

# Kostengünstiges und umweltgerechtes Bauen

Niedersächsisches Ministerium  
für Soziales, Frauen, Familie  
und Gesundheit



## Bauen und Energiesparen



Niedersachsen

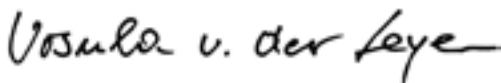


## Vorwort

Energiesparen beim Bauen ist heute fast schon eine Selbstverständlichkeit. Viele Bauherren von Ein- und Mehrfamilienhäusern haben mit Blick in die Zukunft und angesichts hoher Energiekosten schon im „Niedrigenergie-Standard“ gebaut. Dies wird durch die erhöhten Anforderungen der im Dezember 2004 in Kraft getretenen Änderung der Energieeinsparverordnung unterstützt. Diese Anforderungen liegen etwa bei den Werten, die bisher als „Niedrigenergie-Standard“ galten.

Auch die Technischen Anlagen, d. h. Heizung, Warmwasser, Solarenergienutzung u. Ä. tragen zu diesem Standard bei, indem die entsprechenden Qualitäten in die Berechnung eingehen. Das bedeutet aber nicht, dass sich die Bewohner zurücklehnen und das Energiesparen dem Wärmeschutz und der Technik überlassen können. Raumtemperatur, Thermostateinstellung und das Öffnen der Fenster zum Lüften in der Heizungsperiode sollten immer wohl überlegt sein, auch wenn eine Lüftungsanlage den Austausch verbrauchter Raumluft unterstützt. Daher wird in dieser Broschüre neben den technischen Informationen auch auf das Bewohnerverhalten eingegangen.

Wer bauen und sicher Energie sparen will, muss dies bereits bei der Planung berücksichtigen und auf Qualitätssicherung bedacht sein. Im Stadtteil Hannover-Kronsberg wurden hierbei sehr positive Erfahrungen gesammelt, die in diese Informationsschrift Eingang gefunden haben.



Dr. Ursula von der Leyen  
Niedersächsische Ministerin  
für Soziales, Frauen, Familie  
und Gesundheit



# Inhalt

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>5</b>  |
|          | 1.1 Wärmeschutz als Zukunftsaufgabe                                      | 5         |
|          | 1.2 CO <sub>2</sub> -Reduzierung   | 5         |
|          | 1.3 Heizkostenreduzierung  | 6         |
|          | 1.4 Hinweise zur Planung   | 6         |
| <b>2</b> | <b>Berechnungsgrundlage</b>  | <b>7</b>  |
|          | 2.1 Berechnungsvorschriften  | 7         |
|          | 2.2 Europäische Normung  | 9         |
| <b>3</b> | <b>Möglichkeiten der Energieeinsparung</b>                               | <b>13</b> |
|          | 3.1 Reduzierung und Vermeidung von Wärmeverlusten                        | 13        |
|          | 3.1.1 Wärmebrücken   | 15        |
|          | 3.1.2 Luftdichtheit  | 21        |
|          | 3.2 Technische Gebäudeausrüstung   | 24        |
|          | 3.2.1 Heizung/Warmwasser   | 25        |
|          | 3.2.2 Lüftungsanlagen  | 27        |
|          | 3.2.3 Solare Unterstützung   | 28        |
|          | 3.3 Nutzerverhalten  | 30        |
|          | 3.3.1 Heizen   | 30        |
|          | 3.3.2 Lüften   | 31        |
| <b>4</b> | <b>Wärmeschutzstandards</b>  | <b>32</b> |
|          | 4.1 „Niedrigenergie-Standard“  | 32        |
|          | 4.2 „KfW-Energiesparhaus 60“   | 32        |
|          | 4.3 „KfW-Energiesparhaus 40“   | 33        |
|          | 4.4 „Passivhaus“   | 34        |
| <b>5</b> | <b>Energieeinsparung<br/>und Emissionsminderung bei der Stadtplanung</b> | <b>35</b> |
| <b>6</b> | <b>Energetische Qualitätssicherung</b>                                   | <b>37</b> |
| <b>7</b> | <b>Informationsstellen</b>   | <b>39</b> |
| <b>8</b> | <b>Quellennachweis</b>   | <b>40</b> |



# 1 Einleitung

## 1.1 Wärmeschutz als Zukunftsaufgabe

Durch eine Verbesserung der Wärmedämmung von Wohngebäuden lässt sich Energie sparen. Die Energie wird überwiegend durch das Verbrennen von Heizöl oder Erdgas erzeugt und den einzelnen Räumen in Form von Wärme zugeführt.

Bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht nicht nur Wärme, sondern es entstehen auch klimarelevante Abgase. Insbesondere  $\text{CO}_2$  (Kohlendioxid) ist, neben anderen Gasen, an der Verstärkung des Treibhauseffektes beteiligt.

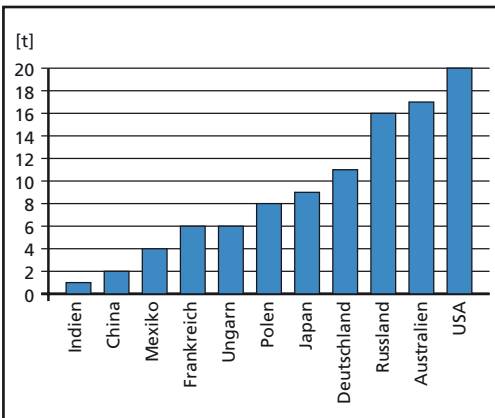


Abb. 1: Kohlendioxidemissionen in Tonnen je Kopf und Jahr (IFB 2002)

Innerhalb der letzten 50 Jahre hat sich der  $\text{CO}_2$ -Anteil der Atmosphäre um 50 % und die Jahresdurchschnittstemperatur um  $0,7^\circ\text{C}$  erhöht. Für die Zukunft sagen die Klimaforscher eine weitere Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur voraus.

Diese Entwicklung muss aufgehalten werden, deshalb ist eine Reduzierung des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes unbedingt erforderlich.

Ein weiteres Problem stellen die begrenzten Vorkommen an fossilen Energieträgern dar. Die Verfügbarkeit fossiler Energieträger wird auf 50 bis 100 Jahre geschätzt. Die derzeitigen Preise für Rohöl und Erdgas werden sich zukünftig weiter erhöhen, insbesondere gegen Ende der Verfügbarkeit werden die Preise exponentiell ansteigen.

## 1.2 $\text{CO}_2$ -Reduzierung

Der bauliche Wärmeschutz von Wohngebäuden hat sich in den letzten Jahrzehnten wesentlich verbessert, infolge dessen ist auch der Verbrauch von fossilen Energieträgern zum Zwecke der Raumheizung zurückgegangen.

Der ungefähre Heizölverbrauch eines zwischen 1940 und 1970 erbauten freistehenden Einfamilienhauses liegt bei 34 Litern je  $\text{m}^2$  Wohnfläche und Jahr. Bei  $150 \text{ m}^2$  Wohnfläche errechnet sich ein Heizölverbrauch (ohne Warmwassererzeugung) von ca. 5.000 Litern im Jahr, und somit ein Ausstoß von ca. 13.100 kg  $\text{CO}_2$ .

Ein freistehendes Einfamilienhaus mit ca.  $150 \text{ m}^2$  Wohnfläche, das nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) errichtet wird, hat einen Heizölverbrauch von ca. 1.270 Litern im Jahr. 1.270 Liter Heizöl verursachen einen Ausstoß von ca. 3.300 kg  $\text{CO}_2$ .

Würde das vorgenannte Einfamilienhaus als „Niedrigenergiehaus“ gebaut, so verringert sich der Heizölverbrauch auf 880 Liter im Jahr und damit der CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf 2.319 kg. Als „Passivhaus“ gebaut, hätte das Gebäude einen Heizölverbrauch von nur noch 225 Litern im Jahr und einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 590 kg.

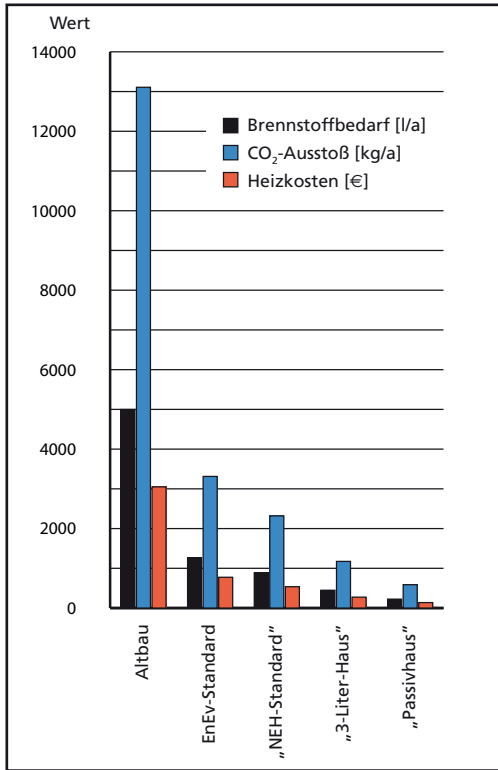


Abb. 2: Vergleich verschiedener Gebäude (IFB 2005)

### 1.3 Heizkostenreduzierung

Neben der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verringern sich auch die Ausgaben für Heizöl, bzw. Erdgas. In der folgenden Tabelle wurden die Kosten anhand eines angenommenen Heizölpreises von 0,61 € je Liter innerhalb einer Heizperiode errechnet.

| Gebäude       | Verbrauch [l] | Kosten [€] |
|---------------|---------------|------------|
| Altbau        | 5.000         | 3.050,00   |
| EnEV-Standard | 1.270         | 774,70     |
| NEH-Standard  | 880           | 536,80     |
| 3-Literhaus   | 450           | 274,50     |
| Passivhaus    | 225           | 137,25     |

Abb. 3: Heizkostenvergleich verschiedener Gebäude (IFB 2005)

Die im Vergleich zum Standard der Energieeinsparverordnung höheren Anforderungen an die Niedrigenergie- und Passivhäuser bringen eine weitere Ersparnis an Heizöl, verursachen aber höhere Baukosten. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Bauart hängt entscheidend von den Preisen für Heizöl und Erdgas ab. Je höher die Preise für fossile Energieträger sind, desto eher lohnt sich die Investition in einen besseren Wärmeschutz finanziell. Für die Umwelt lohnt sich eine solche Investition immer.

### 1.4 Hinweise zur Planung

Das Energiesparen beim Bauen beginnt schon in der Bedarfs- und Planungsphase. Bei der Entwicklung neuer Baugebiete sollte auch darauf geachtet werden, dass sich die einzelnen Gebäude nicht untereinander verschatten. Der Baukörper sollte möglichst kompakt geformt sein und eine günstige Orientierung zur Sonne haben.

Die zur Zeit üblichen Schichtdicken der Wärmedämmung haben sich schon etabliert, Beachtung finden sollten aber die wärmebrückenfreie und luftdichte Ausführung der Gebäudehülle. Nach der EnEV sind auch die Auswirkungen der Anlagentechnik zu beachten. Bau- und Anlagentechnik sollten sinnvoll aufeinander abgestimmt werden.



## 2 Berechnungsgrundlagen

Mit Einführung der Energieeinsparverordnung soll der Primärenergiebedarf und damit auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Gebäuden um weitere 25–30 % gesenkt werden. Da der Primärenergiebedarf und nicht mehr der Heizwärmebedarf als Grenzwert maßgeblich ist, wurde bei der Entwicklung der Energieeinsparverordnung ein neuer methodischer Ansatz gewählt.

Die EnEV fasst die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung zusammen und ermöglicht so eine ganzheitliche Betrachtung der Wärmeverluste und -gewinne der Gebäudehülle und der Anlagentechnik.

Der Bedarf an Warmwasser wird ebenfalls in der Nachweisführung berücksichtigt. Aufgrund der Einführung neuer Grenzwerte und eines vollständig geänderten Nachweisverfahrens sind die Ergebnisse der Wärmeschutzverordnung mit denen der Energieeinsparverordnung nicht vergleichbar. Erstmals wird nun auch der sommerliche Wärmeschutz berücksichtigt.

### 2.1 Berechnungsvorschriften

In Abhängigkeit vom Gebäudetyp, von der Gebäudegröße, dem Fensterflächenanteil und der Art der Beheizung werden in der EnEV die Berechnungsverfahren und maßgeblichen Grenzwerte festgelegt.

In der EnEV werden zwei Grenzwerte aufgeführt, zum einen der Jahresprimärenergiebedarf  $Q_{p,r}$ , der in Abhängigkeit von der Nutzungsweise des Gebäudes entweder flächen- oder volumenbezogen angegeben wird, zum andern der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene, spezifische Transmissionswärmeverlust  $H_T'$ .

Für die Ermittlung von  $Q_p$  werden ein vereinfachtes und ein detailliertes Berechnungsverfahren angeboten.

Im vereinfachten Nachweisverfahren können Wintergärten, transparente Wärmedämmungen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung nicht berücksichtigt werden.

Im detaillierten Nachweisverfahren lassen sich zusätzlich zu den oben genannten Punkten auch die Wärmespeicherkapazität des Gebäudes und genauere Verschattungssituationen des Gebäudes erfassen.

Bei beiden Nachweisverfahren werden die Einflüsse von Wärmebrücken und der Luftdichtheit des Gebäudes berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Anlagenaufwandszahl  $e_p$ , die den Wirkungsgrad der Anlagentechnik ausdrückt, werden drei Verfahren angeboten.

Das Diagrammverfahren ermöglicht eine schnelle Ermittlung von  $e_p$  bei Standardanlagen.

Das Tabellenverfahren arbeitet mit den Standardwerten für die jeweiligen Anlagenkomponenten.

Das ausführliche Verfahren arbeitet mit den günstigeren produktspezifischen Kennwerten für die jeweiligen Anlagenkomponenten.

Generell lässt sich sagen, je detaillierter das Nachweisverfahren durchgeführt wird, desto genauer ist das Ergebnis. In Vergleichsrechnungen zeigten sich Unterschiede im Endergebnis von bis zu 20 % des Jahres-Primärenergiebedarfs zwischen dem vereinfachten und dem ausführlichen Verfahren.

