

# INFORMATIONSDIENST **HOLZ**

## Innovative Haustechnik im Holzbau



**Inhalt**

**1 Einleitung** . . . . . 3

**2 Grundlagen und Anforderungen** . . . . . 3

2.1 Besondere Anforderungen im Holzbau . . . . . 3

2.2 Gebäudedichtheit und Grundluftwechsel . . . . . 4

2.3 Behaglichkeit und Wohnklima . . . . . 5

2.4 Ermittlung der Heizleistungen . . . . . 6

**3 Integrative Planung und Energieeinspar-Verordnung** . . . . . 6

3.1 Grundsätze der Energieeinsparverordnung . . . . . 6

3.2 Beispielrechnung . . . . . 6

3.3 Gebäudeklassifikation nach Energiebedarf . . . . . 7

**4 Wärmeerzeuger** . . . . . 8

4.1 Heizanlagen mit fossilen Brennstoffen . . . . . 8

4.1.1 Niedertemperaturkessel . . . . . 8

4.1.2 Brennwerttechnik . . . . . 8

4.1.3 Neuere Entwicklungen . . . . . 9

4.2 Elektroheizungen . . . . . 9

4.2.1 Elektrisch betriebene Wärmepumpen . . . . . 9

4.2.2 Direkt elektrische Heizungen . . . . . 10

4.3 Heizen mit erneuerbaren Energien . . . . . 10

4.3.1 Heizen mit Biomasse . . . . . 10

4.3.2 Solartechnik . . . . . 11

**5 Warmwasserbereitung** . . . . . 14

**6 Raumheizsysteme** . . . . . 14

6.1 Systembeschreibungen . . . . . 14

6.2 Konvektive Systeme . . . . . 15

6.2.1 Heizkörper . . . . . 15

6.2.2 Sonstige Systeme . . . . . 15

6.3 Flächenheizungen . . . . . 16

6.3.1 Fußbodenheizung . . . . . 16

6.3.2 Wandheizung . . . . . 18

6.3.3 Deckenheizung . . . . . 18

**7 Lüftungstechnik** . . . . . 19

7.1 Grundlagen . . . . . 19

7.2 Anlagenprinzipien . . . . . 19

7.2.1 Zentrale Abluftanlagen mit dezentraler Zuluft . . . . . 19

7.2.2 Lüftungsanlagen mit zentraler Zu- und Abluft . . . . . 20

7.2.3 Dezentrale Anlagen . . . . . 20

**8 Passivhaustechnologie** . . . . . 21

8.1 Definition des Passivhauses . . . . . 21

8.2 Technische Systemlösungen . . . . . 21

**9 Sonnenschutz und Kühlung** . . . . . 22

**10 Gebäudesteuerung** . . . . . 23

10.1 Funktionen . . . . . 24

10.2 Bus-Geräte . . . . . 24

10.3 Die Verkabelung . . . . . 24

10.4 BUS-Systeme . . . . . 24

10.5 Zielsetzung und Nutzen im Einfamilienhaus . . . . . 25

10.6 Einbindung in die logistischen Abläufe des Fertigungsprozesses . 25

**11 Installationssysteme und Vorfertigung** . . . . . 25

11.1 Der vorgefertigte Installationskern . . . . . 25

11.2 Vorgefertigte Haustechnikmodule . . . . . 26

**12 Systemlösungen und Zukunftsoptionen** . . . . . 28

**Literaturverzeichnis** . . . . . 29

**Bildnachweis** . . . . . 30

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

In diese Broschüre sind Ergebnisse aus zahlreichen Forschungsprojekten eingeflossen. Für deren Förderung danken wir der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), der Arbeitsgemeinschaft Bauforschung (ARGE BAU), den Forst- und Wirtschaftsministerien des Bundes und der Länder und der Holzwirtschaft.

Abbildung Titelseite:  
 Holzhaus in Salzburg. Das Haus besitzt einen zentralen Installationskern und bereits im Werk eingebaute Sanitär-Montageelemente. Die Energieversorgung erfolgt über ein Gas-Brennwertgerät, eine heizungsunterstützende Solaranlage sowie eine Abluft-Wärmepumpe. Als Energiezentrale dient ein Schichtenspeicher, in den alle Wärmeerzeuger einspeisen. Die Raumbeheizung geschieht über Fußbodenheizung und Heizkörper.

**Impressum**

Das holzbau handbuch ist eine gemeinsame Schriftenreihe von

- Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf
- Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München

Herausgeber:  
 DGfH Innovations- und Service GmbH  
 Postfach 31 01 31, D-80102 München  
 mail@dgfh.de  
 www.dgfh.de  
 (089) 51 61 70-0  
 (089) 53 16 57 fax

Aus Mitteln des Thüringischen Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt gefördert.

Bearbeitung/Verfasser:  
 Dr. Harald Krause,  
 Dipl. Ing. Thomas Kirmayr,  
 B.Tec Dr. Krause & Kirmayr, Rosenheim

Gebäudesteuerung:  
 Dipl. Ing. Christoph Schmidt, Streif GmbH, Weinsheim

Installationssysteme und Vorfertigung:  
 Prof. Dr. Bernhard Schwarz, Rosenheim

Die Autoren und Herausgeber bedanken sich herzlich bei den ehrenamtlich wirkenden Mitarbeitern der begleitenden Arbeitsgruppe.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Schwarz für den Beitrag zahlreicher aktueller Forschungsergebnisse.

Technische Anfragen an:  
 Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.  
 Postfach 30 01 41  
 D-40401 Düsseldorf  
 argeholz@argeholz.de  
 www.argeholz.de  
 (0211) 47 81 80  
 (0211) 45 23 14 fax

Erschienen: Oktober 2002

ISSN-Nr. 0466-2114

**holzbau handbuch**  
**Reihe 3: Bauphysik**  
**Teil 2: Wärme- und Feuchteschutz**  
**Folge 3: Innovative Haustechnik im Holzbau**

## 1 Einleitung

Der Holzhausbau bietet aufgrund der besonderen bauphysikalischen Eigenschaften sowie der fertigungstechnischen Möglichkeiten ein enormes Potential für den Einsatz rationeller, energiesparender und behaglichkeits-fördernder Haustechnik. Zwar wird in der heutigen Baupraxis auf die besonderen Anforderungen an die Haustechnik im Holzbau noch zu wenig eingegangen. In den letzten Jahren haben sich im Bereich der Installations- und Heizsysteme Entwicklungen ergeben, die auf den Holzbau zugeschnitten sind und damit in Verbindung mit dem Potential aus der Vorfertigung zu einem Innovationsschub führen werden.

Zentrale Installationskerne wurden eingehend erstmals im Projekt „Rosenheimer Haus“ untersucht [1] und werden heute bereits erfolgreich eingesetzt. Installationsebenen mit Bautiefen von ca. 6 cm erlauben eine problemlose Leitungsführung für Wasser-, Heizungs-, Lüftungs- und Elektroinstallationen ohne in die luftdichte Hülle einzugreifen.

Spezielle Wand- und Fußbodenheizungssysteme aus Gipsfaserplatten mit eingelassenen Kunststoffrohren sind für den Holzbau ideal geeignet [2].

Einfache, in Fenster integrierbare Zuluftelemente erlauben zusammen mit im Installationskern installierten stromsparenden Abluftanlagen eine kostengünstige Wohnraumlüftung [3].

Heizzentralen mit Holzpellets als Brennstoff oder Wärmepumpenanlagen sind mit Leistungsbereichen, die einem modernen Holzhaus gerecht werden, verfügbar (s. Kap.4).

Bei Gebäuden mit großen Glasflächen spielt das Raumklima im Sommer eine immer wichtigere Rolle. Für den Holzbau wurden bereits Konzepte entwickelt, die überschüssige Wärme über konventionelle Fußbodenheizungssysteme vom Wohnraum in die Bodenplatte abführen [4].

Die Eingangs erwähnten besonderen Anforderungen im Holzbau ergeben sich zum einen aus den bauphysikalischen Gegebenheiten und zum anderen aus den Möglichkeiten und Anforderungen an die Installationssysteme. Sowohl von der anlagentechnischen Seite als auch von der installationstechnischen Seite her wurden in der Vergangenheit meist für den Massivbau entwickelte Techniken mehr oder weniger gut an den Holzbau adaptiert.

Neben den fehlenden Produkten war und ist zum Teil noch heute eine unzureichende Schulung und Praxiserfahrung der Installationsbetriebe festzustellen.

Dies ist aus technischer Sicht nicht nachvollziehbar. Die vielfältigen Möglichkeiten, die eine durchdachte Holzbaukonstruktion ergibt, sollten grundsätzlich zu einer deutlichen Effizienzsteigerung führen. Zusammen mit den hohen Qualitätsanforderungen, die zum Teil in diesem Heft beschrieben werden, ist damit ein weiteres Argument für den Holzbau gegeben.

