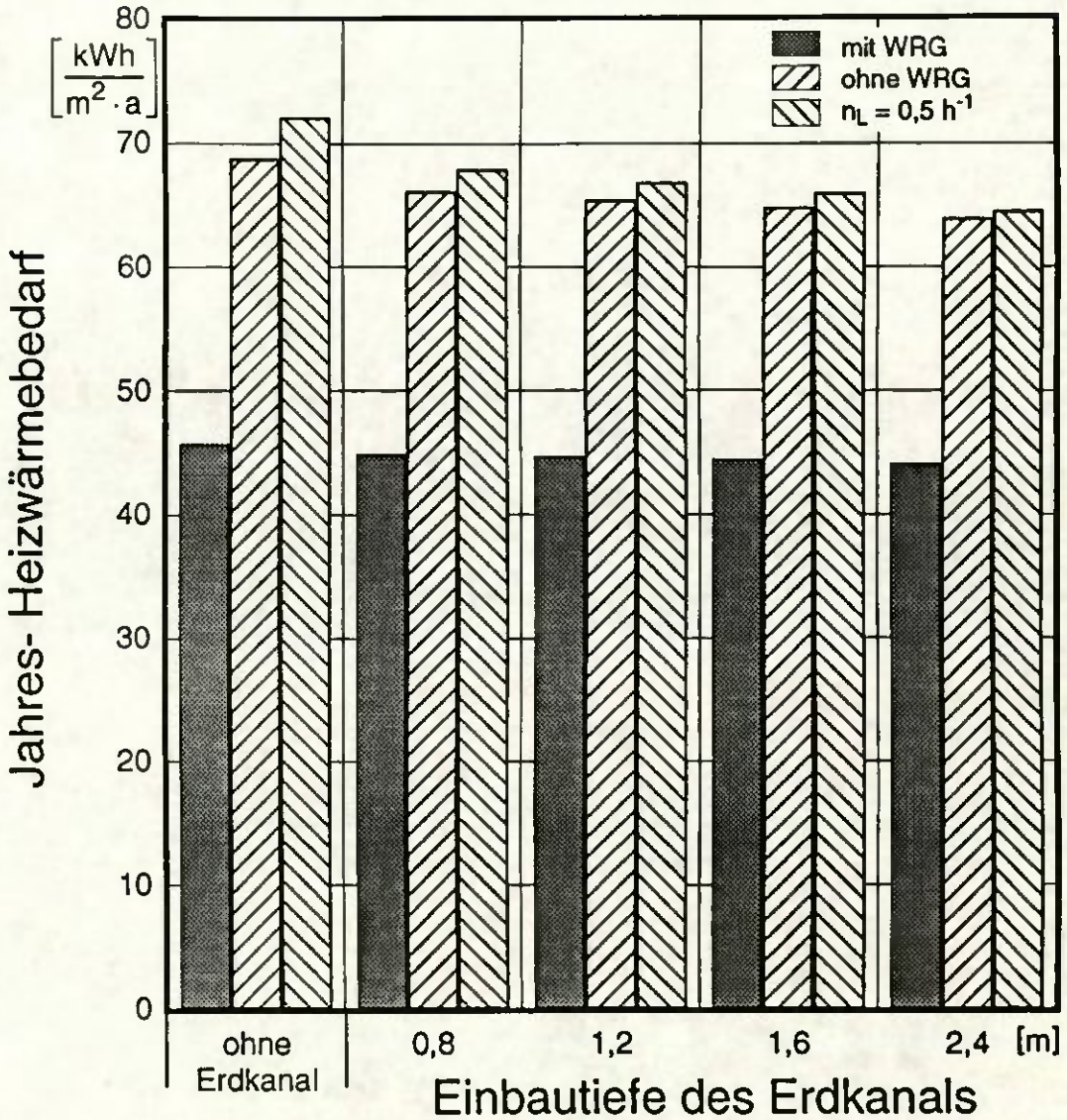


Bild 6-7: Einfluß des Erdkanals auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Erwärmung der Zuluft mit einem Erdkanal, Einbautiefe wie angegeben.