## Welcher Grenzwert, welches Verfahren?

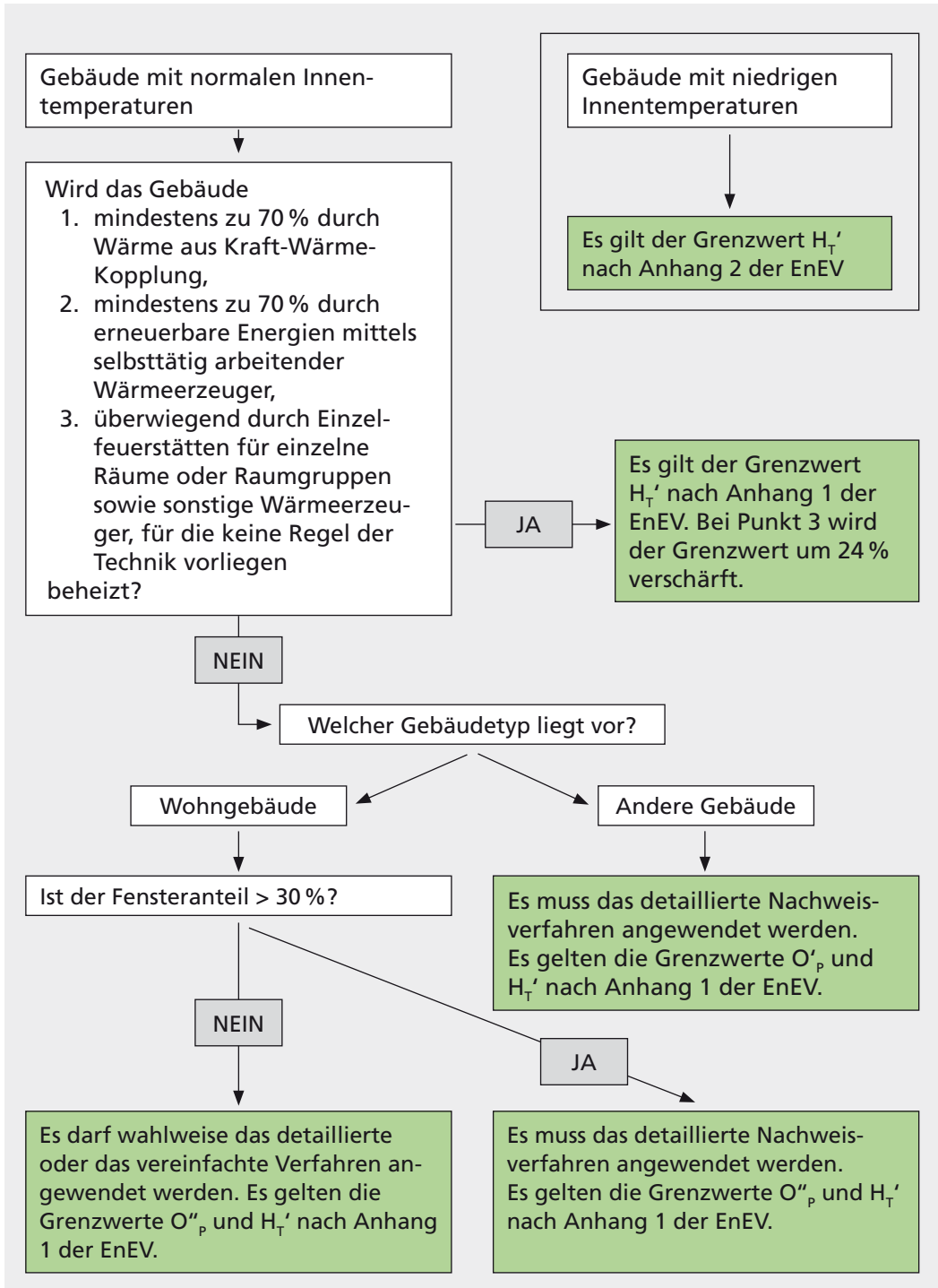


Abb. 4: Ablaufdiagramm (IFB 2005)

## 2.2 Europäische Normung

Mit der Einführung der EnEV werden neben der Wärmeschutzverordnung auch die begleitenden Normen abgelöst und durch neue Normen ersetzt. Die neuen Normen ermöglichen die detaillierten Berechnungen, die in der EnEV gefordert werden und passen die Schreibweise an die Europäische Normung an.

Die zentrale Berechnungsvorschrift ist die DIN EN 832 (2003-06) „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs – Wohngebäude“. Die Norm regelt die wesentlichen Berechnungsansätze auf europäischer Basis.

Für die Bundesrepublik Deutschland wurden die Anforderungen der DIN EN 832 in der Norm DIN V 4108-6 (2004-03) „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“ national umgesetzt.

In der DIN V 4108-6 sind der Berechnungsablauf und die für die Berechnung nach EnEV anzusetzenden Randbedingungen festgeschrieben. Die DIN V 4108-6 behandelt ausschließlich die Wärmegewinne und -verluste der Gebäudehülle. In den einzelnen Kapiteln der DIN V 4108-6 wird auf weitere begleitende Normen verwiesen.

In den begleitenden Normen sind dann die entsprechenden Anweisungen und Algorithmen für die Berechnung von z. B. U-Werten oder der internen Wärmespeicherfähigkeit festgelegt.

Als Ergebnis der Berechnungen nach der DIN V 4108-6 wird der Jahresheizwärmebedarf bzw. der Jahresheizenergiebedarf ermittelt.

Diese Werte allein reichen für die Berechnungen der Anforderungen der EnEV nicht aus.

Die zuvor berechneten Werte des Jahresheizwärmebedarfs und des Jahresheizenergiebedarfs bilden zusammen mit der Nutzfläche des Gebäudes die Basis für die Berechnung des Jahresprimärenergiebedarfs.

Die Berechnung des Jahresprimärenergiebedarfs erfolgt nach der DIN V 4701-10 (2003-08) „Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen“. In dieser Norm sind die anlagentechnischen Kennwerte der jeweiligen Komponente genannt.

Neben den Energieverlusten werden auch die Gewinne der technischen Gebäudeausrüstung berechnet und vom Jahresheizwärmebedarf abgezogen.

Weiterhin sind die drei möglichen Verfahren zur Berechnung der Anlagenaufwandszahl  $e_p$  in dieser Norm beschrieben. Die Anlagenaufwandszahl erlaubt unabhängig vom Endergebnis eine Abschätzung der Qualität der verwendeten Anlagentechnik. Heute übliche Anlagen erreichen einen  $e_p$ -Wert von 1,45. Sehr moderne Anlagen erreichen einen  $e_p$ -Wert von 1,35–1,25. Mit der Anlagenaufwandszahl wird letztendlich der Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes bestimmt.

Neben den neu hinzugefügten Normen wurden auch alte Normen überarbeitet und an den Stand der Technik angepasst.

Die markanteste Änderung hat der Wärmedurchgangskoeffizient erfahren. Bisher hieß dieser Wert k-Wert, von nun an wird er als U-Wert bezeichnet. In den bisherigen Nachweisen wurde der k-Wert im wesentlichen nach DIN 4108-5 „Wärmeschutz im Hochbau – Berechnungsverfahren“ ermittelt.

Für die Ermittlung des U-Wertes werden drei Normen herangezogen, es wird zwischen:

- erdreichberührenden Bauteilen,
- transparenten Bauteilen, und
- Bauteilen (Wände, Dächer)

differenziert. Die Berechnungsmethoden weichen zum Teil erheblich von den bisherigen Verfahren ab.

Für die Berechnung erdreichberührender Bauteile werden in der DIN EN ISO 13370 in Verbindung mit der DIN V 4108-6 drei verschiedene Verfahren angeboten. Die Berechnung kann entweder mit Hilfe des monatlichen Wärmestroms, oder mit monatlichen Temperaturkorrekturfaktoren, oder den Temperaturkorrekturfaktoren für die Heizperiodenbilanzierung erfolgen.

Da nach Europäischer Normung wesentlich mehr Randbedingungen in die Berechnung der Verluste über das Erdreich einfließen (Gebäudegeometrie, Dämmstandard, usw.) lassen sich allgemeine Aussagen über einen Vergleich von k- und U-Wert nicht treffen.

Bei der Berechnung der U-Werte für transparente Bauteile ergeben sich durch die Europäische Normung erhebliche Veränderungen im Vergleich zu

der bisherigen Methode. Während die Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten für die Verglasung kaum Änderungen aufweist, hat sich die Berechnung für die Rahmen grundlegend geändert. Die bisher bekannten Rahmenmaterialgruppen sind nicht mehr vorhanden, als Ersatz wird nun nach den verwendeten Materialien differenziert. Die Wärmebrücke zwischen Verglasung und Rahmen wird ebenfalls berücksichtigt. Für ein Fenster mit den Abmessungen 1,23 m x 1,48 m und einem U-Wert der Verglasung von  $U_g = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  sowie einem Rahmen der Materialgruppe 1 können Unterschiede zwischen den Wärmedurchgangskoeffizienten des gesamten Fensters  $k_f$  und  $U_w$  gemäß der folgenden Tabelle auftreten:

| Rahmenmaterial | $k_f$<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] | $U_w$<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Aluminium      | 1,4                             | 1,7–1,8                         |
| Kunststoff     | 1,4                             | 1,5–1,6                         |
| Holz           | 1,4                             | 1,4–1,6                         |

Abb. 5: U-Werte der Fenster

Bei den übrigen Bauteilen ergeben sich Änderungen bei der Berücksichtigung von Luftschichten und inhomogenen Dämmschichten (z. B. Holzständerwände, usw.). Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen zu unbeheizten Räumen (Wand zur Garage u. Ä.) kann der unbeheizte Raum als Dämmschicht angesetzt werden. Bei einlagig eingebauten Dämmstoffen müssen unter bestimmten Randbedingungen Korrekturfaktoren angesetzt werden. Die Berechnungen sind für die Bearbeiter aufwändiger geworden und die Ergebnisse nicht unbedingt mit den bisher bekannten k-Werten vergleichbar.

Darstellung eines Berechnungsablaufs nach EnEV mit Nennung der zu verwendenden Normen am Beispiel des detaillierten Nachweisverfahrens:

| <b>Schritt</b>   | <b>Berechnungsvorschrift</b>  |
|--|---|
| Bestimmung des Gebäudetyps und Festlegung des Nachweisverfahrens und der maßgeblichen Grenzwerte | Energieeinsparverordnung EnEV 2004  |
| Flächenberechnung der Gebäudehüllfläche  | DIN EN ISO 13789: 1999-10 „Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren“  |
| Berechnung der U-Werte   | DIN EN ISO 6946 (2005-06) „Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren“<br>DIN EN ISO 13370: 1998-12 „Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren“<br>DIN EN ISO 10077-1: 2000-11 „Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Anschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten“ |
| Berechnung der Wärmebrücken  | DIN EN ISO 10211-1 (2002-05) „Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen“  |
| Berechnung von $H'_T$  | DIN EN ISO 13789: 1999-10 „Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren“  |
| Berechnung des beheizten Gebäudevolumens   | DIN EN 832 (2003-06) „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs – Wohngebäude“  |
| Berechnung der Lüftungswärmeverluste   | DIN V 4108-6 (2004-03) „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“  |
| Berechnung der internen Wärmegewinne   | Energieeinsparverordnung EnEV 2004  |
| Berechnung der solaren Wärmegewinne  | DIN V 4108-6 (2004-03) „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“  |
| Berechnung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit  | DIN EN ISO 13786: 1999-12 „Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren“   |
| Monatliche Bilanzierung des Heizwärmebedarfs   | DIN V 4108-6 (2004-03) „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“  |
| Berechnung des Warmwasserbedarfs   | Energieeinsparverordnung EnEV 2004  |
| Berechnung der Anlagenaufwandszahl   | DIN V 4701-10 (2003-08) „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen“  |
| Berechnung des Primärenergiebedarfs  | DIN V 4701-10 (2003-08) „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen“  |

**Abb. 6: Verordnungen und Normen (IFB 2005)**

Der vorstehende Ablauf stellt den detailliertesten Fall der Berechnung nach der EnEV dar. Die detaillierte Berechnung der Wärmebrücken und der wirkamen Wärmespeicherfähigkeit kann entfallen, wenn für die entsprechenden Positionen der Berechnung Pauschalwerte angesetzt werden.

Im Vergleich mit der bisherigen Nachweisführung sind die neuen Berechnungen komplexer geworden. Insbesondere die Vielzahl an Möglichkeiten, die sich den Bearbeitern bei der Aufstellung des Nachweises bieten, erfordern ein fundiertes Wissen sowohl im Bereich der thermischen Bauphysik, wie auch in Fragen der Anlagentechnik. Für viele Architekten und Ingenieure ist die Einführung der EnEV eine neue Herausforderung.

Es ist zwar immer noch möglich, die Nachweise mit einem Taschenrechner oder Rechenschieber von Hand auszuführen, aber unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten empfiehlt sich der Einsatz eines leistungsstarken Computers mit einer ausgereiften und zuverlässigen Software.

Die Berechnung der Wärmebrücken ist ohne EDV kaum möglich, da bei der Berechnung auf die Methode der finiten Elemente zurückgegriffen wird.

Die Unterschiede zwischen dem detaillierten und dem vereinfachten Nachweisverfahren können auf zwei Arten sichtbar gemacht werden, auf der einen Seite verursacht das detaillierte Verfahren einen Mehraufwand, der je nach Berechnungstiefe von 1 bis 8 Stunden betragen kann, auf der anderen Seite lassen sich aber durch eine höhere Berechnungstiefe durchweg günstigere Ergebnisse erzielen. Bei einer Ausschöpfung aller sich bietenden Möglichkeiten

kann das Ergebnis des detaillierten Nachweisverfahrens bei gleichem Wärmedämmstandard und gleicher Anlagentechnik eines Gebäudes um bis zu 20 % günstiger sein.

In jedem Fall sollten die Nachweissteller so früh wie möglich in den Planungsprozess des Gebäudes eingebunden werden, um auf eventuell ungünstige Planungsdetails hinweisen zu können.

### **Definitionen:**

#### **Jahres-Heizwärmebedarf:**

rechnerisch ermittelte jährliche Wärmeeinträge über ein Heizsystem, die zur Aufrechterhaltung einer bestimmten mittleren Temperatur in einem Gebäude benötigt werden.

#### **Jahres-Heizenergiebedarf:**

berechnete Energiemenge, die dem Heizsystem zugeführt werden muss, um den Jahres-Heizwärmebedarf zu decken.

#### **Jahres-Endenergiebedarf:**

berechnete Energiemenge, die zur Deckung des Jahres-Heizenergiebedarfs und des Trinkwasserwärmebedarfs benötigt wird, ohne Berücksichtigung vorgelagerter Prozessketten

#### **Jahres-Primärenergiebedarf:**

berechnete Energiemenge, die zur Deckung des Jahres-Heizenergiebedarfs und des Trinkwasserwärmebedarfs benötigt wird, unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweiligen Brennstoffe entstehen.

### 3 Möglichkeiten der Energieeinsparung

Damit die Möglichkeiten der Energieeinsparung erkannt werden können, muss zunächst auf die Energieverluste hingewiesen werden. Bei einem Wohngebäude teilen sich die Energieverluste z. B. wie folgt auf:

|              |      |
|--------------|------|
| Außenwand:   | 23 % |
| Fenster:     | 22 % |
| Bodenplatte: | 7 %  |
| Decke:       | 8 %  |
| Lüftung:     | 40 % |

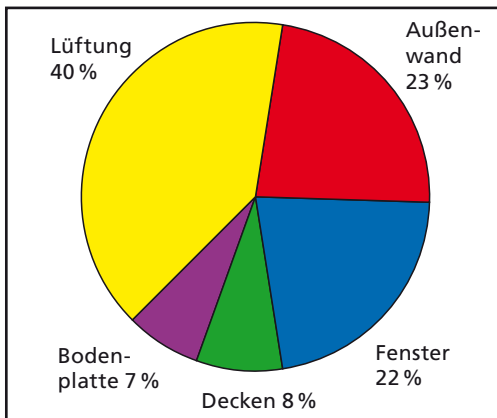


Abb. 7: Verteilung der Wärmeverluste bei einem Einfamilienhaus nach WSVO 95

Die größten Einsparpotenziale werden also durch Reduzierungen der Transmissionswärmeverluste der Fenster und Außenwände, sowie durch eine Verminderung der Lüftungswärmeverluste gebildet.