Das vorliegende Heft soll dem innovativen Holzhaushersteller einen Überblick über z.Zt. verfügbare Techniken und interessante Zukunftsentwicklungen bieten. Es dient damit vor allem der Auswahl eines geeigneten Systems für den jeweiligen Haustyp unter Berücksichtigung der individuellen Kundenwünsche. Zusammenfassende Tabellen sollen die Vor- und Nachteile einzelner Anlagenkomponenten und Installationstechniken verdeutlichen. Vor dem Hintergrund der EnEV [5] sollen die vielfältigen Möglichkeiten und Vorteile einer integrativen Gebäudeplanung mit dem Ziel einer effizienten Hausfertigung dargestellt werden.

## 2 Grundlagen und Anforderungen

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Anforderungen an die Haustechnik im Sinne einer bauphysikalischen aber auch behaglichkeitsbetonten Betrachtungsweise dargestellt. Vor einer Entscheidung zum richtigen Heizungssystem oder der richtigen Elektroinstallation sollten immer die speziellen Wünsche und Erwartungen des späteren Bewohners als entscheidendes Kriterium mit einbezogen werden.

Das wichtigste Ziel ist die Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas im weitesten Sinne. Dazu sind viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen, wie

- thermische Behaglichkeit,
- lufthygienische Behaglichkeit,
- Raumausleuchtung durch Tages- oder Kunstlicht,
- geringe Schallemissionen u.v.a.

### 2.1 Besondere Anforderungen im Holzbau

Die besonderen Anforderungen aufgrund der bauphysikalischen Gegebenheiten im Holzbau stellen sich wie folgt dar:

- Durch die bereits bisher im Holzbau üblichen sehr guten Wärmedämmstandards ergibt sich eine geringe Heizlast, die meist in keinem Verhältnis mehr zu den marktüblichen Leistungen der Wärmezeuger steht. Für ein Wohnhaus mit ca. 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche reicht meist eine Heizleistung von ca. 5 bis 7 kW aus. Dadurch ergeben sich Möglichkeiten für neue oder „wiederbelebte“ Heiztechniken. Weitere Entwicklungen in Richtung Passivhaus oder die von der KfW geförderten 60 kWh und 40 kWh Häuser [6] führen zu nötigen Heizleistungen bis zu 1,5 kW. Dies entspricht der Leistung eines Haarföhnes. (s. Kap. 7)
- Durch die gute Wärmedämmung ergeben sich hohe und damit behagliche innere Oberflächentemperaturen der Außenbauteile. So liegt z.B. bei einem U<sub>W</sub>-Wert der Außenwand von 0,2 W/(m<sup>2</sup>K) bei einer Außentemperatur von –20 °C die innere Oberflächentemperatur bei ca. 18,5 °C. Daraus ergeben sich andere Anforderungen an die Anbringung von Heizflächen. Es konnte gezeigt werden, dass diese nicht notwendigerweise an den Außenflächen platziert werden müssen, was zu deutlich reduzierten Installationskosten führen kann (s. Kap. 6). Mit entscheidend für die Heizflächenanordnung ist neben der guten Wärmedämmung der Außenwand auch der Einsatz gut wärmedämmender Fensterkonstruktionen mit U-Werten kleiner 1,5 W/(m<sup>2</sup>K). Inzwischen sind Fensterkonstruktionen mit U-Werten bis zu 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) verfügbar [29].
- Die meist geringe Wärmekapazität der Innen- und Außenwände im Holzständerbau führt zu besonderen Anforderungen an die Heizungsregelung und an die Sonnenschutzeinrichtungen. Das Gebäude, wie auch der einzelne Raum, reagiert schnell auf sich ändernde Umgebungsbedingungen, wie z.B. Sonneneinstrahlung. Ein schnell reagierendes Heizsystem, wie z.B. Heizkörper, bietet damit auf den ersten Blick Vorteile gegenüber den trägeren Flächenheizungssystemen, wie z.B. Fußbodenheizung. Bei weiter sinkendem Wärmebedarf ergeben sich jedoch so niedrige Heiztemperaturen bei Flächenheizungssystemen, dass die sog. Selbstregelung dieser Systeme immer besser funktioniert. (Kap. 6.3.1)
- Besondere Beachtung verdient der Schallschutz innerhalb des Gebäudes. Heizungsinstallationen, z.B. Heizkörper-

zuleitungen, werden oft direkt auf der Decke verlegt. Um die Trittschalldämmung hoch zu halten, ist deshalb eine Ankopplung dieses Rohrsystems an den Estrich oder den Bodenbelag unbedingt zu verhindern. Hierbei ist insbesondere bei Heizungsinstallationen und Elektroinstallationen äußerste Sorgfalt geboten. In [7] wurden die Auswirkungen von mangelhaften Installationen auf den Schallschutz gut verständlich dargestellt.

## 2.2 Gebäudedichtheit und Grundluftwechsel

Alle Gebäude sind nach der geltenden Energieeinspar-Verordnung und nach den Regeln der Technik luftdicht auszuführen [5]. Den Hauptbeweggrund für diese Forderung bildet das Ziel des Energiesparens, da durch eine höhere Gebäudedichtheit geringere Lüftungswärmeverluste zu erwarten sind. Im Holzbau war diese Anforderung aus bauphysikalischer Sicht schon lange ein fester Bestandteil, da Undichtheiten zum Eindringen von warmer und feuchter Innenraumluft in die Baukonstruktion führen können. Bei Unterschreiten der jeweiligen Taupunkttemperatur kommt es zwangsläufig zu Tauwasserausfall innerhalb der Konstruktion. Was demnach für den Holzhaushersteller Stand der Technik und bauphysikalische Grundkenntnisse darstellt, ist für andere Gewerke jedoch meist technisches Neuland.

Problematisch sind Luftströme vom Innenraum nach außen. Durch einen Unterdruckbetrieb des Gebäudes mittels einer einfachen zentralen Abluftanlage, kann dieses Problem grundsätzlich beseitigt werden. Dies ist neben den lufthygienischen Aspekten ein Hauptargument für den Einsatz von Lüftungsanlagen (s. Kap. 6).

Aus der praktischen Bauerfahrung heraus, sollte in der Zusammenarbeit mit den Installationsgewerken äußerster Wert auf Verdeutlichung der Rolle einer Dampfbremse oder einer luftdichten Ebene gelegt werden.

Die Gebäudedichtheit wurde in der EnEV [5] mit konkreten messbaren Werten festgelegt. Mit Hilfe der Blower-Door Prüfung [8] wird ein maximaler Luftwechsel bei einer Druckdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und Umgebung von 50 Pa von  $n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$  gefordert. Der Dichtigkeitstest ist nicht grundsätzlich zu führen. Wird die Prüfung durchgeführt, kann man für sein

Gebäude einen Bonus beim Primärenergienachweis verwenden. Dieser führt bei einem typischen Einfamilienhaus zu einer Reduzierung des Primärenergieverbrauches von ca.  $5\text{--}7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Verpflichtend ist die Dichtheitsprüfung beim Einsatz von Wohnungslüftungsanlagen. Um die Energieeinsparung einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung ansetzen zu dürfen, darf ein  $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$  nicht überschritten werden.

Anforderungen an die **Gebäudedichtheit** einerseits und den hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel oder die Frischluftzufuhr werden in der alltäglichen Diskussion oft unzulässig miteinander vermischt.

Die Anforderungen an die Gebäudedichtheit ergeben sich hauptsächlich aus

- bauphysikalischen Gesichtspunkten und damit der Vermeidung von Bauschäden,
- der Forderung nach Energiesparung und
- der Vermeidung von unbehaglichen Zugerscheinungen.

Der im Gebäude nötige **Luftwechsel** ist u.a. in [9] definiert und ergibt sich aus folgenden Gesichtspunkten:

- Im Gebäude entstehende Schadstoffe sollen aus dem Gebäude abgeführt werden.
- Die Luftfeuchtigkeit soll im behaglichen Rahmen und damit auch im bauphysikalisch unkritischen Bereich zum Schutz von Tauwasserausfall gehalten werden.
- Durch Zuführung von Frischluft soll die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in den behaglichen Bereichen gehalten werden.
- Der Luftwechsel soll unabhängig vom Außenklima gewährleistet werden.

Es kann demnach keine Lösung sein, ein undichtes Gebäude mit der Sicherstellung eines natürlichen Luftwechsels zu rechtfertigen. Die Frage, die sich zwangsläufig ergibt, ist die nach dem geeigneten Konzept für eine praktisch einsetzbare Wohnraumlüftung. Sowohl die Wärmeschutzverordnung 1995 als auch die EnEV fordern explizit die Sicherstellung des Grundluftwechsels bei gleichzeitiger Gebäudedichtheit. Leider wird eine explizite Antwort auf das „wie“ nicht gegeben. So ist beispielsweise unklar, ob die Forderung nach dem Grundluftwechsel auch bei geschlossenen Fenstern gilt, so wie es z.B. in Frankreich oder Schweden praktiziert wird. Bisher wurde die Verantwortung für den Luft-

wechsel auf den Bewohner abgeschoben, was nach Meinung der Autoren kein Zukunftskonzept darstellt. In Kap.7 werden einfache und erprobte Techniken vorgestellt, die eine gute Raumluftqualität sicherstellen können.