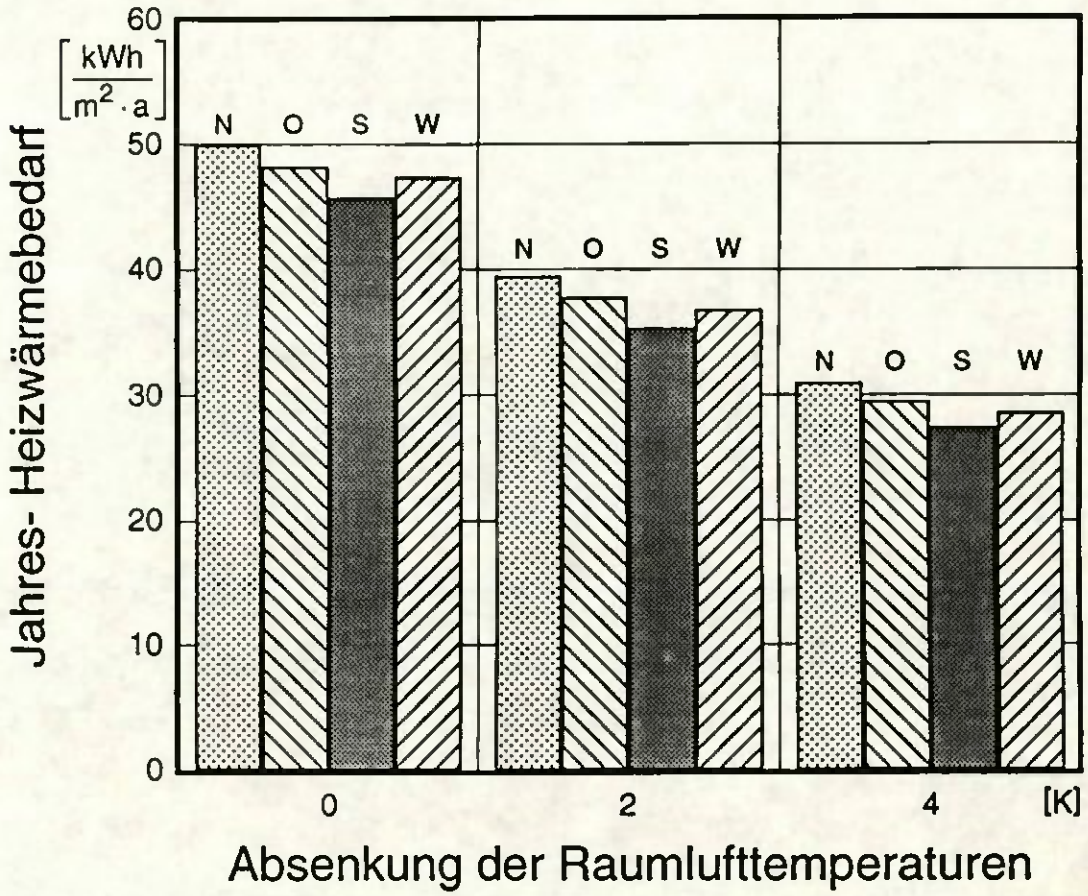


Bild 7-1: Einfluß der Absenkung des Sollwerts der Raumlufttemperaturen während der Nutzungszeit auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Absenkung der Raumlufttemperaturen wie angegeben.