Weitere Energieverluste treten auf der anlagentechnischen Seite auf. Anlagen, die zur Heizwärme- und Warmwasserbereitung vor ca. 13 Jahren eingebaut wurden, haben eine Anlagenaufwandszahl von über 1,65. Zur Zeit eingebaute Standardanlagen erreichen eine Anlagenaufwandszahl von ca. 1,45. Mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand sind Anlagen mit einer Aufwandszahl von unter 1,30 schon heute realisierbar.

#### 3.1 Reduzierung und Vermeidung von Wärmeverlusten über Bauteile

In der EnEV werden für erstmaligen Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nachstehende Höchstwerte festgelegt:

| Bauteil   | $U_{\max}$<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] |
|---|--------------------------------------|
| Außenwände  | 0,45                                 |
| Fenster   | 1,70                                 |
| Decken, Dächer und Dachschrägen                       | 0,30                                 |
| Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich | 0,40                                 |

Abb. 8: Zulässige U-Werte bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung

Die oben genannten Werte werden bereits heute von Standardbauteilen leicht erreicht und teilweise deutlich unterschritten.

Mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreichbare Werte sind nachstehend aufgeführt:

| Bauteil   | $U_{\max}$<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] |
|---|--------------------------------------|
| Außenwände  | 0,26                                 |
| Fenster   | 1,30                                 |
| Decken, Dächer und Dachschrägen                       | 0,21                                 |
| Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich | 0,21–0,29                            |

Abb. 9: Erreichbare U-Werte

Konstruktionsbeispiele für die Erfüllung der Mindestanforderungen:

Außenwände:

- monolithische Außenwand 36,5 cm dick und mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,18 W/(mK)
- Außenwand mit 17,5 cm Dicke und einem 8 cm dicken Wärmedämmverbundsystem

Fenster:

- Verglasung mit einem U-Wert von 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) und einem Holzrahmen mit einem U-Wert von 2,0 W/(m<sup>2</sup>K)

Decken, Dächer und Dachschrägen:

- Holzsparrenkonstruktion mit einem Holzanteil von 10 % und einer Gefachdämmung von 14 cm Dicke und einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)

Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich:

- 18 cm Stahlbetonbodenplatte, 4 cm Estrich, 8 cm Wärmedämmung mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)
- Kelleraußenwand 17,5 cm dick und einer 8 cm dicken Perimeterdämmung mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)
- Oberste Geschossdecke aus 18 cm Stahlbeton und mit einer 8 cm dicken Wärmedämmung mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)

Konstruktionsbeispiele für heute sinnvolle Anwendungen:

Außenwände:

- Außenwand 17,5 cm dick und mit einem 12 cm Wärmedämmverbundsystem
- Außenwand 17,5 cm dick und mit einer 12 cm Kerndämmung und einer Klinkerschale

Fenster:

- Verglasung mit einem U-Wert von 1,1 W/(m<sup>2</sup>K) und einem Holzrahmen mit einem U-Wert von 1,6 W/(m<sup>2</sup>K)

Decken, Dächer und Dachschrägen:

- Holzsparrenkonstruktion mit einem Holzanteil von 10 % und einer Gefachdämmung von 20 cm Dicke und einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)

Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich:

- 18 cm Stahlbetonbodenplatte, 4 cm Estrich, 16 cm Wärmedämmung mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)
- Kelleraußenwand 17,5 cm dick und einer 16 cm dicken Perimeterdämmung mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)
- Oberste Geschossdecke aus 18 cm Stahlbeton und mit einer 20 cm dicken Wärmedämmung mit einem  $\lambda$ -Wert von 0,035 W/(mK)



### 3.1.1 Wärmebrücken

Neben den Transmissionswärmeverlusten der Bauteile über die gesamte Bauteilfläche kommen noch Wärmeverluste durch Wärmebrücken an den Anschlussstellen und/oder Bauteildurchdringungen hinzu.

Wärmebrücken sind Bereiche, in denen ein erhöhter Abfluss der Wärme auftritt. Durch den erhöhten Wärmeabfluss im Bereich einer Wärmebrücke kommt es, neben Wärmeverlusten, auch zu einem Absinken der raumseitigen Oberflächentemperatur. Wenn die Temperatur zu stark absinkt, bildet sich auf der Bauteiloberfläche Schwitzwasser, das zu Schimmelpilzbefall führen kann.

Wärmebrücken werden in zwei Arten eingeteilt:

- geometrische Wärmebrücken
- konstruktive Wärmebrücken

Die beiden Arten von Wärmebrücken können auch kombiniert auftreten.

Geometrische Wärmebrücken treten überall dort auf, wo die innere Bauteiloberfläche kleiner als die äußere Bauteiloberfläche ist (zum Beispiel an Außenwänden). Sie lassen sich kaum vermeiden. Durch eine gute Wärmedämmung lässt sich aber eine zu geringe raumseitige Oberflächentemperatur verhindern.

Bei der Berechnung von Wärmebrücken wird von einer raumseitigen Temperatur von 20°C ausgegangen, die Außentemperatur liegt bei -10°C.

Die Abbildungen 10, 11 und 12 zeigen die geometrische Wärmebrücke „Außenwandecke“.

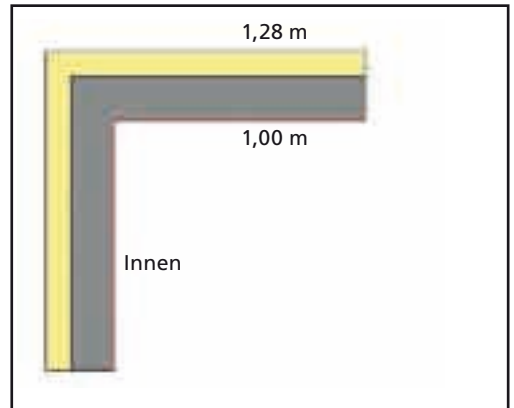


Abb. 10: Darstellung des Bauteils

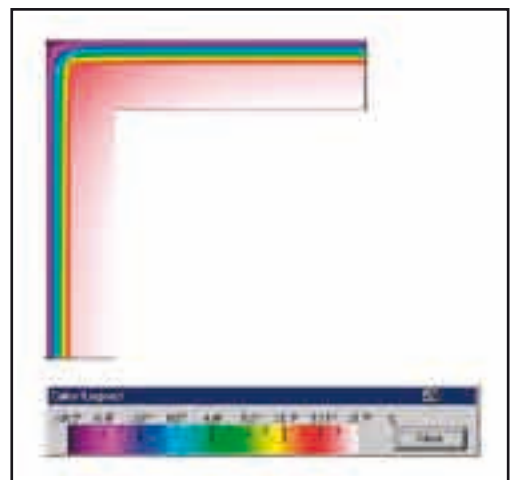


Abb. 11: Darstellung der Temperaturverteilung

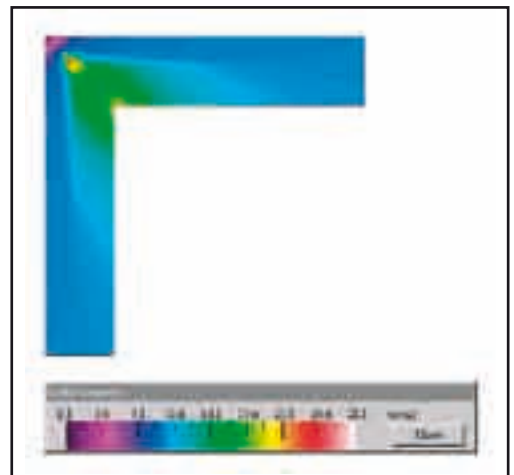


Abb. 12: Darstellung der Wärmestromdichte

Konstruktive Wärmebrücken entstehen, wenn der Bauteilaufbau von Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit durchdrungen wird.

Ungedämmte Pfeiler, Stützen, Säulen, Deckenaufleger und auskragende Balkonplatten, Träger aus Stahlbeton bzw. Stahl, bilden wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit ihres Materials konstruktive Wärmebrücken.

Das nebenstehende Beispiel zeigt eine konstruktive Wärmebrücke. Aus statischen Erfordernissen wurde eine Stahlstütze innerhalb einer Holzstahlrahmenkonstruktion angeordnet.

Das mittlere Bild zeigt den Verlauf der Isothermen durch das Bauteil. Isothermen sind Bereiche gleicher Temperatur. Die Störungen der Isothermen durch die Stahlstütze sind deutlich sichtbar. Die Temperatur an der raumseitigen Bauteiloberfläche liegt bei ungefähr 12°C und damit nur knapp über der Taupunkttemperatur.

Das untere Bild zeigt die Wärmestromdichte des Bauteils. Die Wärmestromdichte zeigt an, wie viel Wärme über das Bauteil abfließt. Die Stahlstütze zeichnet sich in der Darstellung des Wärmestromes deutlich ab.

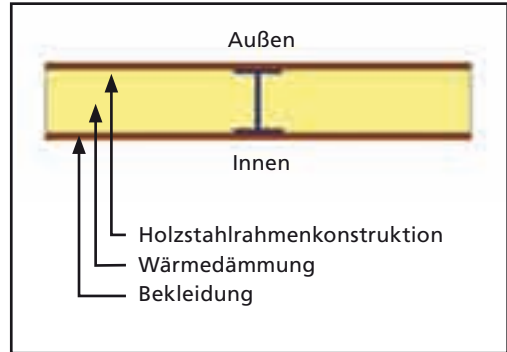


Abb. 13: Horizontalschnitt einer konstruktiven Wärmebrücke

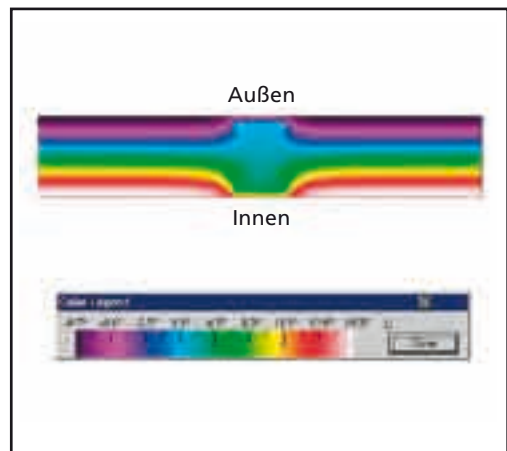


Abb. 14: Isothermenverlauf innerhalb des Bauteils

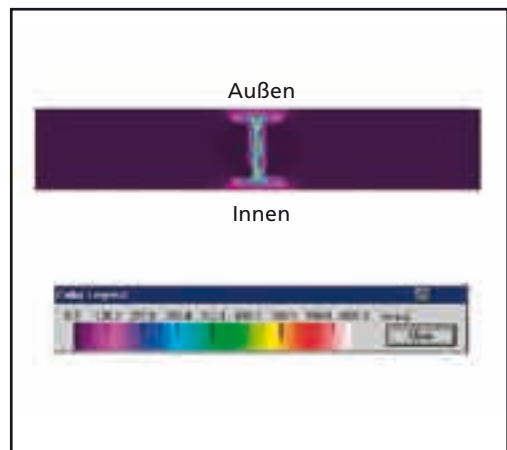


Abb. 15: Darstellung der Wärmestromdichte innerhalb des Bauteils

Ein typischer Punkt, an dem beide Wärmehbrückenarten zusammenwirken ist die Ausbildung des Fundamentes.

Gemäß der DIN 1054 muss die Gründungssohle frostfrei liegen, mindestens jedoch 0,8 m unter Geländeoberkante.

Damit diese Tiefe erreicht werden kann, wird ein Streifenfundament an den Gebäudeseiten aus Beton bzw. Stahlbeton gegossen und auf die erforderliche Tiefe geführt. Auf diesem Streifenfundament ruht später die Bodenplatte.

Streifenfundamente werden oft auch als „Frostschürzen“ bezeichnet, die verhindern sollen, dass der Bodenfrost unter die Bodenplatte gelangt und diese dann anhebt. Die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs wird mit  $2,0 \text{ W}/(\text{mK})$  angesetzt. Die Wärmeleitfähigkeit des Betons beträgt  $2,1 \text{ W}/(\text{mK})$ . Beton leitet also die Wärme, oder in diesem Fall die Kälte, besser als das Erdreich, aus diesem Grund kann das Streifenfundament den Bodenfrost nicht aufhalten.

Trotz der oben beschriebenen Problematik treten Frostprobleme in der Regel aus zwei Gründen nicht auf.

1. Die Annahmen gehen davon aus, dass der Boden bis in eine Tiefe von 0,8 m unter Geländeoberkante vollständig durchfriert. Eine solche Frosttiefe kommt nur dann vor, wenn über Wochen die Außentemperatur unter  $-15^\circ\text{C}$  liegt.
2. Durch die Wärmeabstrahlung des Gebäudes würde die Temperatur des Erdreichs in der Nähe der Fundamente auch bei längeren Frostperioden oberhalb des Gefrierpunktes liegen.

In skandinavischen Ländern wird auf diese Art der Gründung verzichtet. Dort wird unterhalb der Bodenplatte ein Kiesbett mit einer kapillarbrechenden Körnungslinie angeordnet. So wird verhindert, dass Bodenfeuchte an das Gebäude gelangt und dort gefriert. Als nächste Schicht wird ein druckfester Wärmedämmstoff angeordnet, der den Wärmeabfluss über das Erdreich minimiert. Anschließend wird ein normaler Fußbodenaufbau mit Bodenplatte, einer weiteren Dämmebene, Estrich und Bodenbelag eingebaut.

Die unter der Bodenplatte eingebaute Dämmschicht kann an die Dämmschichten der Außenwände angeschlossen und der Wärmeverlust an diesem Detailpunkt minimiert werden.



**Abb. 16:** Dämmung unterhalb der Bodenplatte. Im vorderen Bildbereich ist die Perimeterdämmung zu sehen, die an das Wärmedämmverbundsystem angeschlossen wird.

### Streifenfundament

Nebstehend ist die problematische Variante eines Streifenfundamentes abgebildet. Die grün dargestellten Bereiche bilden die Dämmschichten.