Bei der Luftqualität muss zwischen den leicht messbaren Größen Luftfeuchte,  $\text{CO}_2$ -Konzentration und den schwerer quantifizierbaren Geruchs- oder Schadstoffbelastungen unterschieden werden. Wenn die Außenluftqualität gut ist und die Freisetzung gesundheitlich bedenklicher Schadstoffe klein ist, kann die Bemessung des nötigen Luftwechsels in Wohnungen nach den Kriterien für die maximale  $\text{CO}_2$ -Konzentration bzw. Luftfeuchte durchgeführt werden. Die maximale  $\text{CO}_2$ -Konzentration ergibt sich aus dem Pettenkofer-Kriterium zu  $0,1 \text{ Vol}\%$  [10]. Dies führte zu den Anforderungen nach einem hygienisch bedingten Mindestluftwechsel von  $30 \text{ m}^3$  pro Stunde und Person bei mittlerer Aktivität. Je nach Belegung einer Wohnung ergeben sich daraus Luftwechselraten zwischen  $0,3$  und  $0,8 \text{ h}^{-1}$ . Unter Berücksichtigung der nicht vermeidbaren Belastung durch interne Schadstoffquellen (wie Möbel, Teppiche) ergibt sich die Forderung nach einem Personen unabhängigen Mindestluftwechsel von  $0,3$  pro  $\text{h}^{-1}$ , der in der DIN 1946-6 [9] festgeschrieben ist. Neuere Untersuchungen zeigen ein etwas differenzierteres Bild des tatsächlich nötigen Luftwechsels in Abhängigkeit der Gebäudebelegung [11].

Besondere Schadstoffquellen, wie z.B. Raucher, sind dabei nicht berücksichtigt. Grundsätzlich kann der Schadstoffeintrag durch Rauchen mit keiner heute verfügbaren Technik beseitigt werden, da dabei mit einem um den Faktor von ca. 30 erhöhten Schadstoffeintrag umzugehen ist. Damit wäre auch ein um diesen Faktor erhöhter Luftwechsel nötig.

Bild 1 soll verdeutlichen, warum eine natürliche Lüftung durch Undichtheiten grundsätzlich den Anforderungen an eine behagliche Luftqualität nicht entsprechen kann. Aufgezeigt ist der Verlauf der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in einem Schlafzimmer und Wohnzimmer in Abhängigkeit von der Raumbelastung. Um mit der  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Bereich unter  $1000 \text{ ppm}$  zu bleiben, sind zeitabhängig Luftwechselraten von  $0,3$  bis zu  $1,5 \text{ h}^{-1}$  nötig. Tabelle 1 zeigt jedoch, dass bei geschlossenen Fenstern nicht einmal die minimalen Luftwechselraten erzielt werden können. Eine energie-

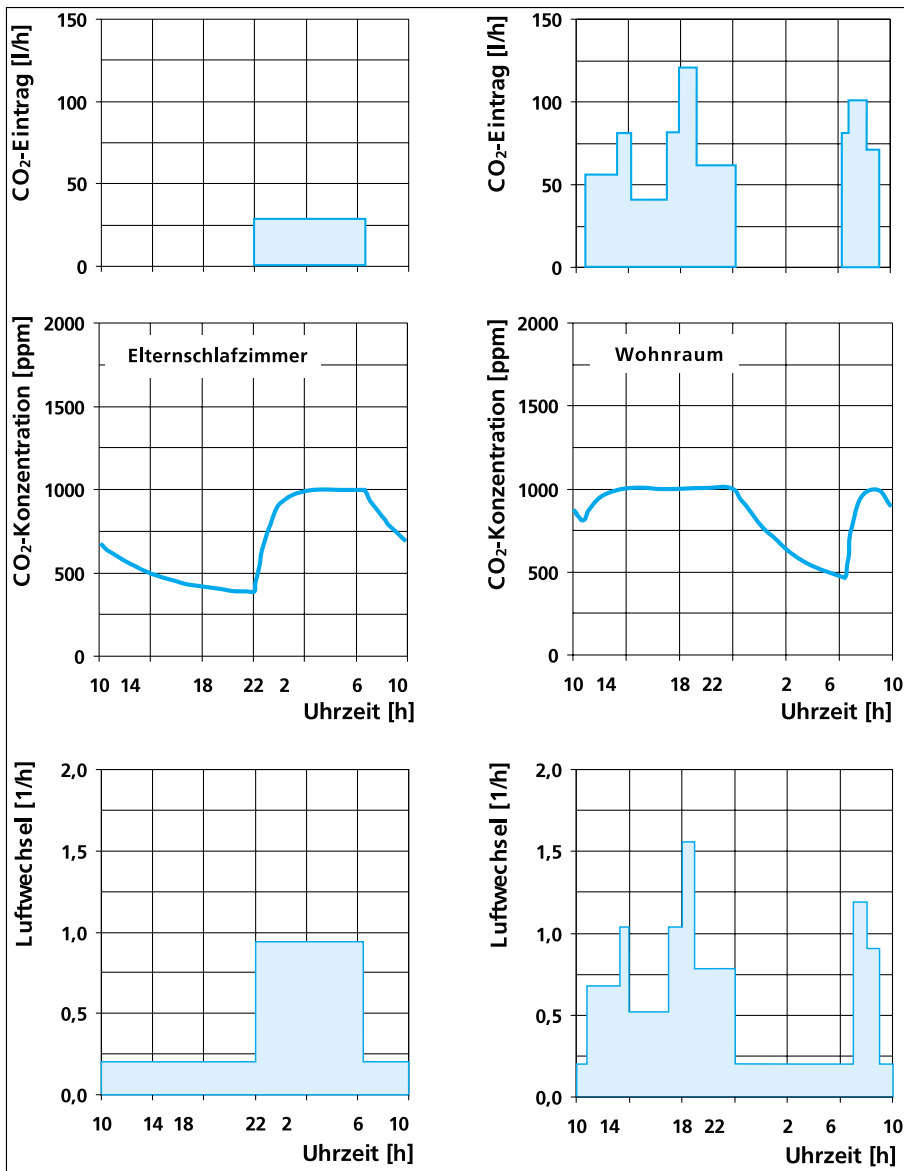


Bild 1 Erforderliche Mindestlüftung im Elternschlafzimmer und im Wohnzimmer eines typischen Wohnhauses. Angegeben ist jeweils die Luftwechszahl, bei der die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft gerade bei einem Wert von 1000 ppm bleibt [11].

Tabelle 1 Im einem Versuchshaus unter durchschnittlichen, winterlichen Klimabedingungen gemessene Luftwechszahlen (aus [11]).

Randbedingungen für den Luftwechszahl	Luftaustausch
alle Fenster geschlossen	0,04...0,15 h <sup>-1</sup>
zwei Fenster mit Spaltlüftung (10 mm)	0,1 ...0,3 h <sup>-1</sup>
zwei Fenster mit Spaltlüftung (20 mm)	0,1 ...0,4 h <sup>-1</sup>
ein Fenster auf der Luvseite gekippt	0,6 ...1,9 h <sup>-1</sup>
ein Fenster auf der Leeseite gekippt	0,4 ...1,1 h <sup>-1</sup>
zwei Fenster gekippt (Diagonallüftung)	1,0 ...5,0 h <sup>-1</sup>

tisch akzeptable Lösung wäre die Stoßlüftung mit Fenstern. Da diese jedoch im Allgemeinen nicht jederzeit und kontinuierlich praktiziert werden kann und wird, ist auch mit dieser Technik keine gleichbleibende Luftqualität zu erwarten.

### 2.3 Behaglichkeit und Wohnklima

Ziel jeder Haustechnik und allgemeiner jeder Gebäudekonzeption ist die Sicherstellung eines behaglichen Wohnklimas. Während bestimmte Empfindungen der Bewohner, wie z.B. Helligkeitsanforderungen, räumliche Aufteilung etc. schwer quantifizierbar sind, gibt es für die thermische Behaglichkeit sowie das Empfinden der Luftqualität statistisch ermittelte Daten, welche in der DIN 1946-2 [12] dargestellt sind.

Thermische Behaglichkeit ist dann gegeben, wenn der Mensch die Temperatur, die Luftfeuchte und die Luftbewegung als angenehm oder nicht störend empfindet (Bild 2). Die empfundene Temperatur ergibt sich aus der Strahlungstemperatur der umgebenden Flächen und der Raumlufttemperatur. Besonders störend sind asymmetrische Temperaturverteilungen, wenn z.B. der Mensch von der einen Seite durch einen Heizkörper erwärmt wird und auf der anderen Seite an eine kalte Glasfläche Wärme abgibt. Die Grenzwerte für eine derartige Asymmetrie sind wiederum in DIN 1946-2 gegeben und in Tabelle 2 zusammengefasst. Aus den Werten geht hervor, dass z.B. eine Deckenheizung bei relativ niedrigen Übertemperaturen über 3,5 K als unangenehm empfunden wird, während Wandflächen noch bei Übertemperaturen bis 19 K toleriert werden.