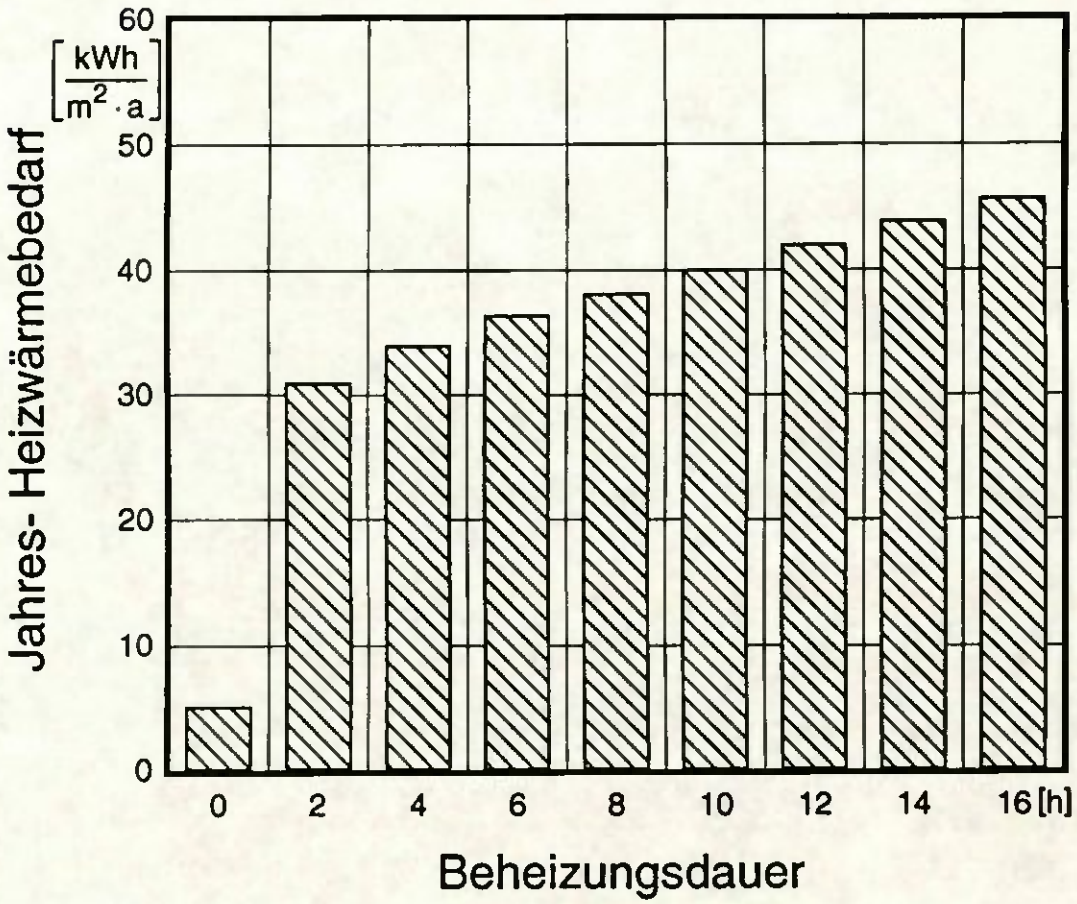


Bild 7-2: Einfluß der täglichen Dauer der Beheizung auf den Jahres-Heizwärmebedarf. Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Beheizungsdauer wie angegeben.