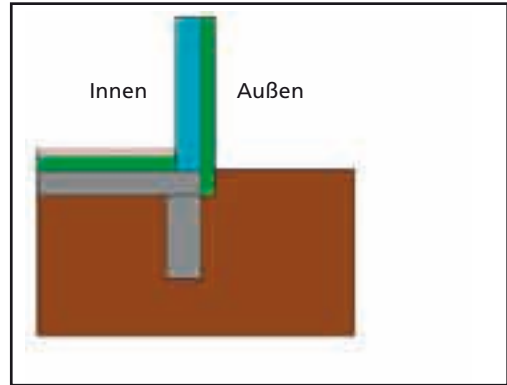


Abb. 17: Darstellung des Bauteils

In der Darstellung ist der Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils sichtbar. Die Oberflächentemperatur an der Innenecke liegt in der Nähe der Taupunkttemperatur. Bei unzureichender Beheizung besteht hier die Gefahr eines Tauwasserausfalls. Die Lage der Dämmschichten ist gut zu erkennen.

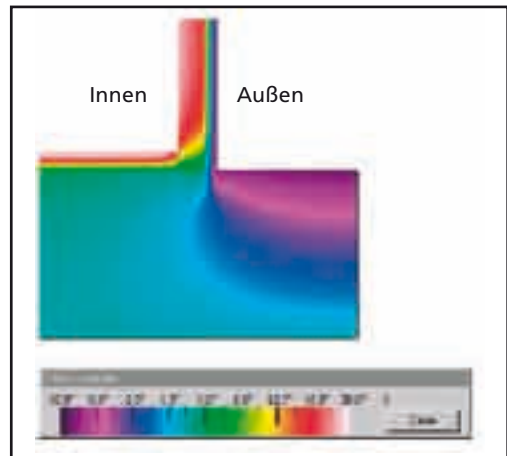


Abb. 18: Darstellung des Isothermenverlaufs innerhalb des Bauteils

Aus der Darstellung der Wärmestromdichte ist der Weg, den die Wärme durch das Bauteil hindurch nimmt, deutlich zu erkennen.

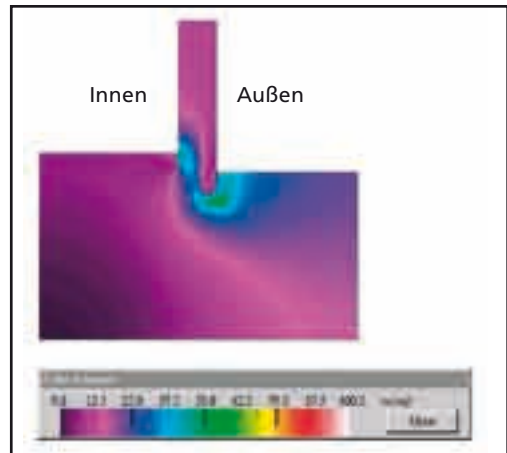


Abb. 19: Darstellung der Wärmestromdichte innerhalb des Bauteils

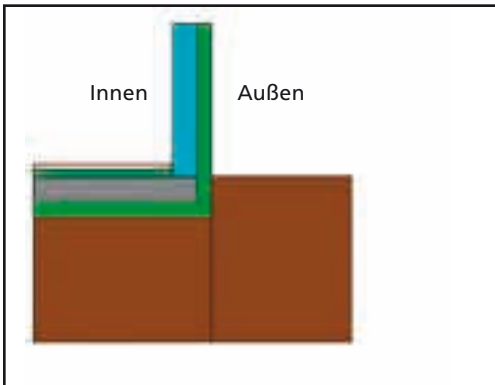


Abb. 20: Darstellung des Bauteils

### Flachgründung

In der nebenstehenden Abbildung wird die Variante ohne Streifenfundament dargestellt. Die grün dargestellten Bereiche bilden die Dämmschichten.

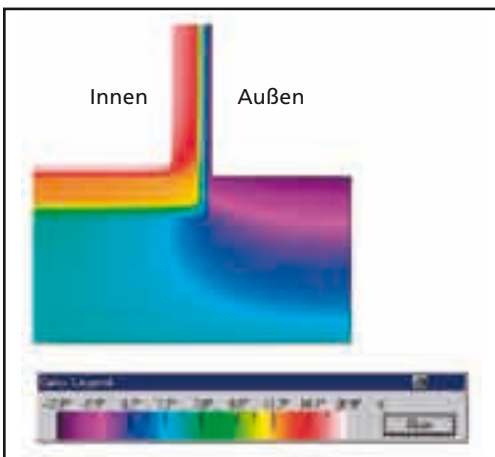


Abb. 21: Darstellung des Isothermenverlaufs innerhalb des Bauteils

Die Darstellung der Temperaturen innerhalb des Bauteils und an den Bauteiloberflächen zeigt, dass eine Tauwassergefährdung nicht gegeben ist. Die Lage der Dämmschichten ist gut zu erkennen.

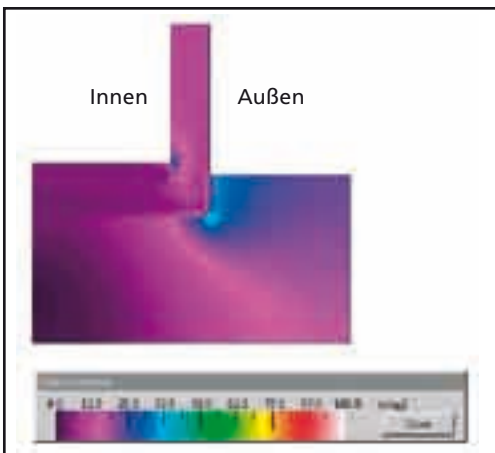


Abb. 22: Darstellung der Wärmestromdichte innerhalb des Bauteils

Die maximal auftretende Wärmestromdichte beträgt nur einen Bruchteil der Wärmestromdichte der problematischen Variante mit Streifenfundament.

Neben den bisher prinzipiell angesprochenen Wärmebrücken kommen in der Praxis typische Wärmebrücken vor.

### **Rollladenkästen**

Die effektiv wirkende Dämmschicht eines Rollladenkastens ist z. B. mit der übrigen Fassade kaum vergleichbar. Innerhalb des Rollladenkastens kommen maximal 5 cm Dämmstoff zum Einsatz. An der übrigen Fassade werden Schichtdicken von mehr als 10 cm Dämmstoff eingesetzt. Ein weiteres Problem ist die Luftdichtheit des Kastens. Sobald der Rollladen manuell über einen Gurt bedient wird, ist die Konstruktion an der Gurtdurchführung undicht und Zugscheinungen sind deutlich fühlbar.

Abhilfe schafft nur die Anordnung des Rollladenkastens außerhalb der Dämmebene bei gleichzeitiger Verwendung eines elektrischen Antriebs.

### **Fenster und Türanschluss**

Der Übergang des Fenster- oder Türrahmens zur tragenden Konstruktion bildet eine Wärmebrücke, da der Fenster- oder Türrahmen eine höhere Wärmeleitfähigkeit als die Außenwand hat.

Bisher wurden die Rahmen in Materialgruppen eingeteilt und es wurde in Verbindung mit dem Wärmedurchgangswiderstand der Verglasung wurde der Gesamtwärmedurchgangswiderstand des Fensters errechnet.

In der neuen Norm EN ISO 10077-1 werden die Wärmedurchgangswiderstände der verschiedenen Rahmen anhand des verwendeten Materials und der ausgeführten Dicke errechnet. Die im Moment verwendeten Kunststoffrahmen erreichen U-Werte von  $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Holzrahmen haben einen U-Wert von  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Beide U-Werte lassen sich durch die Verwendung von Wärme-

dämmstoffen innerhalb des Rahmens verbessern.

Damit die Wärmebrückenwirkung reduziert werden kann, sollten die Rahmen durch den Dämmstoff überdeckt werden und der Rahmen bereits einen möglichst guten Wärmedurchgangswiderstand haben.

### **Einschubtreppe**

Eine Einschubtreppe ermöglicht z. B. den Zugang zum Spitzboden, der dann als Abstellraum genutzt werden kann. Die Decke zum Spitzboden ist üblicherweise als Holzbalkendecke ausgeführt, in den Feldbereichen werden bis zu 20 cm Dämmstoff eingebaut. Durch diese Konstruktion wird ein U-Wert von  $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und besser erreicht.

Die Einschubtreppe besteht oft nur aus einer ca. 2 cm dicken Holzplatte, auf der dann die eigentliche Einschubtreppe befestigt wird. Die Konstruktion erreicht einen U-Wert von  $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Zu den relativ hohen Transmissionswärmeverlusten kommen noch Lüftungswärmeverluste, da schon nach kurzer Zeit die Spannfedern etwas nachgeben und die warme Luft aus den Wohnräumen in den Spitzboden entweichen kann.

Abhilfe kann hier durch eine gedämmte Einschubtreppe geschaffen werden, die mit einer umlaufenden Gummidichtung ausgerüstet ist. Diese Einschubtreppe wird nicht durch Federkraft gehalten, sondern mit einem Hebel verriegelt, so dass eine dauerhafte Luftdichtheit gewährleistet ist.

### 3.1.2 Luftdichtheit

Neben den Wärmeverlusten durch Außenbauteile und Wärmebrücken stellen die Lüftungswärmeverluste einen erheblichen Posten in der Bilanzierung eines Gebäudes dar.

Lüftungswärmeverluste sind die Wärmeverluste, die durch eine ungewollte und somit unkontrollierte Gebäudebelüftung entstehen. Diese Gebäudebelüftung erfolgt insbesondere über schlecht abgedichtete Fugen der Bauteile untereinander, über Fehlstellen in der Gebäudehülle und ungeeignete, weil nicht luftdichte, Materialien.

Wird ein solches Gebäude durch Wind angeströmt, tritt der Wind an der Druckseite in das Gebäude ein und auf der Sogseite wieder aus. Bei zwei- oder mehrgeschossigen Gebäuden kann sich innerhalb des Gebäudes eine Thermik einstellen. Im Falle einer durch Thermik bedingten Luftströmung steigt warme Luft innerhalb des Gebäudes auf und entweicht über Undichtheiten im Dachgeschoss. In den unteren Geschossen bildet sich deshalb ein Unterdruck, der durch nachströmende Außenluft ausgeglichen wird.

Durch diese Strömungen wird warme Innenluft durch die Leckagen nach außen abgeführt. Dieser Wärmeverlust muss durch zusätzliche Heizenergie kompensiert werden. Die Luftströmungen sind als Zugscheinungen deutlich spürbar.

Die Wärmeverluste sind allerdings nicht die einzigen Nachteile einer unkontrollierten Gebäudebelüftung. Hinzu kommt noch die Gefahr von möglichen Bauschäden, die dann entstehen, wenn sich die warme Innenluft auf dem Weg durch die Baukonstruktion abkühlt und die gespeicherte Luftfeuchte als Tauwasser ausfällt. Dieser Effekt führt zu-

nächst zu einer Feuchtezunahme des Bauteils und kann letztendlich zu Stock- und Schimmelpilzflecken führen.

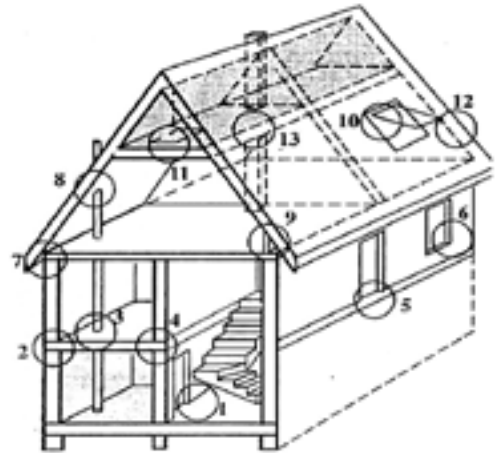


Abb. 23: Häufige Luftundichtheiten bei Niedrigenergiehäusern

- 1 Tür zwischen beheiztem Kellerflur und Kellerraum
- 2 Anschluss der Kellerdecke an die Außenwand
- 3 Durchführung der Sanitärleitung durch die Decke über kaltem Keller
- 4 Durchführung der Kellerdecke durch die Innenwand
- 5 Anschlüsse der Außentür
- 6 Fenster- und Fensterbankanschlüsse
- 7 Übergang der Außenwand zur Luftdichtungsebene des Schrägdaches
- 8 Durchführung der Sanitärleitung
- 9 Anschlüsse der Luftdichtungsebene an die Drempe abmauerung
- 10 Anschluss des Dachflächenfensters
- 11 Anschluss der Bodenluke
- 12 Anschluss der Luftdichtungsebenen an die Giebelmauern
- 13 Schornsteindurchführungen



Für Häuser mit Lüftungsanlagen muss die Luftdichtheit auf jeden Fall gewährleistet sein. Solche Gebäude werden in Zuluft-, Überström- und Abluftzonen eingeteilt. Die Zuluft wird über Zuluftzonen (Schlafzimmer, Wohnzimmer, Kinderzimmer usw.) in die Wohnung eingebracht und strömt über die Zuluftzone (Flur) zu den Abluftzonen (Bad, WC, Küche usw.). Durch diese Art der Versorgung wird eine ausreichende Belüftung für alle Räume einer Wohnung sichergestellt. Undichtheiten in der Gebäudehülle würden die von der Lüftungsanlage erzeugten Druckunterschiede empfindlich stören und eine ausreichende Belüftung erschweren.

Bei Mehrfamilienhäusern in Geschossbauweise ist neben der Luftdichtheit der Gebäudehülle auch die Luftdichtheit der einzelnen Wohnungen untereinander wichtig. In diesen Gebäuden werden die Ver- und Entsorgungsleitungen üblicherweise in vertikal verlaufenden Schächten untergebracht. Die hier auftretenden Problempunkte sind die Leitungsdurchführungen in den Geschosdecken. Werden die Durchführungen nicht sorgfältig abgedichtet, entsteht ein Luftverbund zwischen getrennten Wohneinheiten. Durch diesen Luftverbund können Schallwellen nahezu ungehindert von einer Wohnung auf die andere Wohnung übertragen werden. Auf dem selben Weg können sich auch Rauchgase bei einem eventuell auftretenden Brandfall im gesamten Gebäude ausbreiten.

Die vorgenannten Probleme, die durch eine mangelhafte Luftdichtheit entstehen können, sind keinesfalls neu. Bereits in den 60er Jahren wurde in der DIN 4108 darauf hingewiesen. Mit Einführung der WSV 95 und der DIN 4108-7 wurde die Luftdichtheit der Gebäudehülle verbindlich vorgeschrieben.

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle lässt sich messtechnisch mit einem Differenzdruckverfahren (Blower-Door-Test) überprüfen.



Abb. 24: Blower-Door-Messung

Für den Blower-Door-Test wird ein leistungsstarkes Gebläse luftdicht in eine Eingangs- oder Balkontür eingebaut. Nachdem alle geplanten Öffnungen der Gebäudehülle verschlossen worden sind, wird zunächst ein konstanter Unterdruck von 50 Pascal aufgebaut und die Gebäudehülle auf Undichtheiten abgesehen. Die Quantifizierung der gefundenen Undichtheiten erfolgt mit einem Thermoanemometer. Das Gerät misst



die Geschwindigkeit der einströmenden Außenluft und gestattet so eine Bewertung der Undichtheit. Bei indifferenten Leckageverhältnissen wird ein Überdruck erzeugt und ein Nebelgenerator eingesetzt. Der austretende Nebel zeigt dann eindeutig die Leckage an.