In gewissen Grenzen kann eine niedrige Temperatur der umgebenden Flächen durch eine Erhöhung der Raumlufttemperatur ausgeglichen werden. Die DIN 1946-2 definiert deshalb eine operative Raumtempe-

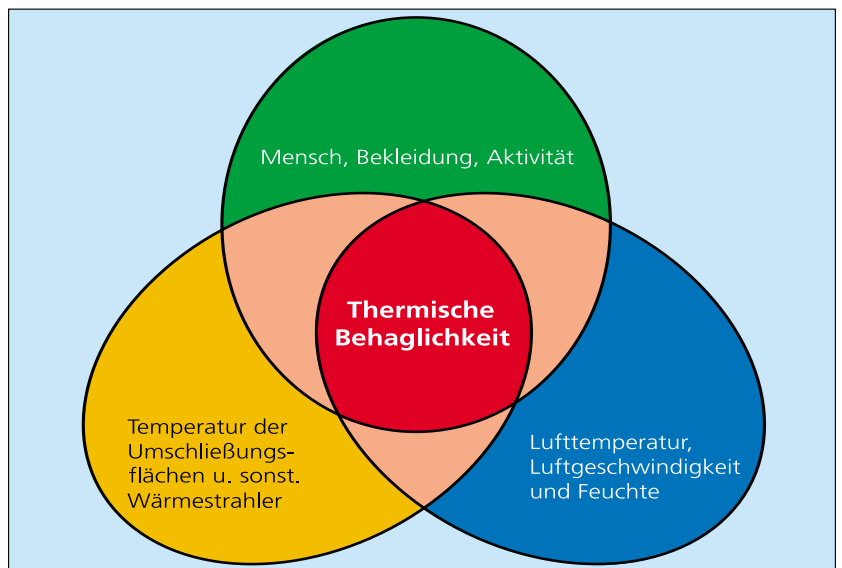


Bild 2 Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit.

Tabelle 2 Einige Grenzwerte zur Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas nach DIN 1946-2

Größe	Beschreibung	Grenzwerte
Temperaturschichtung	Änderung der Lufttemperatur pro m Raumhöhe (Temperaturgradient)	max. 2 K pro m Raumhöhe
	Lufttemperatur in 0,1 m Höhe über dem Fußboden	min. 21 °C
Strahlungstemperaturasymmetrie	Zulässige Temperaturunterschiede zwischen den zwei Halbräumen (vereinfacht auch gegenüberliegende Flächen)	max.
	warme Decken	3,5 K
	kalte Decken	17,0 K
	warme Wandflächen	19,0 K
	kalte Wandflächen	8,0 K
Luftgeschwindigkeit	Maximale Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad	max.
	Beispiel für 20 °C bei mittlerem Turbulenzgrad	0,15 m/s

ratur, die sich im einfachsten Fall als Mittelwert zwischen Raumluft- und Strahlungstemperatur ergibt. Dieser Zusammenhang ist die Ursache dafür, dass bei Flächenheizungssystemen im Vergleich zu Konvektionssystemen bereits mit niedrigeren Lufttemperaturen ein behagliches Klima erzeugt werden kann. Ziel sollte es jedoch sein, Luft- und Strahlungstemperaturen einander anzugleichen.

Der Einfluss der Luftgeschwindigkeit wird durch die Forderung nach Zugfreiheit anschaulich gemacht. Bei Lufttemperaturen von 20 °C und mittlerem Turbulenzgrad wird eine Luftgeschwindigkeit bis ca. 0,15 m/s nicht als störende Zugluft wahrgenommen. Die Luftgeschwindigkeiten innerhalb eines dichten Gebäudes werden durch Kaltluftabfall an größeren verglasten Flächen, durch Warmluftaufstieg an mit hohen Temperaturen betriebenen Heizflächen und durch die Lüftung beeinflusst. Damit wird deutlich, dass von der Gebäudearchitektur bis zur Haustechnik ein durchgängiges Konzept nötig ist, um eine optimale Behaglichkeit zu erreichen. Aufgrund der in Holzhäusern meist vorhandenen sehr guten Wärmedämmung ist durch die hohen Oberflächentemperaturen der Innenwände eine gute Voraussetzung für ein behagliches Wohnklima gegeben.

### 2.4 Ermittlung der Heizleistungen

Neben der Art der Wärmeeinbringung ist die richtige Dimensionierung der Heizleistung der Raumheizflächen sowie des Wärmeerzeugers eine wichtige Voraussetzung für ein effizient arbeitendes Heizungs-

system. Das Berechnungsverfahren für Heizlasten ist in der DIN 4701 [13] festgelegt. Die Berechnung ist grundsätzlich für jedes Gebäude durchzuführen. Als Ergebnis erhält man die für jeden Raum notwendigen Heizleistungen. Insbesondere bei großen Glasflächen in den Wohnräumen kann eine überschlägige Bestimmung der Heizlast zu drastischen Fehleinschätzungen führen.

Sonderfälle ergeben sich bei zeitweise genutzten Gebäuden oder Räumen. Soll ein Raum in kurzer Zeit um mehrere Grad erwärmt werden, sind meist deutlich höhere Heizleistungen nötig als im Fall der dauernden Beheizung.

Grundsätzlich sollten auch die Kundenwünsche abgefragt werden. Da die DIN 4701 mit festgelegten Raumtemperaturen rechnet, sind Wünsche nach höheren Raumtemperaturen gesondert zu berücksichtigen.

Bei sehr guten Niedrigenergiehäusern mit Jahresheizwärmebedarf unter 30 kWh/(m²a) sowie Passivhäusern mit kleiner 15 kWh/(m²a) sollte auf für diese Fälle angepasste Verfahren, wie sie in [30] oder [31] dargestellt sind zurückgegriffen werden.

## 3 Integrative Planung und Energieeinsparverordnung

### 3.1 Grundsätze der Energieeinsparverordnung

Die Anforderungen der neuen Energieeinsparverordnung (EnEV) werden in der Praxis nur erfüllt werden können, wenn die Grundsätze einer integrativen Planung umgesetzt werden.

Die EnEV legt einen von der Gebäudeform abhängigen maximalen Primärenergiebedarf fest. Zu dessen Ermittlung müssen folgende Größen berechnet werden:

1. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes.
2. Der Endenergiebedarf des Gebäudes unter Berücksichtigung der Anlagentechnik.
3. Der Primärenergieverbrauch für den jeweiligen Primärenergieträger.

Die bauphysikalischen und anlagentechnischen Erfordernisse beeinflussen sich wechselseitig, weshalb bereits in der Vorentwurfsplanung eine enge Zusammenarbeit zwischen Planer oder Architekten, dem SHK\*-Betrieb oder SHK-Planer und dem Bauherren nötig ist.

Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Gebäude und Anlagentechnik zeigt Bild 3.

Den möglichen zeitlichen Ablauf sowie die Einflussmöglichkeiten auf die Kosten und den Energieverbrauch stellt der Ablaufplan in Tabelle 3 dar.

### 3.2 Beispielrechnung

Die Möglichkeiten der Einflussnahme sollen an Hand eines einfachen Beispiels erläutert werden.

Das Beispielgebäude ist wie folgt definiert:

- $U_W = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_D = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_G = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_F = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Gebäudenutzfläche nach EnEV  
 $A_N = 210 \text{ m}^2$
- Niedertemperatur-Ölheizung mit Heizkörpern, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle

Daraus ergibt sich ein Primärenergiebedarf von 135 kWh/(m²a). Die EnEV fordert für dieses Gebäude einen Maximalwert von 110 kWh/(m²a).

\*SHK: Sanitär, Heizung, Klima

Tabelle 3 Bauablauf und Möglichkeiten zur Beeinflussung

Phase	Inhalte	Beteiligte	Einflussmöglichkeiten auf	
			Energieverbrauch	Kosten
Vorentwurf	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielsetzung</li> <li>- Gebäudeart, -form</li> <li>- Raumbedarf</li> <li>- Heizart, Einsatz regenerativer Energien</li> <li>- Standort, Klima, Ausrichtung</li> </ul>	Bauherr, Planer, Haustechniker	hoch	hoch
Entwurf	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundrissplanung</li> <li>- Installationsmöglichkeiten Heizung, Sanitär, Lüftung</li> <li>- Energieoptimierung (Wärmedämmung, Haustechnik, Regelung)</li> <li>- Energieträger festlegen (Kamin, Lagerraum, Genehmigung Erdsonden etc.)</li> <li>- EnEV Berechnung ggf. auch für Fördermittel</li> </ul>	Bauherr, Planer, Haustechniker	mittel	mittel
Genehmigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umsetzung der Konzepte</li> <li>- Feinabstimmung mit Fachplanern</li> <li>- Besondere Genehmigungen (Wärmepumpe etc.)</li> </ul>	Bauherr, Planer, Haustechniker	niedrig	niedrig
Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bauüberwachung</li> <li>- Qualitätssicherung</li> </ul>	Haushersteller, Installateure, Planer	mittel	mittel
Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einweisung Bauherr</li> <li>- Einmessen, Einregeln Heizung und Lüftung</li> <li>- Protokollierung der Inbetriebnahme und Einstellungen</li> </ul>	Bauherr, Installateur	mittel	niedrig
Betrieb	regelmäßige Wartung	Installateur	mittel	niedrig