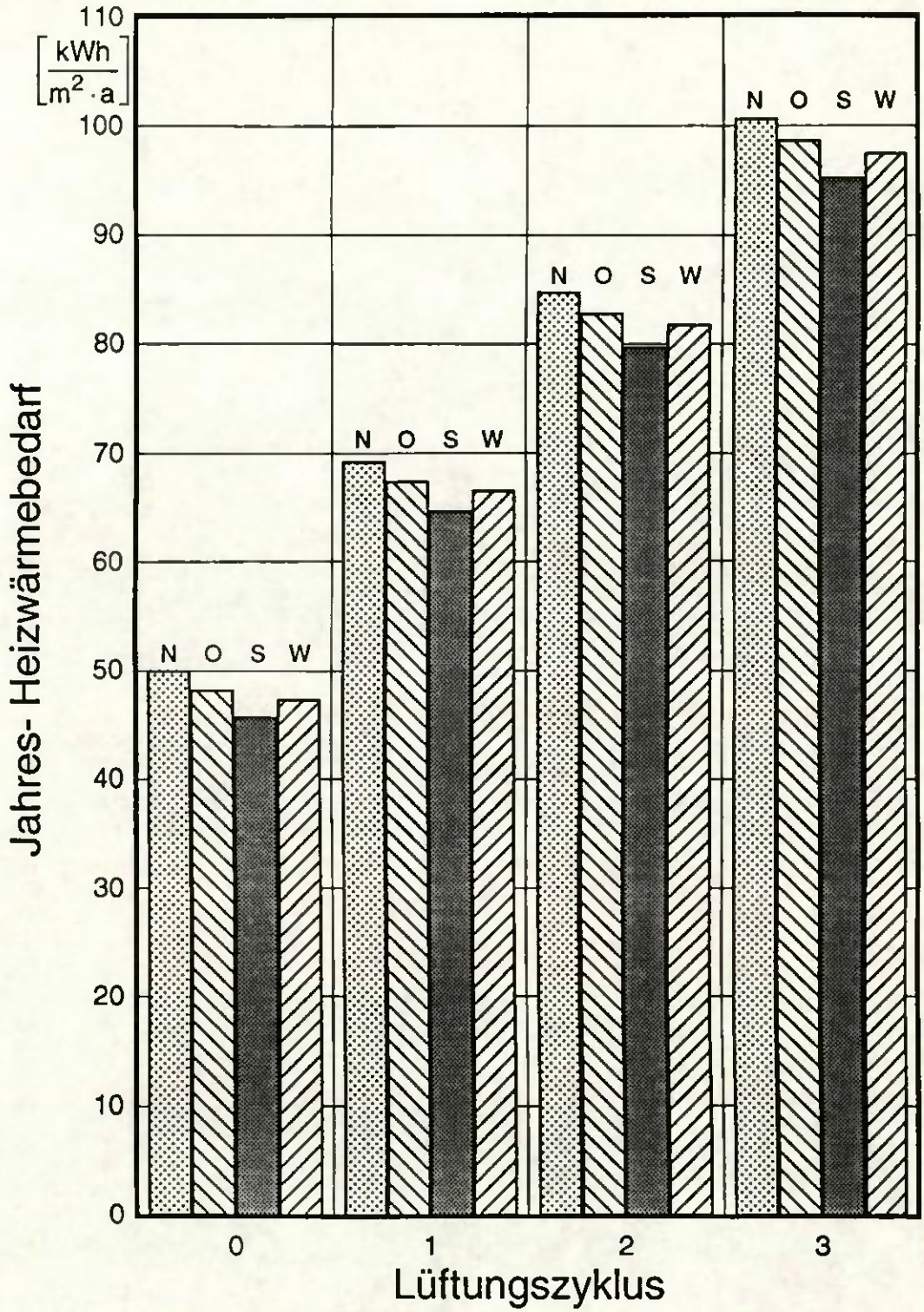


Bild 7-3: Einfluß der zusätzlichen Stoßlüftung in Kinderzimmer 1 und 2, Schlaf- und Wohnzimmer, Bad, Küche, Eßecke und WC auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten:

- Zyklus 0 ≙ Standardfall
- Zyklus 1, wie Zyklus 0, jedoch zusätzlich Stoßlüftung von 8 Uhr bis 9 Uhr mit $n = 5\ h^{-1}$
- Zyklus 2, wie Zyklus 1 zusätzliches Lüften von 12 Uhr bis 13 Uhr mit $n = 5\ h^{-1}$
- Zyklus 3, wie Zyklus 2 zusätzliches Lüften von 17 Uhr bis 18 Uhr mit $n = 5\ h^{-1}$