Nach der Leckagesuche erfolgt der Unterdrucktest und anschließend der Überdrucktest. Für jeden Test werden Punkte von 30 bis 60 Pascal angesteuert und der dazugehörige Volumenstrom des Gebläses festgehalten. Der Volumenstrom entspricht der Menge an Luft, die durch die Leckagen in das Gebäude einströmt. Die Auswertung erfolgt, indem das tatsächlich vorhandene Gebäudeluftvolumen durch den gemessenen Volumenstrom geteilt wird. Der Mittelwert aus beiden Testergebnissen bildet das Endergebnis und wird als  $n_{50}$ -Wert in der Einheit [ $h^{-1}$ ] angegeben. Ein  $n_{50}$ -Wert von  $1,0 h^{-1}$  bedeutet, dass das Gebäudevolumen einmal in der Stunde ausgetauscht wird. Der Blower-Door-Test wird gemäß den Vorgaben der DIN V 4108-7 nach ISO 9972 durchgeführt.

In der EnEV sind die Höchstwerte im Anhang 4 Punkt 2 festgeschrieben. (Der Wert für das „Passivhaus“ wurde vom „Passivhausinstitut“ festgelegt.)

| Gebäude                          | $n_{50}$ [ $h^{-1}$ ] |
|----------------------------------|-----------------------|
| ohne raumluft-technische Anlagen | 3,0                   |
| mit raumluft-technischen Anlagen | 1,5                   |
| Passivhäuser                     | 0,6                   |

Abb. 25: Grenzwerte

Die Grenzwerte werden mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäude schärfer, weil die Lüftungswär-

meverluste bei steigender Dämmung der Gebäudehülle einen immer höheren Anteil annehmen.

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wird aber trotz ihrer Notwendigkeit immer noch kontrovers diskutiert. Allgemein herrscht die Meinung vor, dass ein luftdichtes Gebäude schädlich für die Bewohner sei, da nur geringe Luftmengen hereinkommen. Die notwendige Belüftung eines Gebäudes erfolgt über eine geregelte Fensterlüftung oder über eine raumlufttechnische Anlage.

Wenn ein Gebäude über Undichtheiten in der Gebäudehülle belüftet werden soll, dann muss der  $n_{50}$ -Wert bei ungefähr  $20 h^{-1}$  liegen, damit auch an windstillen Tagen durch Thermik innerhalb des Gebäudes der erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt werden kann. An windreichen Tagen wären die Undichtheiten aber ebenfalls vorhanden und die dadurch im Gebäude auftretenden Luftströmungen würden einen 11-fachen realen Luftwechsel verursachen und damit ein behagliches Wohnen verhindern.

Ein weiterer Begriff, der im Zusammenhang mit einer luftdichten Gebäudehülle immer wieder fällt, ist die „atmende“ Wand. Wände können nicht atmen, sie können höchstens durch Aufnahme und Abgabe von Luftfeuchtigkeit einen positiven Beitrag zum Raumklima leisten, aber auch nur dann, wenn sie nicht durch Dispersionsfarben o. Ä. daran gehindert werden.

### 3.2 Technische Gebäudeausrüstung

In der Energieeinsparverordnung werden neben den Energieverlusten der Gebäudehülle und den Lüftungswärmeverlusten erstmals auch die Verluste der technischen Gebäudeausrüstung berücksichtigt. Zur technischen Gebäudeausrüstung gehören in diesem Sinne:

- die Anlagen zur Heizwärmeerzeugung,
- die Anlagen zur Warmwassererzeugung,
- raumlufttechnische Anlagen.

Für den zu rechnenden Nachweis wird jede Anlage in Prozessbereiche unterteilt. Die Energieverluste der einzelnen Prozessbereiche werden errechnet und zu einem Ergebnis zusammengefasst. Die Ergebnisse der einzelnen Anlagen werden zu einem Gesamtergebnis, der Anlagenaufwandszahl  $e_p$ , zusammengefasst. Neben den Brennstoffen zur Wärmeerzeugung wird auch der elektrische

Strom zur Versorgung von Pumpen und Steuergeräten berücksichtigt. Durch eine geschickte Planung können Energieverluste der jeweiligen Prozessbereiche erheblich reduziert werden. Die Prozessbereiche umfassen im einzelnen:

#### Übergabe

Dieser Prozessbereich beschreibt die Übergabe der Heizwärme, des Warmwassers und ggf. der Frischluft an den Nutzer.

Im Falle der Heizwärmeübergabe wirkt sich die Anordnung der Heizkörper an den Außenwänden in Verbindung mit modernen Regelventilen besonders günstig aus.

#### Verteilung

Mit diesem Prozessbereich wird die Weiterleitung der Heizwärme, des Warmwassers und ggf. der Frischluft von der Speicherung bzw. direkt vom Erzeuger zu den Übergabestationen beschrieben.

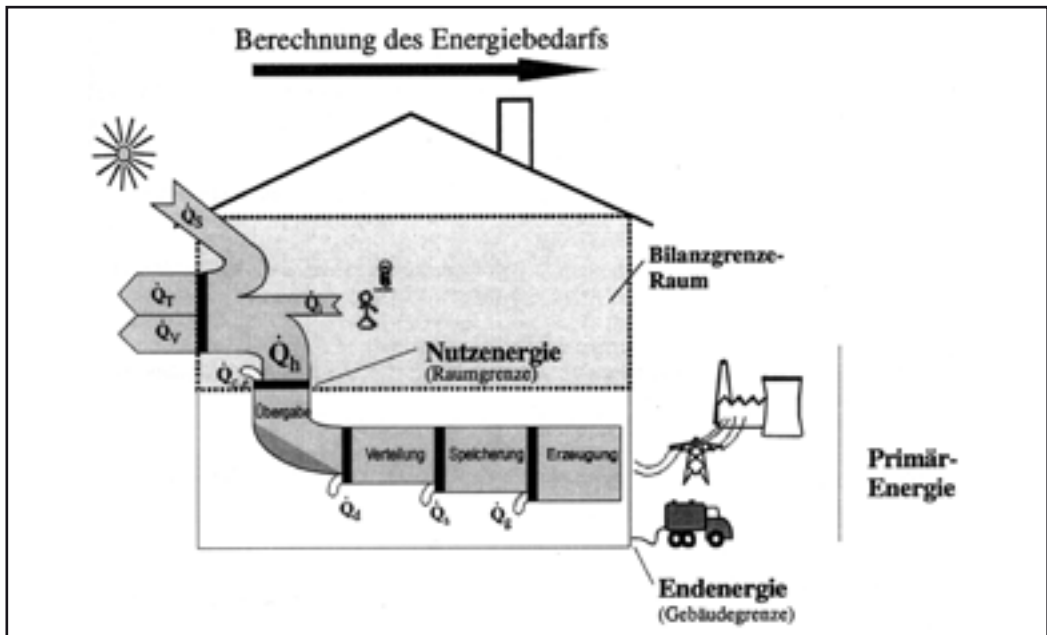


Abb. 26: Berechnung des Energiebedarfs in Richtung der Bedarfsentwicklung

Die Verteilungen sollten innerhalb, nicht außerhalb (energetisch ungünstig) der gedämmten Gebäudehülle untergebracht sein. Im Heizkreislauf vorhandene Pumpen werden dabei ebenfalls berücksichtigt. Geregelt Pumpen haben einen Vorteil gegenüber unregulierten Pumpen, da die Leistung bedarfsgerecht gesteuert werden kann.

Die Verteilung der Warmwasserleitungen wird ähnlich wie die Verteilung des Heizkreises betrachtet. Bei der Wasserversorgung wird zwischen Gebäuden mit bzw. ohne Zirkulationsleitungen unterschieden. Eine Zirkulationsleitung ist zwar energetisch ungünstiger, bietet aber Komfort- und Verbrauchsvorteile.

### **Speicherung**

Dieser Prozessbereich bewertet eine vorhandene Speicherung der Wärme. Während bei der Heizwärmeversorgung eine Speicherung in den meisten Fällen entfallen kann, ist die Speicherung auf der Warmwasserseite notwendig. Energetisch günstige Speicher sind indirekt beheizte Speicher, die innerhalb der gedämmten Gebäudehülle untergebracht werden.

### **Erzeugung**

Der Prozessbereich Erzeugung bewertet die jeweiligen Wärmeerzeuger für Heizwärme und Warmwasser. Die Erzeuger können Heizkessel, Wärmepumpen, Solaranlagen oder kombinierte Systeme sein. Neue innovative Wärmeerzeuger stellen energetisch günstige Lösungen dar.

### **Umwandlung**

Der Prozessbereich Umwandlung berücksichtigt die Verluste, die bei der Gewinnung, Verteilung und letztendlich der Umwandlung der Primärenergie entstehen. Jedem Primärenergieträger wird ein Primärenergiefaktor  $f_p$  zuge-

wiesen, der in der Anlagenaufwandszahl berücksichtigt wird. Als energetisch ungünstigste Lösung ist der elektrische Strom mit dem höchsten Primärenergiefaktor  $f_p = 3,0$  festgelegt worden.

Die vorgenannten Prozessbereiche treffen nicht auf alle Anlagenkombinationen zu. Zum Beispiel entfällt bei Solaranlagen die Erzeugung und bei Lüftungsanlagen die Speicherung.

## **3.2.1 Heizung/Warmwasser**

Für die Versorgung eines Gebäudes mit Heizwärme und Warmwasser gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. Von Anschlüssen an Fern- oder Nahwärme-konzepten, über Heizkessel bis zu kombinierten Anlagen mit Wärmepumpen und solarer Unterstützung bietet der Markt für jede Situation die passende Lösung.

### **Nah-/Fernwärmesystem**

Bei einem solchen System wird die Wärme in der Regel durch eine Kraft-Wärmekopplung gewonnen. Es wird ein Aggregat (Verbrennungsmotor oder Dampfturbine usw.) zur Gewinnung von elektrischem Strom genutzt, und die dabei anfallende Abwärme wird über Rohrleitungen zu den einzelnen Verbrauchern transportiert. Als Fernwärmesysteme werden Großanlagen bezeichnet, die ein umfangreiches Siedlungsgebiet abdecken können. Als Energielieferanten werden häufig Abfallverbrennungsanlagen genutzt. Nahwärmesysteme decken ein lokales Wohngebiet ab. Die Erzeugung erfolgt hier in Blockheizkraftwerken, in denen normale Verbrennungsmotoren mit Erdgas befeuert werden.

Die Anschlussmöglichkeit an ein Fern-/Nahwärmesystem ist von der Verfügbarkeit abhängig. Ist die Anschlussmöglich-

keit vorhanden, so gilt in der Regel ein Anschlusszwang.

### Heizkessel

Im Einfamilienhausbereich wird in der Regel nur ein Erzeuger zur Deckung des Heizwärme- und des Warmwasserbedarfs aufgestellt. Wenn eine Solaranlage oder eine Wärmepumpe installiert wird, dienen diese Anlagen zur Unterstützung des Heizkessels. Der Gesamtwärmebedarf kann durch Solaranlagen und Wärmepumpen kaum gedeckt werden.

Zur Zeit sind zwei Kesselarten auf dem Markt, der Niedertemperaturkessel (NT-Kessel) und der Brennwertkessel (BW-Kessel). Der Unterschied zwischen den beiden Kesselarten ergibt sich aus der Verdampfungsenthalpie des Wassers und ist demnach nur bei Brennstoffen gegeben, bei deren Verbrennung Wasser entsteht. Durch Abkühlung der Abgase auf eine Temperatur von ca. 40 °C bis 45 °C in einem Brennwertkessel ist ein Wärmegewinn aus dem Abgas von ca. 15 % möglich. Dadurch verringert sich gleichzeitig auch der Schadstoffausstoß um bis zu 30 %.

Die meisten Brennwertgeräte verfügen über zwei hintereinandergeschaltete Wärmetauschergruppen. Wie bei konventionellen Geräten wird der größte Teil der Verbrennungswärme im ersten Wärmetauscher an das Heizwasser abgegeben. Danach werden die Abgase (in der Regel mit Hilfe eines Ventilators) über den zweiten Wärmetauscher geführt. Je nach Rücklauf­temperatur kühlen die Abgase dabei bis unter die Taupunkttemperatur ab, so dass der Wasserdampf an dem nachgeschalteten Wärmetauscher kondensiert und Verdampfungswärme freigesetzt wird.

Das anfallende Kondensat ist leicht sauer und kann über Kunststofflei-

tungen dem Abwassersystem zugeführt werden. Einige Gemeinden schreiben in ihren Satzungen den Einbau eines Neutralisators vor, der den PH-Wert des Kondenswassers normalisiert. Neutralisatoren sind bei den entsprechenden Kesselherstellern zu beziehen ist. Zur Abführung des Abgases ist ein Edelstahlrohr o. ä. erforderlich.

Wie viel Kondensationswärme genutzt werden kann, wird in erster Linie von der Wassertemperatur des Heizrücklaufes bestimmt. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz von Brennwertkesseln im Vergleich zu konventionellen Wärmeerzeugern, wie NT-Kesseln, zu einer Energieeinsparung von ca. 10 % führt.

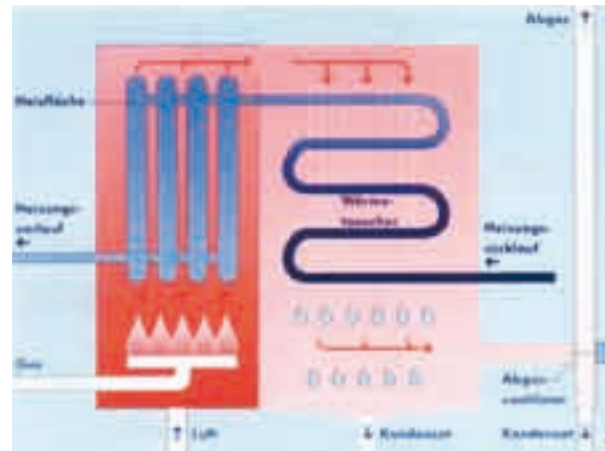


Abb. 27: Schema eines Brennwertkessels

Bei einem NT-Kessel entfällt die Nutzung der Kondensationswärme, woraus ein entsprechend höherer Energiebedarf resultiert.

Der Brennwertkessel kann die Kondensationswärme nur nutzen, wenn die Anlage in einem optimalen Leistungsbe­reich läuft, es muss also unbedingt auf eine zweckmäßige Dimensionierung des Kessels geachtet werden.

### 3.2.2 Lüftungsanlagen

Raumlufttechnische Anlagen stellen die Versorgung mit Frischluft innerhalb eines Gebäudes sicher. Im Gegensatz zur Fensterlüftung lässt sich die Lüftungsanlage relativ exakt auf den Frischluftbedarf der Bewohner einstellen und kann so jederzeit den hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel garantieren.