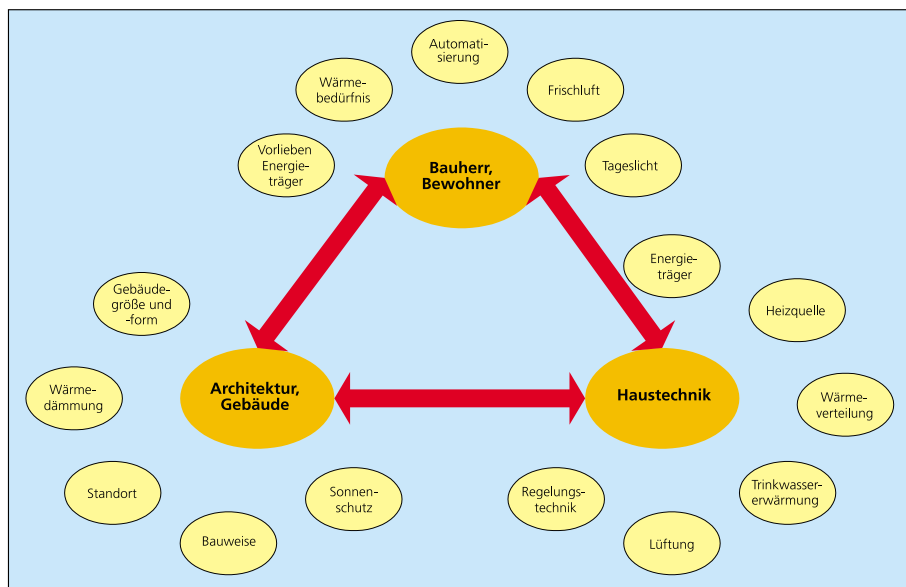


Bild 3 Integrative Planung ist aufgrund der Vernetzung der verschiedensten Bereiche eine unumgängliche Voraussetzung für ein erfolgreiches Bauprojekt.

Tabelle 4 Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf den Primärenergiebedarf

Maßnahme	Beschreibung	Verbesserung in kWh/(m²a)
Außenwand	Verbesserung auf $U_w = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	8
Wärmebrücken	Anschlussdetails nach DIN 4108 Bbl. 2	10
Luftdichtheit	Nachweis der Luftdichtheit durch Blower Door Prüfung	8
Solaranlage	Einsatz einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung	15
Heizsystem	Einsatz einer Brennwertheizung	13
Heizsystem	Einsatz einer Erdreichwärmepumpe mit Heizkörpern 55/45	48
Heizsystem	Einsatz einer Erdreichwärmepumpe in Verbindung mit einer Fußbodenheizung 35/28	55
Lüftung	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	22

Tabelle 4 zeigt mögliche Maßnahmen und deren Auswirkung auf den Primärenergiebedarf. Die Werte sind nicht additiv zu sehen, d.h. für jede Kombination muss eine Berechnung durchgeführt werden.

Eine mögliche, kostenoptimierte Variante zur Einhaltung der EnEV-Anforderungen durch eine Verbesserung der Haustechnik wäre z.B. die Kombination einer Gasbrennwertheizung mit einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung. In diesem Fall erhält man einen Primärenergiebedarf von 108 kWh/(m²a). Eine Lösung mit Wärmepumpe führt in Verbindung mit Niedertemperaturheizkörpern oder Fußbodenheizung zur deutlichen Verringerung des Primärenergiebedarfs.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass in der EnEV noch weitere Nebenanforderungen wie z.B. ein maximaler Transmissionswärmebedarf festgelegt sind. Dies soll verhindern, dass beispielsweise beim Einsatz einer Wärmepumpe in Verbindung mit Solartechnik eine Gebäudehülle mit Wärmedämmstandard schlechter als die alte Wärmeschutzverordnung 1995 realisiert werden kann.

Zu einer ersten Bewertung der Energieträger kann Tabelle 5 verwendet werden. Der Primärenergiefaktor ist ein Maß für die Umwandlungs- und Transportverluste, die bis zur Lieferung zum Heizraum auftreten. Zu erwähnen ist noch, dass bei Gebäuden, die mit mindestens 70 % durch regenerative Energien (Pelletsheizung etc.) beheizt werden, kein Primärenergienachweis nötig ist. Es gelten dann ausschließlich die Anforderungen an die maximalen Transmissionswärmeverluste.

Die einzelnen Heizsysteme werden in Kap. 4 näher erläutert. Einen sehr guten Überblick über die EnEV und eine detailliertere Betrachtung von möglichen Maßnahmen findet man in [14].

### 3.3 Gebäudeklassifikation nach Energiebedarf

Da nach der EnEV der Begriff Niedrigenergiehaus als besonders energiesparendes Gebäude seinen Sinn verloren hat, schlagen die Autoren eine Klassifikation vor, die sich an die Förderkriterien der KfW [6] anlehnt. Demnach wird im Folgenden unterschieden zwischen:

- EnEV Haus: erfüllt die Anforderungen der EnEV

Tabelle 5 Primärenergiefaktoren nach DIN 4701-10:2001-02. Für Holzpellets wird derzeit ein Wert von 0,2 diskutiert.

Energieträger		Primärenergiefaktoren
Brennstoffe	Heizöl EL	1,1
	Erdgas H	1,1
	Flüssiggas	1,1
	Steinkohle	1,1
	Braunkohle	1,2
Nah/Fernwärme aus KWK	fossiler Brennstoff	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,0
Nah/Fernwärme aus HKW	fossiler Brennstoff	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	0,1
Strom	Strom-Mix	3,0*

\* In der EnEV wurde der Wert für eine Übergangszeit von 5 Jahren unter bestimmten Voraussetzungen auf 2,3 reduziert.

- 60 kWh Haus: weist einen **Primärenergiebedarf** für Heizung und Warmwasser nach EnEV von 60 kWh/a auf.
- 40 kWh Haus: weist einen **Primärenergiebedarf** für Heizung und Warmwasser nach EnEV von 40 kWh/a auf.
- Passivhaus: weist einen **Jahresheizwärmebedarf** von 15 kWh/(m²a) auf, wobei als Nachweis das PHPP 2002 [31] und nicht die EnEV anzuwenden ist.

#### 4 Wärmeerzeuger

Für die Erzeugung der nötigen Wärme für Heizung und Warmwasser stehen mehrere Energieträger und verschiedene Erzeugungstechniken zur Verfügung. Der folgende Abschnitt soll einen Überblick über die Möglichkeiten verschaffen und im Hinblick auf die EnEV eine erste Beratung des Bauherren bzw. eine Vorprojektierung ermöglichen.

Neben den energetischen Kriterien sind immer die Investitionskosten, die Verbrauchskosten, die Kundenwünsche und die Umwelteigenschaften sowie die Versorgungssicherheit mit dem jeweiligen Brennstoff von entscheidender Bedeutung. In Tabelle 7 werden verschiedene Techniken gegenübergestellt. Weitere Erläuterungen sind im Text enthalten.

#### 4.1 Heizanlagen mit fossilen Brennstoffen

Diese Heizanlagen basieren auf der geregelten Verbrennung der fossilen Energieträger Öl und Gas. Aus ökologischen Gründen ist keinem der beiden Brennstoffe ein unbedingter Vorzug zu geben.

##### 4.1.1 Niedertemperaturkessel

Stand der Technik bei fossilen Energieträgern sind die Niedertemperaturkessel für Öl- oder Gasverbrennung. Niedertemperaturkessel führen im Vergleich mit früheren Techniken zu niedrigeren Kessel- und damit Abgastemperaturen und reduzieren somit die Abgasverluste. Die Kesseltemperatur wird je nach Anforderungen des Heizverteilsystems gleitend geregelt. Bei Gasgeräten ist eine Leistungsmodulation möglich, d.h. eine Anpassung der Brennerleistung an die jeweilige Heizlastanforderung des Gebäudes oder der Trinkwasserbereitung. Aufgrund der hohen Stückzahlen sind die Geräte als preiswert und ausgereift zu bezeichnen.

##### 4.1.2 Brennwerttechnik

Die Brennwerttechnik wurde entwickelt, um aus den fossilen Energieträgern das Maximum an Heizenergie zu gewinnen. Dazu wird das Abgas in einem speziellen Wärmetauscher soweit gekühlt, dass bereits im

Kessel das im Abgas enthaltene Wasser kondensiert. Man erreicht damit Wirkungsgrade von bis zu 108 % bezogen auf den Heizwert des Brennstoffes. Der Heizwert ist definiert als die bei der Verbrennung des Stoffes erzeugbare Wärmeenergie ohne Nutzung der Wasserkondensation.