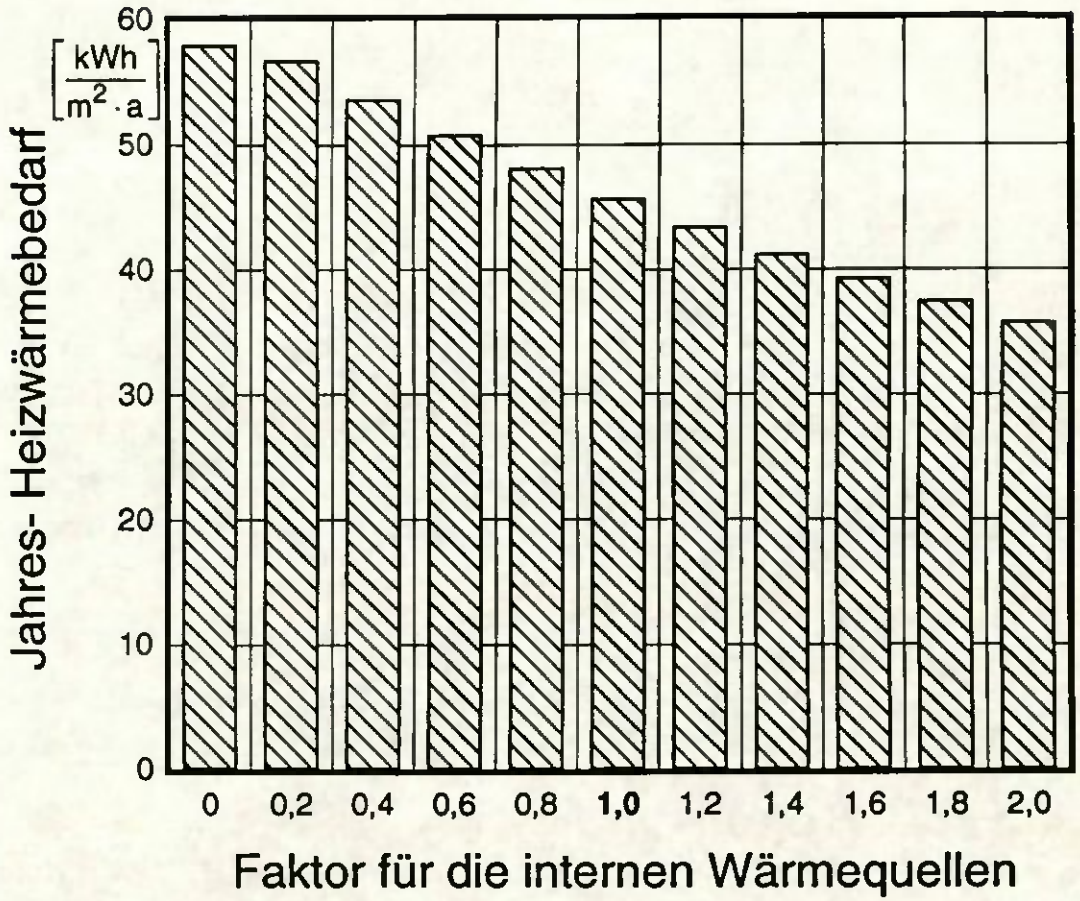


Bild 7-4: Einfluß der internen Wärmequellen auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch modifizierte interne Wärmequellen wie angegeben.

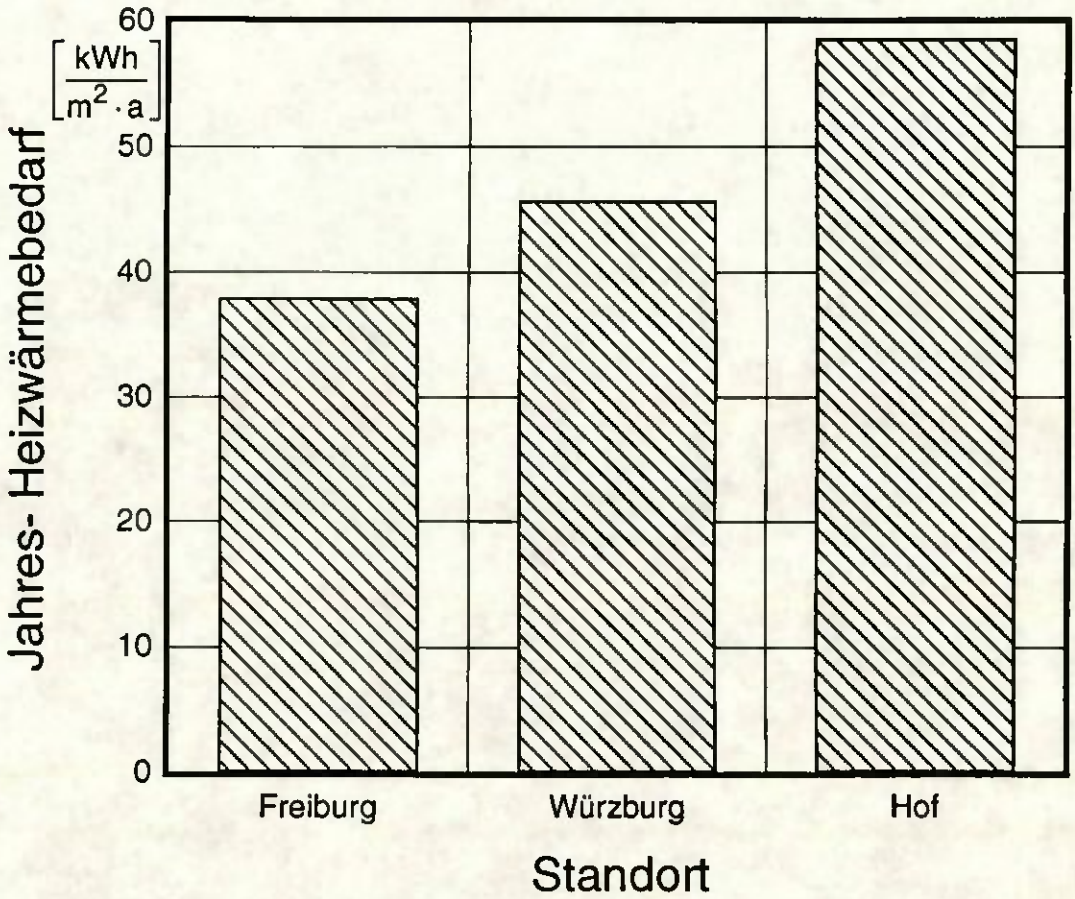


Bild 8-1: Einfluß des Standortes auf den Jahres-Heizwärmebedarf.
Zugrunde gelegte Daten: Standardfall, jedoch Standort wie angegeben.