Folgende Anlagentypen werden bei Lüftungsanlagen unterschieden:

- Lüftungsanlagen mit dezentraler Zuluftversorgung,
- Lüftungsanlagen mit zentraler Zuluftversorgung,
- Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung,
- Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe.

Die Lüftungsanlage mit dezentraler Zuluftversorgung stellt den einfachsten Typ einer mechanischen Gebäudebelüftung dar. Hier wird die Abluft in den Nassräumen wie Küche oder Bad abgesaugt und Frischluft strömt über Wand- oder Fensterventile nach. Nachteilig wirkt sich hier aus, dass unter bestimmten Windverhältnissen die Zuluftventile öffnen und somit eine kontrollierte Belüftung erschweren.

Lüftungsanlagen mit zentraler Zuluftversorgung umgehen diesen Nachteil, da hier die Zuluft durch die Lüftungsanlage an einem zentralen Punkt angesaugt und über Kanäle in die Zuluft Räume transportiert wird.

Wenn eine solche Anlage mit einem Wärmerückgewinnungssystem wird von einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gesprochen. Innerhalb des Wärmetauschers streicht die warme Abluft durch ein feines Röhrensystem und wärmt dabei die einströmende Zuluft auf. Moderne Anlagen

erreichen einen Wirkungsgrad von ca. 80 % Wärmerückgewinnung aus der Abluft.

Zusätzlich zum Wärmetauscher kann auch noch eine Wärmepumpe installiert werden. Eine Wärmepumpe ist eine technische Anlage, die einem Medium mit niedriger Temperatur (Wärmequelle) Wärme entzieht und diese, mit Hilfe von Antriebsenergie, an ein Medium bei höherer Temperatur wieder abgibt (Wärmesenke). Als Antriebsenergie kommen vorwiegend hochwertige elektrische oder mechanische Energie (Kompressionswärmepumpe) sowie Gas und Abwärme (Absorptionswärmepumpe) zur Verwendung.

Bei sehr gut wärmedämmten Gebäuden kann die komplette Beheizung als Luftheizung ausgeführt werden. In diesem Fall wird ein elektrisches Heizregister in den Zuluftstrom installiert.

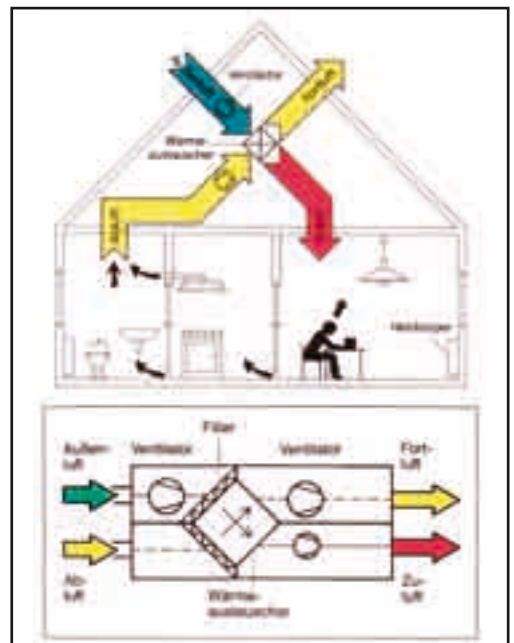


Abb.28: Funktionsprinzip einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

### 3.2.3 Solarthermie

Die Nutzung der Solarenergie setzt sich aufgrund von Fördermaßnahmen, eines geänderten Umweltbewusstseins in der Bevölkerung und steigender Energiekosten immer mehr durch

Die Nutzung der Solarenergie kann auf zwei Arten erfolgen, zum einen kann die Solarenergie in elektrischen Strom umgewandelt und in das Stromnetz eingespeist werden, zum anderen lässt sich das Sonnenlicht mit Hilfe von Solarkollektoren in Wärme umwandeln.

An dieser Stelle wird auf die Wärmeerzeugung durch Solarenergie, die Solarthermie, eingegangen. Solarthermische Anlagen können zur Warmwasserbereitung und zur Unterstützung der Heizungsanlage eingesetzt werden. Eine Unterstützung der Heizungsanlage ist allerdings nur bei sehr gut wärmegeprägten Gebäuden sinnvoll, da hier der Jahres-Heizwärmebedarf relativ gering und der solare Beitrag zur Heizwärmeerzeugung entsprechend hoch ist.

Die solare Warmwassererzeugung kann in fast jedem Gebäude realisiert werden. Eine solarthermische Anlage zur Warmwassererzeugung besteht aus folgenden Einzelkomponenten:

#### Kollektoren

In den Kollektoren wird die Sonnenenergie in Wärme umgewandelt. Derzeit gibt es hauptsächlich zwei Arten von Kollektoren auf dem Markt, Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren. Die Solarstrahlung gelangt bei den Flachkollektoren durch ein Sicherheitsglas auf das Absorberblech und heizt es auf. Auf dem Absorberblech befinden sich Rohrleitungen, die die Wärme aus dem Kollektor abführen. Damit geringe Wärmeverluste auftreten, wird der Kollektor wärmegeprägt.

Vakuumröhrenkollektoren bestehen aus einem Gestell mit mehreren nebeneinanderliegenden Glasröhren, in denen sich jeweils ein Absorberstreifen mit Rohr befindet. Aus den geschlossenen Röhren wird die Luft evakuiert und das entstandene Vakuum übernimmt die Wärmedämmung.

Vakuumröhrenkollektoren sind leistungsfähiger, aber empfindlicher und teurer als Flachkollektoren, die benötigte Kollektorfläche kann deshalb 20–30 % geringer sein.

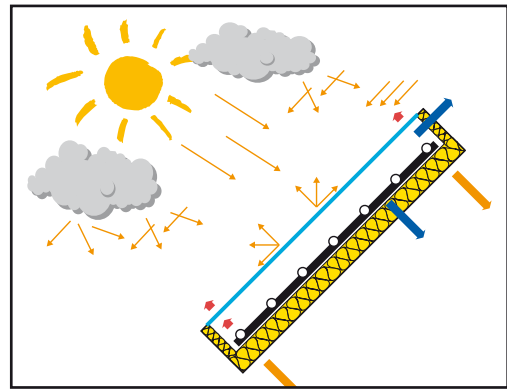


Abb. 29: Funktionsweise eines Kollektors

#### Warmwasserspeicher und Wärmetauscher

Außer den Kollektoren sind ein Warmwasserspeicher, ein Wärmetauscher, ein oder zwei Umwälzpumpen, die Systemregelung und das dazugehörige Rohrleitungsnetz für den Betrieb einer Solaranlage notwendig. Zusätzlich ist eine zweite Aufheizmöglichkeit erforderlich, die das Wasser vor allem in sonnenärmeren Zeiten (z. B. Januar bis März und Oktober bis Dezember) auf die benötigte Temperatur bringt.

In Ein- und Zweifamilienhäusern sind bivalente Druckspeicher mit einem Fassungsvermögen von 300 l bis 500 l mit zwei Wärmetauschern üblich: ein untere

rer für den Anschluss an den Kollektor-  
 kreis zur solaren Erwärmung des Was-  
 sers und ein oberer für den Anschluss  
 an die Nacherwärmung durch den Heiz-  
 kessel. Aufgrund der unterschiedlichen  
 Dichte von warmem und kaltem Wasser  
 bildet sich im Speicher eine Temperaturschichtung.  
 Das leichtere, warme Wasser  
 sammelt sich im oberen, das schwerere,  
 kalte Wasser im unteren Speicherbe-  
 reich. Wichtig ist eine gute Wärmedäm-  
 mung des Speichers, die ca. 10 cm bis  
 15 cm betragen sollte.

### Wirkungsweise

Die Kollektoren sammeln die Sonnen-  
 energie und wandeln sie in Wärme um.  
 Mit dem Warmwasserspeicher sind sie  
 durch gedämmte Rohrleitungen verbun-  
 den, in denen ein Wärmeträgermedium  
 aus Wasser und Frostschutzmittel im  
 Kreis gepumpt wird.

Die Pumpe wird von der Regelung ein-  
 geschaltet, wenn diese mit ihrem Tem-  
 peraturfühler feststellt, dass die Tem-  
 peratur im Auslass des Kollektors  $5^{\circ}\text{C}$  bis  
 $10^{\circ}\text{C}$  höher ist als im Speicher.

Die Wärme, die das Wärmeträgerme-  
 dium im Kollektor aufgenommen hat,  
 wird im Speicher über einen Wärme-  
 taucher an das Brauchwasser abgege-  
 ben. Beim Zapfen wird das in den un-  
 teren Teil einströmende Frischwasser  
 über den Wärmetauscher solar erwärmt  
 und steigt innerhalb des Speichers nach  
 oben.

Ein Öl- oder Gasheizkessel übernimmt  
 z. B. die Nachheizung bis auf die ge-  
 wünschte Temperatur, falls das Spei-  
 cherwasser noch nicht warm genug ist. Dies  
 geschieht durch einen zweiten Wärme-  
 taucher im oberen Bereich des Spei-  
 chers.

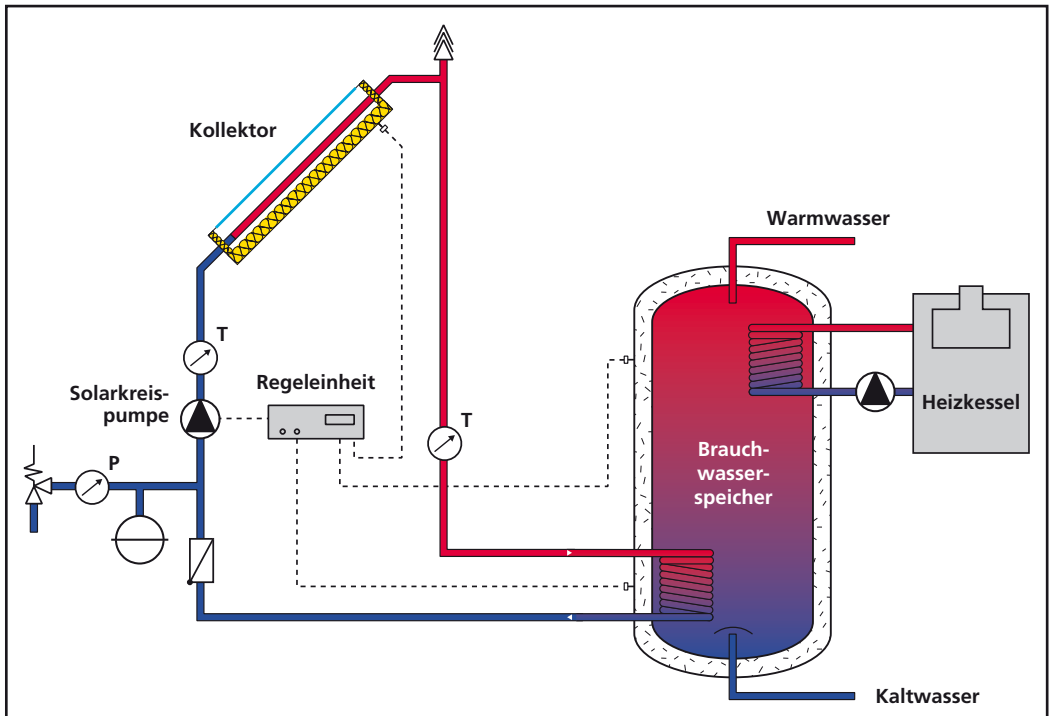


Abb. 30: Funktionsweise einer Solaranlage



Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes hängt nicht nur von der Wärmedämmung der Außenbauteile, der Luftdichtheit der Gebäudehülle oder der Effizienz der eingebauten Anlagentechnik, sondern auch von den Bewohnern ab.

Durch Fehlverhalten der Bewohner, wie zum Beispiel durch falsches Lüften und Heizen lässt sich der Heizwärmebedarf um bis zu 70 % in die Höhe treiben.

Gebäude und Wohnung haben auch die Aufgabe, vor den Unbilden des Wetters zu schützen und unabhängig von diesen ein behagliches Wohnklima zu schaffen. Thermische Behaglichkeit ist ein subjektives Empfinden; wesentlichen Einfluss darauf haben aber die Lufttemperatur, die Temperatur der raumschließenden Flächen, die Luftfeuchtigkeit und die Luftbewegung. Zur richtigen Benutzung durch die Bewohner gehört es nun, diese Einflussgrößen so weit wie möglich den persönlichen Erfordernissen anzupassen.

### 3.3.1 Lüften

Die Raumluft eines Gebäudes ist auf verschiedene Weise belastet. Subjektiv fallen dem Bewohner in erster Linie Gerüche auf, die z. B. durch die Zubereitung von Mahlzeiten entstehen oder aus den Nassräumen den Weg in die Wohnräume finden.

In zweiter Linie wird die Belastung der Raumluft mit Wasserdampf bemerkt, der sich ebenfalls durch die Zubereitung von Mahlzeiten, aber auch durch Baden, Duschen, Grünpflanzen oder durch Trocknen von Wäsche innerhalb der Wohnung bildet. Eine weitere Belastung der Raumluft tritt z. B. durch die Ausdünstungen des Mobiliars, der Teppiche oder durch Farben und Lacke auf.

Aber auch der Mensch selbst verursacht durch seine Atmung eine Belastung der Raumluft mit Kohlendioxid und Wasserdampf. So kann eine 4 köpfige Familie bis zu 10 Liter Wasser je Tag als Wasserdampf an die Raumluft abgeben.

Aus den vorgenannten Gründen ist ein regelmäßiger Austausch der Raumluft erforderlich. Der hygienisch notwendige Mindestluftwechsel beträgt  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , das bedeutet, dass alle zwei Stunden die gesamte Luft einer Wohnung oder eines Hauses ausgetauscht werden sollte. Aus physiologischer Sicht sollte ein Luftwechsel von  $30 \text{ m}^3$  je Person und Stunde, für Raucher ca.  $50 \text{ m}^3$  je Stunde eingehalten werden.

Bei Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen sind die Bewohner auf eine Fensterlüftung angewiesen. Die Fensterlüftung muss in Abhängigkeit von der Jahreszeit, den Windverhältnissen und dem Frischluftbedarf erfolgen. Bei der Stoßlüftung werden die Fenster bei geschlossener Zimmertür geöffnet.

| Monat                     | Zeitangaben für das Stoßlüften |
|---------------------------|--------------------------------|
| Dezember, Januar, Februar | 4–6 Minuten                    |
| März, November            | 8–10 Minuten                   |
| April, Oktober            | 12–15 Minuten                  |
| Mai, September            | 16–20 Minuten                  |
| Juni, Juli, August        | 25–30 Minuten                  |

Abb. 31: Zeitangaben bei Stoßlüftung

Bei der Querlüftung werden mehrere Fenster der Wohnung bei offenen Zimmertüren geöffnet. Weht eine leichte Brise, reichen dabei schon 1 bis 3 Minuten für einen kompletten Luftaustausch – unabhängig von der Jahreszeit.