In Verbindung mit dem Energieträger Erdgas oder Flüssiggas stellt die Brennwerttechnik inzwischen den Stand der Technik dar. Für Einfamilienhäuser stehen kompakte wandhängende Geräte zur Verfügung. In diesen Leistungsbereichen kann das anfallende Kondenswasser direkt ins Abwasser abgeleitet werden. Zu beachten ist der Modulationsgrad der Geräte. Gute Geräte erreichen eine minimale Modulationstiefe<sup>2</sup> von ca. 20 % der Nennleistung und können somit auch im Niedrigenergiehaus ohne zu häufiges Takten, d.h. Ein- und Ausschalten, betrieben werden. Öl-brennwertgeräte sind seit kurzem serienmäßig verfügbar, sind aber aufgrund der kleinen Stückzahlen noch deutlich teurer als vergleichbare Niedertemperaturkessel. Bei Ölgeräten ist der Brennwertwärmetauscher dem eigentlichen Kessel meist nachgeschaltet. Der Brennwerteffekt ist grundsätzlich geringer als beim Gas, da der Wasseranteil im Abgas geringer ist. Außerdem muss das anfallende Kondensat auf jeden Fall neutralisiert werden, da Heizöl einen höheren Schwefelgehalt aufweist und somit Schwefelsäure bei der Kondensation entsteht.

<sup>2</sup> Minimale Kesselleistung bezogen auf die Nennleistung

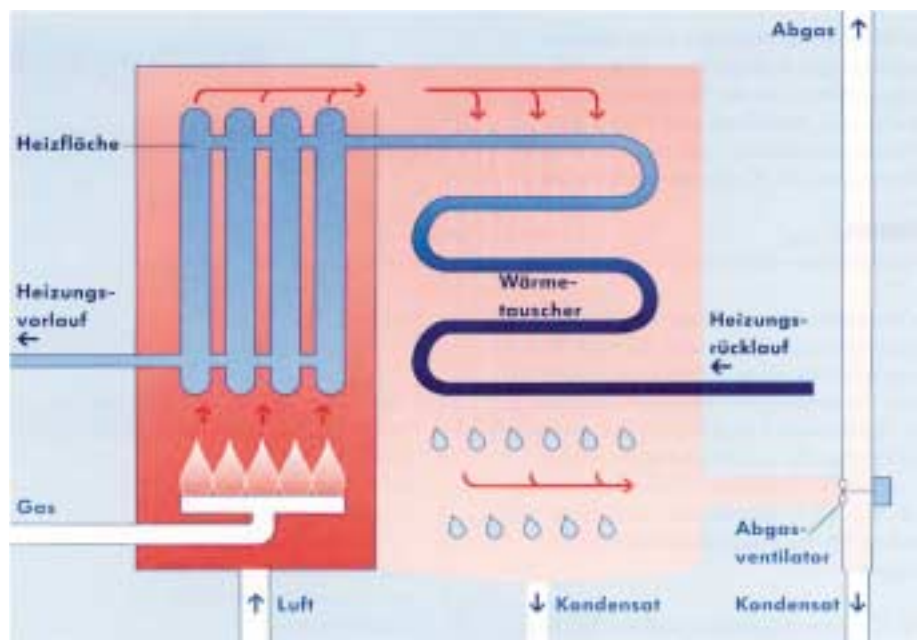


Bild 4 Prinzip der Brennwerttechnik: Über einen speziellen Wärmetauscher wird dem Abgas soviel Wärme entzogen, dass der enthaltene Wasserdampf kondensiert. Die Kondensationswärme steht somit wieder dem Heizungssystem zur Verfügung.



### 4.1.3 Neuere Entwicklungen

#### Gas-Wärmepumpe

In Kürze wird eine Kombination aus gasbetriebener Wärmepumpe und Gasbrennwertgerät angeboten [15]. Dabei sorgt eine kleine Adsorptionswärmepumpe für die Sicherstellung des Grundwärmeangebotes. Die Wärmepumpe entzieht der Umwelt die Energie über einen Luftkollektor und erreicht eine Spitzenleistung von 3,6 kW. Da dies für die nötigen Spitzenlasten und die Warmwasserbereitung im Allgemeinen nicht ausreicht, ist ein gewöhnliches Gasbrennwertgerät integriert. Mit dem Gerät können Jahresnutzungsgrade von ca. 130 % erreicht werden, so dass noch einmal eine Steigerung zur Brennwerttechnik möglich wird.

#### Blockheizkraftwerk

Blockheizkraftwerke sind im industriellen Bereich und in Nahwärmenetzen inzwischen häufig anzutreffen. Im Einfamilienhaus steht dem Einsatz meist der mangelnde Strombedarf im Wege. Ein Blockheizkraftwerk ist im Prinzip ein Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt und damit Strom erzeugt. Die entstehende Abwärme wird dabei ebenfalls genutzt (Kraft-Wärme-Kopplung) und kann zur Heizung oder Warmwasserbereitung dienen. Seit einiger Zeit sind Geräte mit thermischen Leistungen von ca. 10 kW erhältlich (z.B. [16]). Entscheidend für die ökologische und auch wirtschaftliche Rentabilität ist eine möglichst lange Laufzeit des Gerätes, da sich nur dann die Vorteile einer günstigen Stromproduktion bezahlt machen. Ideale Anwendung sind die Versorgung von mehreren Häusern oder eine gemischte Wohn- und Gewerbeeinheit mit entsprechender Stromabnahme. Die jeweiligen Anwendungsfälle sind in jedem Fall gründlich zu untersuchen und sollten von einem Fachmann auf Eignung geprüft werden. Ein besonderer Anreiz zum Einsatz dieser Technik ergibt sich aus dem KWKGesetz, in welchem erhöhte Einspeisevergütungen für den produzierten Strom festgeschrieben sind [17]

#### Brennstoffzelle

##### Leistungszahl

Die Leistungszahl ist das Verhältnis von der ans Heiznetz abgegebenen Wärmeleistung zu der aufgenommenen elektrischen Leistung des Antriebsmotors bei einem bestimmten Betriebspunkt, d.h. einer definierten Vor- und Rücklauftemperatur und Wärmequellentemperatur.

##### Jahresarbeitszahl

Gibt das Verhältnis der Leistungsabgabe an das Warmwasser und die Heizung zur eingesetzten elektrischen Energie inkl. aller Zusatzaggregate (z.B. auch Nachheizstab) an und stellt damit die für die Praxis ausschlaggebende Bewertungsgröße dar.

Auf die Brennstoffzellentechnologie wird sowohl im Automobilbereich als auch in der Gebäudeenergieversorgung große Hoffnung gelegt. Beschreibungen zur Technik findet man z.B. in [18]. Ähnlich wie beim Blockheizkraftwerk wird sowohl Strom als auch Wärme erzeugt. Die Technik der Erzeugung ist jedoch völlig anders. Durch eine Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser wird elektrischer Strom erzeugt (Umkehrreaktion zur Elektrolyse). Die dabei entstehende Abwärme wird ebenfalls genutzt. Für größere Einfamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäuser sind bereits zukünftige Seriengeräte im Feldversuch im Einsatz. Die Dimensionierung erfolgt sowohl nach dem Strom als auch nach dem Wärmebedarf, wobei ein zusätzlicher Spitzenlastkessel eingesetzt wird. Als Energieträger dient Erdgas, aus welchem der für den eigentlichen Prozess nötige Wasserstoff gewonnen wird. Der Nutzen der Brennstoffzelle im Hinblick auf den Klimaschutz und die Ressourcenschonung hängt vor allem vom verwendeten Energieträger ab. Solange der Wasserstoff aus Erdgas oder anderen fossilen Energieträgern gewonnen werden muss, stellt diese Technik keinen Fortschritt im Sinne des Klimaschutzes dar. Erst durch die Produktion von Wasserstoff aus regenerativen Energien wird die Brennstoffzellentechnologie auch die erhofften ökologischen Vorteile bringen. Der besondere Reiz der Technik liegt im Aufbau eines dezentralen Energieversorgungssystems für Strom- und Wärmeerzeugung. Dies kann auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine ernsthafte Alternative zur jetzt vorherrschenden zentralen Versorgung sein [19].

### 4.2 Elektroheizungen

#### 4.2.1 Elektrisch betriebene Wärmepumpen

Mit einer Wärmepumpe kann einem ansonsten für die Heizung nicht nutzbaren Wärmeniveau Energie entzogen werden und auf ein nutzbares Niveau angehoben werden. Ähnlich wie bei einem Kühlschrank wird durch Kompression und Expansion eines speziellen Kältemittels einem

schon niedrigen Temperaturniveau (z.B. Erdrich bzw. Kühlschränkinneres) Energie entzogen, welche auf einem höheren Temperaturniveau wieder abgegeben wird (z.B. Heizung bzw. Raumtemperatur in der Küche). Dies geschieht unter dem Einsatz von elektrischer Energie, die einen geeigneten Kompressor und Umwälzpumpen antreibt. Die dazu nötigen Techniken und Geräte beschreibt ausführlich [20, 21]. Im Rahmen dieser Abhandlung soll das in Bild 5 dargestellte Schema reichen. Entscheidender Effekt ist dabei, dass mit dem Einsatz von z.B. 1 kWh elektrischer Energie für den Kompressor 4 kWh nutzbare Wärme gewonnen werden kann. Die Wärme wird dabei der Umwelt entzogen. Kennzeichnende Größen für die Effizienz sind die Leistungszahl bzw. die Jahresarbeitszahl, die das Verhältnis von eingesetzter elektrischer und nutzbarer Wärmeenergie beschreiben. Die Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl beschreibt Tabelle 6.