Das Dauerlüften durch Fenster in Kippstellung kann in den Sommermonaten sinnvoll sein, während der Heizperiode jedoch nicht empfehlenswert. Es kann zu starken Energieverlusten führen. Die Bauteile kühlen im Einzugsbereich des Fensters aus, so dass es nach dem Schließen der Fenster, d. h. wenn die Raumluftfeuchte wieder ansteigt, zu Feuchte- und Schimmelpilzschäden kommen kann. Die gleichen Probleme entstehen, wenn in einzelnen Räumen die Heizung abgestellt wird, und diese Räume über eine geöffnete Zimmertür „temperiert“ werden. In diesem Fall gelangt mit der Wärme auch Luftfeuchtigkeit in den nicht beheizten Raum, welche sich auf kälteren Oberflächen als Tauwasser niederschlagen kann.

Bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen müssen sich die Bewohner nicht um eine ausreichende Versorgung mit Frischluft kümmern. Die Lüftungsanlage nimmt ihnen diese Arbeit ab. Die Bewohner können die Luftwechselrate an der Anlage einstellen und so den momentanen Gegebenheiten anpassen. Lüftungsanlagen lassen sich aber auch mit Sensoren steuern, die auf einen übermäßigen Anstieg der Luftfeuchte und/oder des Kohlendioxidgehaltes der Raumluft reagieren und die Luftwechselrate entsprechend anpassen.

Wenn die raumlufttechnische Anlage mit einer Wärmerückgewinnung oder sogar einer Wärmepumpe ausgerüstet ist, leistet sie auch einen Beitrag zur Heizkosteneinsparung.

Wie jedes technische Gerät benötigen Lüftungsanlagen Energie für den Betrieb sowie Wartung und Pflege, insbesondere die Filter müssen regelmäßig gereinigt oder ersetzt werden.

### 3.3.2 Heizen

In modernen Wohngebäuden wird eine Raumtemperatur von 20°C als behaglich empfunden. Wird die Temperatur um 1°C gesenkt, sinkt der Heizwärmebedarf um 15%. Die Einstellung der Raumtemperatur erfolgt über Thermostatventile. Diese Ventile haben in der Regel eine Skala von 1 bis 5, wobei jedem Wert auf der Skala eine entsprechende Temperatur zugeordnet ist.

| Markierung | Raumtemperatur |
|------------|----------------|
| *          | ca. 8°C        |
| 1          | ca. 12°C       |
| 2          | ca. 16°C       |
| 3          | ca. 20°C       |
| 4          | ca. 24°C       |
| 5          | ca. 28°C       |

Abb. 32: Temperaturbereiche von Thermostatventilen

Die Extremeinstellungen des Ventils werden eigentlich nicht benötigt. Das Frostsymbol (\*) am Thermostatventil ist nicht nur für das Lüften, sondern auch für längere Abwesenheitszeiträume (Urlaub) gedacht.

Für ein ausreichendes Temperaturniveau empfehlen sich folgende Einstellungen:

| Raum                        | Temperatur | Markierung |
|-----------------------------|------------|------------|
| Schlafzimmer, Hobbyraum     | 16°C–18°C  | 2–3        |
| Wohnen, Essen, Kinderzimmer | 20°C       | 3          |
| Küche                       | 18°C       | 2–3        |
| Bad, Dusche                 | 20°C–22°C  | 3–4        |

Abb. 33: Empfehlung für Raumtemperaturen

## 4 Wärmeschutzstandards

Heute gebaute Gebäude legen den Energiestandard, die Umweltbelastung, den Verbrauch, und damit letztendlich auch die Ausgaben für Primärenergie auf Jahrzehnte fest. Insoweit gehören Überlegungen zu einer Investition in die Zukunft mit Festlegung eines besseren Energiestandards als gesetzlich gefordert zu den Grundlagen des Planens und Bauens.

Die Standards sind mit ihren jeweiligen Heizenergieverbräuchen bereits in Kapitel 1 genannt worden, sollen aber im folgenden noch genauer dargestellt werden.

### 4.1 „Niedrigenergie-Standard“

Für den so genannten „Niedrigenergie-Standard“ gibt es leider keine gesetzliche Festlegung oder Definition. Prinzipiell kann jeder Hersteller sein Haus als „Niedrigenergiehaus“ bezeichnen und auf den Markt bringen. Der Gesetzgeber forderte allerdings eine Unterschreitung des Grenzwertes der WSV0 95 um mindestens 25 %, bevor eine Förderung im Sinne des Eigenheimzulagengesetzes bewilligt wurde. Der „Niedrigenergie-Standard“ bringt im Vergleich zu nach WSV0 95 gebauten Häusern schon eine erhebliche Energieeinsparung mit sich. Der Ölverbrauch für die Beheizung beträgt bei diesen Gebäuden je m<sup>2</sup> Nutzfläche und Jahr 5 bis 7 Liter.

Die Anforderungen der EnEV erreichen diesen Wert nicht ganz, werden den „NEH-Standard“ aber sicher ersetzen.

Bautechnisch und bauphysikalisch stellt dieser Standard kein Problem dar. Auch Verbesserungen sind bei nur geringem Aufwand möglich.

| Bauteil     | Dämmung [cm] | U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] |
|-------------|--------------|-------------------------------|
| Bodenplatte | 12           | 0,31                          |
| Außenwand   | 12           | 0,31                          |
| Schrägdach  | 20           | 0,20                          |
| Dachdecke   | 20           | 0,19                          |
| Fenster     | -/-          | 1,30                          |
| Haustür     | -/-          | 1,30                          |

Abb. 34: Dämmstandard der Außenbauteile bei Einsatz eines Brennwertkessels

### 4.2 „KfW-Energiesparhaus 60“

Zur Durchsetzung eines Standards mit höheren Anforderungen, als sie die EnEV stellt und somit zur Durchsetzung der politischen Ziele zur Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduzierung hat die KfW-Bankengruppe Anforderungen für die Förderung von Energiesparhäusern formuliert.

#### „KfW-Energiesparhaus 60“

Der Jahres-Primärenergiebedarf darf 60 kWh je m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche AN nicht überschreiten.

Durch eine Kombination folgender Maßnahmen kann dieser geringe Energiebedarf realisiert werden:

- sehr gut wärmegeämmte Außenwände (je nach Dämmstoffqualität zwischen 20 cm und 40 cm Dämmstoffdicke)
- sehr gut gedämmtes Dach bzw. sehr gut gedämmte oberste Geschossdecke gegen ein nicht ausgebautes Dachgeschoss
- gedämmte Kellerdecke

- Zweischeiben- oder Dreischeiben-Wärmeschutzglas mit gedämmten Fensterrahmen
- Vermeidung von Wärmebrücken
- Lüftungsanlage, kontrollierte Lüftung mit ca. 80 % Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- sehr gute Luftdichtheit des Gebäudes
- Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserversorgung, evtl. auch der Heizung
- Energieeffiziente, elektrische Gebäudetechnik
- Bedarfsgerechte Heizungsanlage, Brennwertkessel oder Niedertemperaturkessel, Holzheizung

Verschiedene Umsetzungsstrategien für das „KfW-Energiesparhaus 60“ bei einem freistehenden Einfamilienhaus können der Internetadresse [www.kfw.de](http://www.kfw.de) entnommen werden. Im Prinzip lassen sich die Beispiele auch auf Doppel-, Reihen- und Mehrfamilienhäuser übertragen. Das „Energiesparhaus 60“ wird durch die KfW mit einem zinsgünstigen Darlehen in Höhe von 50.000 Euro gefördert.

#### 4.3 „KfW-Energiesparhaus 40“

Mit dem „Energiesparhaus 40“ wird ein dem Passivhaus ähnlicher Standard eingeführt. Im Vergleich zum „Energiesparhaus 60“ sind die Anforderungen an ein „Energiesparhaus 40“ deutlich erhöht worden. Der im Vergleich zum „Energiesparhaus 60“ höhere Aufwand bei Planung und Ausführung wird durch einen höheren Darlehensbetrag berücksichtigt.

##### *„KfW-Energiesparhaus 40“*

Der Jahres-Primärenergiebedarf darf 40 kWh je m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche AN nicht überschreiten.

Durch eine Kombination folgender Maßnahmen kann dieser äußerst geringe Energiebedarf realisiert werden:

- hervorragend wärmegeämmte Außenwände (je nach Dämmstoffqualität bis zu 45 cm Dämmstoffdicke)
- hervorragend gedämmtes Dach bzw. hervorragend gedämmte oberste Geschossdecke gegen ein nicht ausgebautes Dachgeschoss
- gedämmte Kellerdecke
- Dreischeiben-Wärmeschutzglas mit sehr gut gedämmten Fensterrahmen
- hohe Vermeidung von Wärmebrücken
- Lüftungsanlage, kontrollierte Lüftung mit mehr als 80 % Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- sehr gute Luftdichtheit des Gebäudes, Erdwärmetauscher
- Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserversorgung, Aufheizung der Zuluft aus dem Solarspeicher
- Energieeffiziente, elektrische Gebäudetechnik
- Bedarfsgerechte Heizung, evtl. Zusatzheizung für die Zuluft.

Es gibt natürlich noch weitere Beispiele und andere technische Variations- und Kombinationsmöglichkeiten, mit denen dieser Verbrauch erreicht werden kann.

Das „Energiesparhaus 40“ wird, ebenso wie ein Passivhaus, durch die KfW mit einem zinsgünstigen Darlehen in Höhe von 100.000 Euro gefördert.

#### 4.4 „Passivhaus“

Die Bedingung für das „KfW-Energiesparhaus 40“ gelten auch dann als erfüllt, wenn der „Passivhausstandard“ erreicht und gewährleistet wird, dass der Jahres-Heizwärmebedarf nicht mehr als 15 kWh je m<sup>2</sup> Wohnfläche beträgt. „Passivhäuser“ können mit der „Passivhaus-Vorprojektierung (PHVP)“ und dem „Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)“ projektiert und nachgewiesen werden, welches im Internet unter [www.passiv.de](http://www.passiv.de) verfügbar ist. Hier gilt als Flächenbezugsgröße die Wohnfläche des Hauses.

„Passivhäuser“ haben einen verschwindend geringen Heizwärmebedarf. Die bei den Energiesparhäusern eingesetzten Techniken werden für „Passivhäuser“ weiter verbessert.

„Passivhäuser“ benötigen nur in besonders kalten Perioden eine Heizung im herkömmlichen Sinn. Unter normalen Temperaturbedingungen schaffen die internen Wärmegevinne durch elektrische Verbraucher und die solaren Wärmegevinne durch die Fenster eine behagliche Wohnatmosphäre. Für die Beheizung eines „Passivhauses“ bieten sich Luftheizsysteme an. Auf eine herkömmliche Gasheizung sollte verzichtet werden, da z. B. der geringe Heizwärmebedarf den Einbau eines Heizkessels und damit die hohen Anschlussgebühren an die Gasversorgung kaum rechtfertigen.

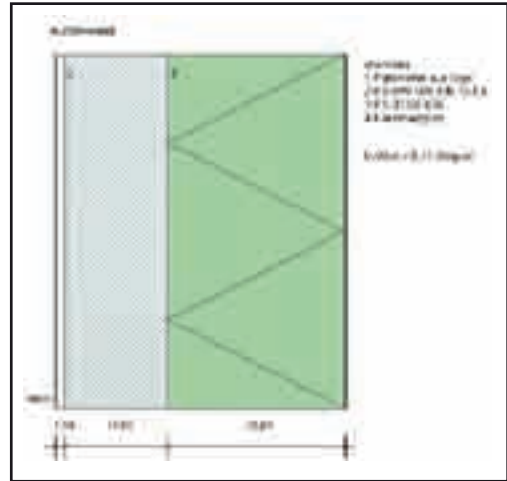


Abb. 35: Wärmedämmstandard bei einem „Passivhaus“ am Beispiel einer Außenwand



Abb. 36: „Passivhaus“ in Hannover Kronsberg

## 5 Energieeinsparung und Emissionsminderung bei der Stadtplanung

Die städtebauliche Orientierung der Baumassen und Grünanlagen hat einen deutlich wirksamen Einfluss auf den Heizwärmebedarf im Baugebiet. Bei gründlicher Planung können die notwendigen Anschlusswerte für die Energieversorgung wesentlich reduziert werden.

Der Einfluss der Gebäudeorientierung auf den zu erwartenden Heizwärmebedarf liegt insbesondere in der Verteilung der Fensterflächenanteile entsprechend den bevorzugten Himmelsrichtungen, der gegenseitigen Verschattung der Gebäude und der Windexposition der Gebäude begründet.

Wie viel Solarenergie passiv zu gewinnen ist, hängt von der Gebäudeorientierung und vom ausgeführten Dämmstandard ab. Allgemein ist in Deutschland

von einem nutzbaren Solarenergiegewinn von 20 bis 30 kWh je m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr auszugehen. Bei einer Drehung des Gebäudes aus der Ost-West Richtung um 90° verringert sich der nutzbare Solargewinn um etwa 7 kWh je m<sup>2</sup> WF und Jahr bei mehrgeschossigen Gebäuden und um 10 kWh je m<sup>2</sup> WF und Jahr bei Einfamilienhäusern.

Bei einer ungünstigen Orientierung, und einer Verschattung durch Nachbargebäude oder hohe Bäume kann von einer Halbierung der möglichen, passivsolaren Gewinne und damit von einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs von ca. 20% ausgegangen werden.

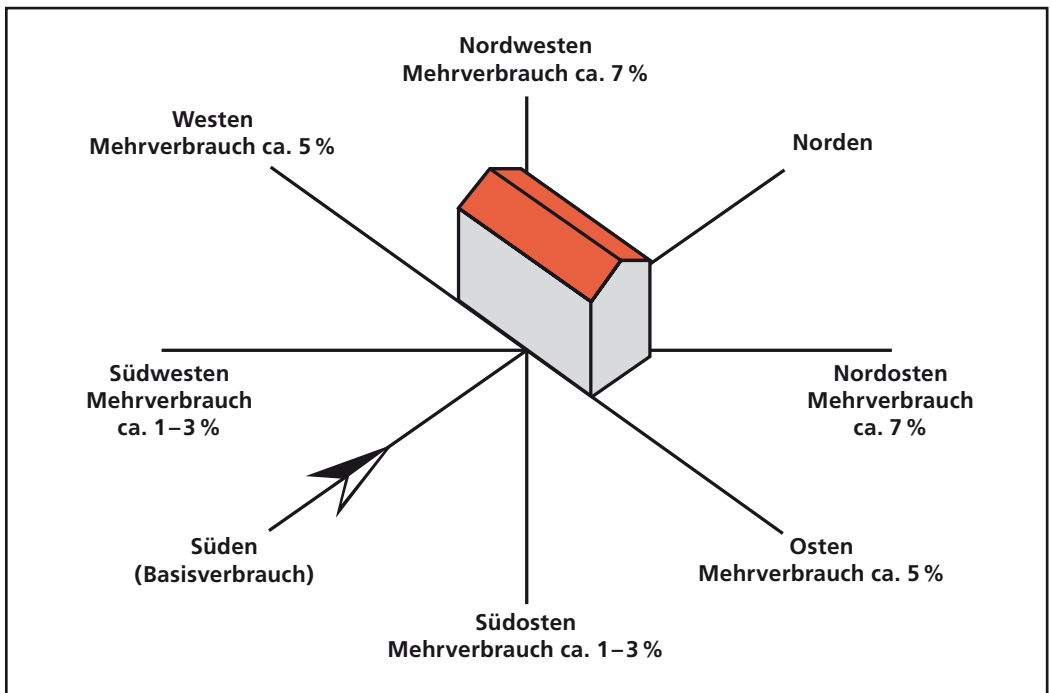


Abb. 37: Gebäudeorientierung

Zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs sollte die Gebäudeorientierung bereits im Bebauungsplan entsprechend festgelegt werden. Zur Vermeidung der gegenseitigen Verschattung der Gebäude sind Mindestabstände einzuhalten.

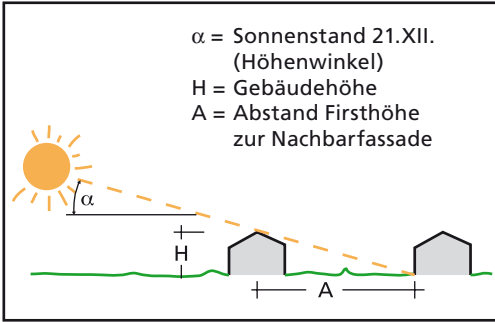


Abb. 38: Gegenseitige Verschattung

Die historischen Methoden des Windschutzes sollten zur Reduktion der windbedingten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste auch bei Neubausiedlungen berücksichtigt werden durch:

- besondere bauliche Form,
- Windschutzpflanzungen,
- Geländemodellierung,
- Anlage von Siedlungen bzw. Gebäuden in besonders windgeschützten Lagen usw.

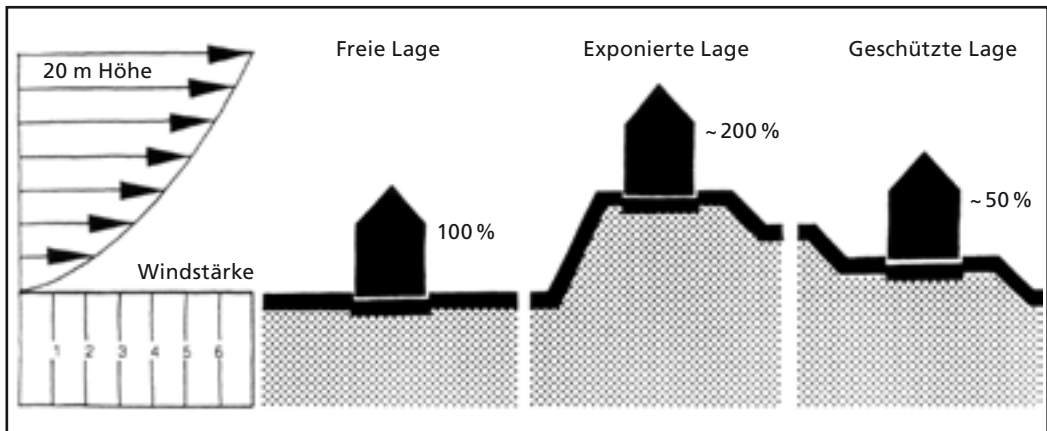


Abb. 39: Einfluss der Windströmung

Die Versorgung mit Heizwärme und Warmwasser in Neubaugebieten sollte nicht nur für das einzelne Gebäude sondern auch für das gesamte Siedlungsgebiet bedacht werden.

Unter Umständen ist die zentrale Errichtung eines Blockheizkraftwerks zur Nahwärmeversorgung energetisch und finanziell günstiger als die individuelle Versorgung der Gebäude.

In Baugebieten, in denen Gebäude mit sehr geringem Heizwärmebedarf errichtet werden (z. B. „Passivhaus-siedlungen“), kann eine Nahwärmeversorgung aber auch nachteilig sein, da die Rohrleitungsverluste der Nahwärmeversorgung im Vergleich zum Heizwärmebedarf unverhältnismäßig hoch werden können.

## 6 Energetische Qualitätssicherung

Ziele einer energetischen Optimierung sind insbesondere Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduktion. Die energetische Optimierung stellt hohe Anforderungen an alle am Planen und Bauen Beteiligten. Grundlage ist die Energieeinsparverordnung. Die in dieser Verordnung geforderte Verminderung von Wärmebrücken und die Luftdichtheit der Gebäudehülle sind bereits seit langem allgemein anerkannte Regeln der Technik. Damit diese Regeln der Technik eingehalten werden können, müssen Planung und Ausführung stimmen.

Bauherren, Planer, Ausführende und Betreibende sind aufgefordert mit Maßnahmen zur Sicherung der Qualität, der Leistungen und der Qualifizierung von Personal und Produkten zu reagieren. Alle Beteiligten an Planung, Bauausführung und Betrieb müssen lernen, mit den Grundregeln der Optimierung der Energieeinsparung umzugehen. Der daraus resultierende Erfahrungszuwachs verbessert das allgemeine Qualitätsniveau. Dazu gehören:

- konstruktive Probleme, z. B.: Minimierung der Wärmebrücken (z. B. durch thermische Trennung der Bauteile), Herstellung der Luftdichtheit (z. B. Anschlüsse), Optimierung der Wärmedämmung,
- stoffliche Probleme, z. B.: Dämmstoffdicken, Dämmstoffqualitäten, alternative Baustoffe,
- Ausführungsprobleme, z. B.: Wärmedämmung, Wärmebrückenminimierung, Luftdichtheit,
- anlagentechnische Probleme, z. B.: Lüftung, Heizung, Regelung,
- Betriebsprobleme, z. B.: Gebäudemanagement usw.

Qualitätssicherung ist nur durch Kontrolle möglich.

Eine Kontrolle allerdings, die nur durch Abnahme erfolgt, findet nur Mängel, um sie zu beheben. Sie kann sie nicht verhindern. Das bedeutet, dass eine effektive Kontrolle planungs- bzw. ausführungübergreifend und -begleitend sein muss.

Zur Vermeidung von Mängeln sollte die Qualitätssicherung beauftragt werden, bevor mit der Planung und dem Bau begonnen wird, damit rechtzeitig überprüft werden kann, ob z. B. Energiekennzahl, Luftdichtheits- und Wärmebrückenkonzepte stimmen. Nur dann ist eine Detailabstimmung möglich, ohne dass nach Vergabe der Leistungen noch Nachforderungen gestellt werden.

Bei einer späteren Einschaltung, z. B. nach Baubeginn, gibt es Probleme, soweit Berechnungen oder Detailierungen den Ansprüchen nicht genügen. Andererseits zeigt die Erfahrung, dass es fehlerfreie Berechnungen und Details nur selten gibt, z. B. stimmen Flächenberechnungen und U-Werte oftmals nicht. Probleme entstehen insbesondere durch zusammengesetzte Bauteile aus verschiedenen Materialien, wie Holzkonstruktionen, Befestigungsteilen, Dämmung und Fenstern.

Es hat sich im übrigen als sinnvoll erwiesen, in der Planungsphase den Grenzwert der Energiekennzahl deutlich zu unterschreiten, um in der Ausführungsplanung noch Entscheidungsspielräume zu haben.

Die energetische Qualitätssicherung hat insbesondere folgende Aufgaben:

1. Überprüfung der Jahres-Primärenergiekennzahl, darin enthalten sind



die Überprüfung der Flächen und des beheizten Volumens sowie der U-Werte der Außenbauteile unter Einbeziehung der Konzepte zur Wärmedämmung, Luftdichtheit und zur Reduzierung von Wärmebrücken, evtl. mechanische Lüftungsanlagen.

2. Überprüfung der Ausführungsplanung hinsichtlich der Realisierung des Wärmeschutzes und der Luftdichtheit.
3. Überprüfung und Kontrolle der Ausführung, zur Feststellung des eingesetzten Materials und der Bauteile.
4. Überprüfung der Luftdichtheit mit einem Blower-Door-Test.
5. Bestätigung der Ergebnisse der Überprüfung in einem Formularbericht.
6. Überprüfung des Gebäudemanagements über den Gebäudelebenszyklus.

### **Ausführungsplanung**

Probleme bei der Ausführungsplanung gibt es insbesondere durch unbeachtete Wärmebrückendetails, wie Kimmschicht, Durchdringungen von Stützen und Pfeilern, Fensteranschlüsse, Bodenschlüsse, Attiken usw. oder die Führung der luftdichten Ebene. Die Detailplanung muss sorgfältig mit den Anforderungen abgestimmt werden. Deshalb ist sie oft zur Beratungsaufgabe der Qualitätssicherung geworden.

### **Baudurchführung**

Die stichprobenartige Überprüfung der Bauausführung auf der Baustelle erfordert die umfassende und grundsätzliche Kenntnis der allgemein anerkannten Regeln der Technik und ihrer fach- und sachgerechten Umsetzung. Die Überprüfung der handwerklichen Fähigkeiten und Fertigkeiten sollte sinnvollerweise gekoppelt werden mit einer qualifizierten Beratung und Weiterbildung.

### **Luftdichtheit**

Die Überprüfung der Luftdichtheit ist die letzte Aufgabe nach Fertigstellung der luftdichten Ebene. Das kann die Folie ohne Bekleidung sein, aber auch der Putz. Grundsätzlich ist es empfehlenswert, eine oder zwei Musterwohnungen mit den verantwortlichen Handwerkern zu messen und vor weiteren Messungen die erkennbaren typischen Undichtheiten in allen Wohnungen beseitigen zu lassen. Eine Beseitigung während der Messung sollte die Ausnahme sein.

Die meisten Probleme entstehen an Fenstern, Schächten und Durchdringungen im Sanitärbereich. Luftdurchlässig sind nicht nur Fugen, sondern auch Wandscheiben mit falscher Abstimmung der Zuschlagstoffe, bevor sie geputzt werden. Grundsätzlich sollten vor dem Ausbau – und das betrifft auch den Einbau der nichttragenden Innenwände, Einbauen der Schächte oder Vorwandinstallationen – alle Innenseiten der Außenwände geputzt werden.

### **Gebäudemanagement**

In der Nutzungszeit von Gebäuden sollte durch ein optimales Gebäudemanagement über den Gebäudelebenszyklus die energetische Qualität gesichert werden.



## 7 Informationsstellen

### **Regionale Informationsstellen (Beratung, Begleitung und Qualitätssicherung)**

#### ***Institut für Bauforschung e. V.***

Fachberatungsstelle „Bauen und Wohnen“

Telefon: (05 11) 9 65 16-0  
office@bauforschung.de  
www.bauforschung.de

#### ***Energie- und Umweltzentrum am Deister e. V.***

Telefon: (05044) 9 75-0  
Rezeption@e-u-z.de  
www.e-u-z.de

#### ***Landeshauptstadt Hannover***

Fachbereich Umwelt und Stadtgrün  
Leitstelle für Energie und Klimaschutz  
Amt für Umweltschutz  
Telefon: (05 11) 1 68-43500  
Telefax: (05 11) 1 68-43689  
internetredaktion@hannover-stadt.de  
www.hannover.de

#### ***Deutsche Energie-Agentur GmbH***

Telefon: (030) 7261 6560  
Infotelefon: (08000) 7367 34  
info@dena.de  
www.dena.de

#### ***Stadtwerke Hannover AG***

InfoCenter  
Telefon: (05 11) 4 30 25 25  
info@enercity.de  
www.enercity.de

#### ***Verbraucher-Zentrale Niedersachsen e. V.***

Telefon: (05 11) 9 11 9-32  
info@vzniedersachsen.de  
www.vzniedersachsen.de

### **Überregionale Informationsstellen**

#### ***Berliner ImpulsE-Management***

Telefon: (030) 21 75 21 07  
info@berliner-impulse.de  
www.berliner-impulse.de

#### ***Impuls-Programm Hessen***

Telefon: (061 51) 29 04-58  
IMPULS-Programm.Hessen@t-online.de  
www.impulsprogramm.de

#### ***Solarcontact GmbH***

Telefon: (05 11) 8 07 62 62  
info@solarcontact.de  
www.solarcontact.de

### **Förderprogramme**

#### ***proKlima GbR***

Telefon: (05 11) 4 30-19 70  
proklima@enercity.de  
www.enercity.de

#### ***KfW-Förderbank***

Telefon: (0 1801) 33 55 77  
Mo.–Fr. von 7.30–18.30 Uhr  
Telefax: (069) 74 31-95 00  
infocenter@kfw.de  
www.kfw-foerderbank.de

#### ***Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa)***

Telefon: (061 96) 9 08-0  
Telefax: (061 96) 9 08-800  
www.bafa.de

## 8 Quellennachweis

### Quellenverzeichnis

| <b>Bild</b> | <b>Quelle</b>   |
|-------------|---|
| Titel       | Institut für Bauforschung e. V.   |
| 1, 2        | Daten des Umweltbundesamtes; aufbereitet vom Institut für Bauforschung e. V.                              |
| 3–7         | Institut für Bauforschung e. V.   |
| 8           | EnEV Anhang 3 Tabelle 1   |
| 9–22        | Institut für Bauforschung e. V.   |
| 23          | Scharping, H., Niedrigenergiehäuser in der Praxis   |
| 24          | Institut für Bauforschung e. V.   |
| 25          | EnEV Anhang 4, Punkt 2; Passivhausinstitut Darmstadt  |
| 26          | DIN V 4701-10, 2001-2   |
| 27          | Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, Hinweise zum Energiesparen, Heft 41 |
| 28          | RWE Handbuch  |
| 29, 30      | Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Solarcontact GmbH  |
| 31–33       | KUKA, Wohnen auf dem Kronsberg, Informationen für Bewohnerinnen und Bewohner                              |
| 34–36       | Institut für Bauforschung e. V.   |
| 37          | Basiswissen Energie, Energieagentur NRW   |
| 38, 39      | Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 04.093, Bonn 1983             |



Herausgeber:  
Niedersächsisches Ministerium  
für Soziales, Frauen, Familie  
und Gesundheit  
Hinrich-Wilhelm-Kopf-Platz 2  
30159 Hannover  
Koordination:  
Referat Bauaufsicht,  
Bautechnik, Bauökologie

Aktualisierte 2. Auflage,  
September 2005

Erarbeitet vom  
Institut für Bauforschung e. V.  
An der Markuskirche 1  
30163 Hannover

Bearbeitung:  
Torsten Keiser  
Prof. Dr.-Ing. Martin Pfeiffer

Die Arbeit der Verfasser wurde  
unverändert übernommen und  
gibt nicht unbedingt die Meinung  
des Herausgebers wieder.

Gestaltung:  
set-up design.print.media

Die Broschüre darf, wie alle  
Publikationen der Landesregierung,  
nicht zur Wahlwerbung in  
Wahlkämpfen verwendet werden.