Tabelle 6 Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen

Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl	Wirkung
Niedrige Auslegungs-Vorlauftemperatur des Heizsystems	++
Niedrige Wärmequellentemperatur (z.B. falsche Dimensionierung)	--
Hoher Druckverlust im Fördersystem der Wärmequelle (z.B. zu klein dimensionierte Leitungen im Solekreislauf)	-
Wärmepumpe mit hohen Leistungszahlen	++
Trinkwassererwärmung ausschließlich über Elektroheizstab	--

- ++ starke Verbesserung
- + Verbesserung der Jahresarbeitszahl
- starke Verschlechterung
- Verschlechterung der Jahresarbeitszahl

Wärmepumpen werden nach der möglichen Wärmequelle unterschieden:

- Eine Luft-Wasser Wärmepumpe entzieht die Wärme der Außenluft und/oder der Abluft einer Lüftungsanlage und gibt diese an das Heizungswasser ab.
- Bei der Wasser-Wasser-Wärmepumpe dient z.B. das Grundwasser als Wärmequelle.
- Bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe kommen Erdkollektoren oder Erdsonden zum Einsatz.

Einen Überblick über die verschiedenen Systeme und die wichtigsten Kriterien zur Auswahl gibt Tabelle 7 (siehe auch Bild 37). In fast allen Fällen anwendbar ist die Luft-Wasser-Wärmepumpe und die Erdsonden-Wasser-Wärmepumpe. Eine detaillierte Planung ist in jedem Fall erforderlich.

Tabelle 7 Wärmepumpenanlagen und deren Wärmequellen (siehe Bilder 37, 38)

Wärmequelle	Außenluft direkt	Erdreich mit Flächenkollektor	Erdreich mit Erdsonden	Grundwasser
Erschließung, Wärmeträgermedium	Außenluft wird mittels eines Ventilators über den Verdampfer gesaugt und abgekühlt und damit Energie entzogen. Die kalte Luft wird wieder ins Freie abgeführt. Innen- und Außenanstellung möglich.	Soledurchflossene, horizontale Rohrschlangen oder Kapillarmatten werden in einer Tiefe von ca. 1,2 bis 1,5 m im Erdreich verlegt. Bei der gespeicherten Wärme handelt es sich um über Regen und Wärmeleitung eingelagerte Sonnenenergie.	Soledurchflossene vertikale Erdsonden als Rohr-im-Rohr oder Doppel-U-Rohr bis zu 100 m Tiefe.	Über Taupumpe wird Grundwasser aus dem Förderbrunnen entnommen, am Verdampfer abgekühlt, und in den Schluckbrunnen eingespeist.
Temperaturniveau und -verlauf	Mittelwert während der Heizperiode ca. 6 °C, minimale Außentemperatur ca. -15 °C (Zusatzheizstab).	Abhängig von Entzugsleistung. Soletemperatur wird je nach Auslegung bis Ende Februar auf -5 °C abgesenkt. Ab März wird wieder Wärme zugeführt.	Abhängig von Entzugsleistung. Je nach Auslegung 0 °C bis -5 °C im Februar. Mittlere Soletemperatur in der Heizperiode ca. 5 °C.	Ganzjährig ca. 7 bis 12 °C
Typ. Wärmeentzugsleistung	pro 1000 m³/h Außenluft ca. 3 bis 4 kW	pro m² Erdkollektor 10 bis 40 W (je nach Boden)	min. 20 W/m bis 80 W/m, Richtwert 50 W/m	pro 1 m³/h Grundwasser ca. 5 bis 6 kW
Typ. Jahresarbeitszahlen <sup>1</sup>	2,7 bis 3,3	3,0 bis 3,5	3,3 bis 3,8	3,7 bis 4,2
Besondere Hinweise	zweiter Wärmeerzeuger, i.a. Heizstab immer erforderlich, Betriebsgeräusche und Luftgeräusche berücksichtigen.	Verlegeabstand der Rohrleitungen > 50 cm, zur Entlüftung jeden Kreis mit Absperrung versehen, Auslegung durch Fachmann.	Spezial-Bohrfirma nötig Genehmigung erforderlich	Pumpversuche und Wasseranalyse bzw. Gutachten nötig Genehmigung erforderlich

<sup>1</sup> mit Fußbodenheizung und Warmwasservorwärmung

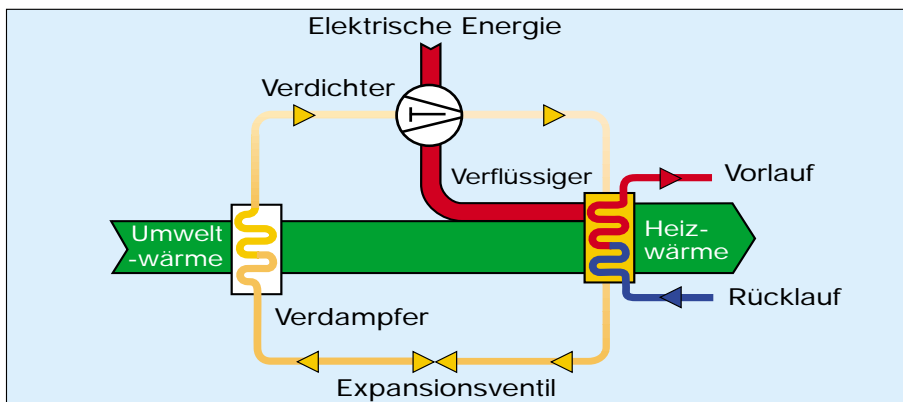


Bild 5 Grundprinzip einer Wärmepumpe: Der Umwelt wird auf niedrigem Temperaturniveau Wärme entzogen, welche mit Hilfe der elektrischen Antriebsenergie auf ein nutzbares Niveau angehoben wird. Je nach Wärmepumpenart und Anlagenauslegung können mit einer Antriebsenergie von 1 kWh bis zu 6 kWh Wärmeenergie zur Verfügung gestellt werden.

aufgrund des regenerativen Anteils der bereitgestellten Wärme von einigen Autoren ebenfalls den erneuerbaren Energien zugeordnet. Da die Mehrzahl der Wärmepumpen heute elektrischen Strom zu einem merklichen Anteil als Antriebsenergie verwenden, ist diese Zuordnung strittig und wurde nicht übernommen. Die Potentiale der Heizenergiebereitstellung durch regenerative Energien werden in der Literatur unterschiedlich eingeschätzt. Selbst konservative Quellen gehen aber mittelfristig von bis zu 50% realisierbaren Anteilen aus [24, 22].

Sonderlösungen wie Kleinstwärmepumpen in Verbindung mit Lüftungsanlagen oder zur Passivhausbeheizung werden in den entsprechenden Kapiteln 7.2.1 und 8 behandelt.

**4.2.2 Direkt elektrische Heizungen**

Heizsysteme, die unter Stromeinsatz direkt Wärme erzeugen, haben unter bestimmten Voraussetzungen immer noch ihre Berechtigung. In Kap. 7 wird die Passivhaustechnik als Beispiel beleuchtet. Andere Einsatzmöglichkeiten können sein:

- Die dezentrale Warmwasserbereitung, falls Zuleitungsverluste zu groß sind oder nur ein geringer Bedarf besteht.
- Lokale Stromnetze, die einen nächtlichen Überschuss erzeugen und damit z.B. die Nachtspeichertechnik ermöglichen.

- Der Einsatz von Strom aus regenerativen Energiequellen.
- Deckung des Restbedarfes z.B.: bei Holz- oder Solarheizanlagen.

Grundsätzlich stellt der elektrische Strom jedoch eine sehr hochwertige Energieform dar, die im Allgemeinen sinnvoller als zu Heizwecken zu verwenden ist. Aus ökologischen Gründen spricht der Primärenergiefaktor von 3 (s. Tabelle 5) gegen den Einsatz einer direkten Stromheizung.

**4.3 Heizen mit erneuerbaren Energien**

Unter erneuerbaren Energien wird im Rahmen dieser Abhandlung der Einsatz von Biomasse und direkter Solarenergienutzung verstanden. Wärmepumpen werden

**4.3.1 Heizen mit Biomasse**

Das Heizen mit Biomasse hat in den letzten Jahren auch im Einfamilienhaus an Bedeutung sprunghaft zugenommen. Die Gründe dafür sind im Wesentlichen:

- Einsatz eines heimischen, nachwachsenden und krisensicheren Brennstoffes.
- Klimaschonende, CO<sub>2</sub> neutrale Energieversorgung.
- Hoher Automatisierungsgrad und Komfort der Heizungsanlagen.

Im Prinzip handelt es sich ähnlich wie bei den fossilen Heizsystemen um einen Verbrennungsprozess, bei dem die erzeugte Wärmeenergie meist an ein wassergeführtes Heizsystem abgegeben wird. Entscheidend für die breite Nutzung der Biomasse ist die transportfähige, lagerfähige und für automatische Beschickung des Heizkessels geeignete Aufbereitung des Brennstoffes. Um diese Anforderungen zu

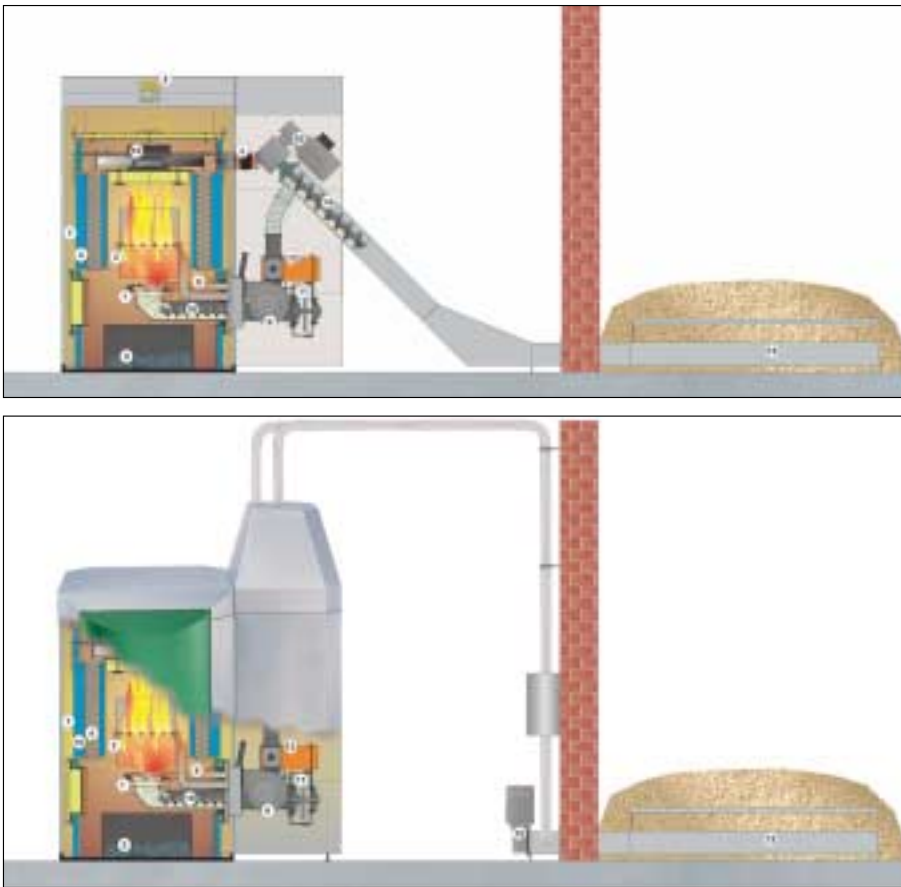


Bild 6 Aufbau einer Holzpelletheizung mit Schnecken (oben) oder Saugersystem (unten) zur Pelletförderung.

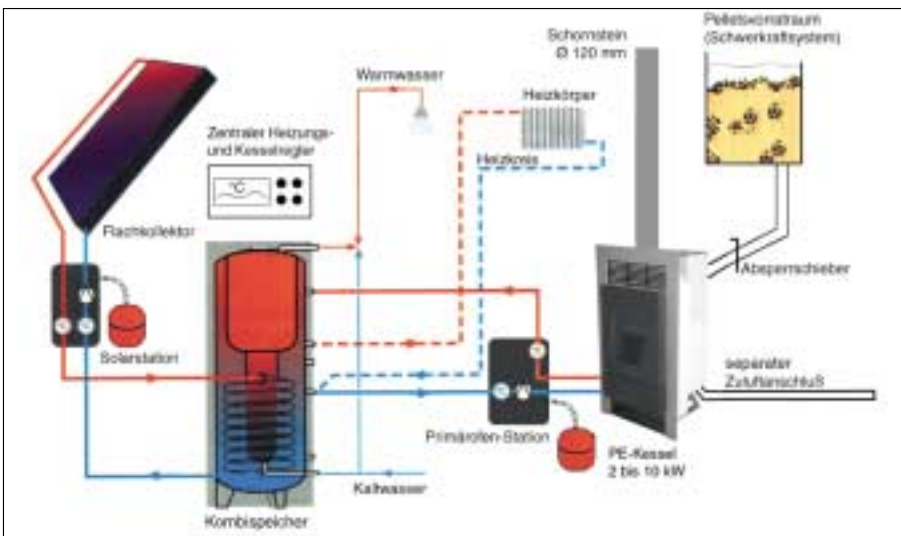


Bild 7 Beispiel für eine Heizung mit Holzpellet-Pelletprimärbofen. Die Warmwasserbereitung erfolgt über die Solaranlage und den Pelletkessel als Nachheizung. Der Pelletkessel wird im Wohnraum aufgestellt und gibt den Großteil der Heizenergie an den Pufferspeicher ab.

erfüllen wurden vor einiger Zeit die Holzpellets als Standard definiert. Holzpellets werden unter hohem Druck und Temperatur aus rohem Holz gepresst. Durch das im Holz enthaltene Lignin findet eine Verklebung statt.

Die Herstellung der Pellets ist in einer DIN bzw. ÖNorm festgeschrieben.

Pellets werden in Tankwagen geliefert und über entsprechende Schläuche direkt in die Tankräume oder Tanksilos eingeblasen. Aus dem Lagerraum werden die Pellets über Schnecken- oder Saugersysteme automatisch und bedarfsgerecht zum Brenner gefördert. Ein Prinzipschema zeigt Bild 6. Die Zündung erfolgt im abgebildeten Fall über eine Heißluftdüse (Bild 41). Die anfal-

lende Asche wird komprimiert, um die Entleerungszyklen zu verlängern.

Für Gebäude mit einem Wärmebedarf von unter 10 kW, bietet sich neben der in Bild 6 dargestellten „Kellerlösung“ die Variante des Primärbofens an (Bild 42). Diese wird im Wohnbereich installiert und verfügt über einen kleinen Pelletvorratsbehälter. Über die integrierten Wassertaschen werden bis zu 80 % der Wärme an das Heizungssystem abgeführt, 20 % gehen direkt in den Raum. Falls der Komfort einer sichtbaren Flamme sowieso gewünscht wird, ist dies eine kostengünstige und komfortable Lösung. Zu beachten ist, dass die direkt abgegebene Wärme bei kleinen Aufstellräumen zu Überwärme führen kann. Eine Fachplanung ist deshalb anzuraten.

Unabdingbar ist die Kombination mit einer Solaranlage, die im Sommer die Brauchwassererwärmung übernimmt. Als Not- oder Urlaubsheizung bietet sich ein Elektroheizstab im Pufferspeicher an. Ein mögliches Anlagenschema zeigt Bild 7.

Für größere Einheiten wird neben der Pellettechnik vermehrt die Hackguthheizung eingesetzt. Ähnlich wie bei der Pelletheizung erfolgt die Förderung aus dem Lagerraum automatisch. Der Raumaustrag erfolgt über ein Rührwerk in Verbindung mit einer Förderschnecke. Inzwischen sind auch Kesselgrößen für Einfamilienhäuser vorhanden. Die Lagerraumsituation muss jeweils geklärt werden.

Eine Heizmethode mit geringer Automatisierung ist die Stückholzheizung. Ähnlich wie bei der Pelletheizung stehen für das Einfamilienhaus zentrale wassergeführte Anlagen für den Heizungsraum und für die Integration im Wohnbereich innerhalb eines Kachelofens zur Verfügung. Da während des Abbrandes hohe Heizleistungen entstehen, sollte die Energie einem Pufferspeicher zugeführt werden. Für die richtige Auslegung ist eine Abstimmung des Pufferspeichers auf die Heizlast des Gebäudes und die Kesselgröße nötig. Eine Verbindung mit einer Solaranlage ist dringend zu empfehlen, um im Sommer und in der Übergangszeit die Warmwasserbereitung sicherzustellen. Als Not- oder Urlaubsheizung bietet sich ein Elektroheizstab im Pufferspeicher an. Die Anlagenschemen sind ähnlich wie in Bild 7.

### 4.3.2 Solartechnik

Solaranlagen zur Wärmeerzeugung sind inzwischen zu einer gängigen Technik vor

Tabelle 8 Auswahlkriterien für Heizungssysteme

Heizungssystem	Komfort/ Arbeits- anfall	Wartungs- aufwand	Invest.- kosten	Verbrauchs- kosten	Planungs- aufwand	Umwelt- verträglichkeit	Besonderheiten	empfohlene Wärme- verteilung
Niedertemperatur- kessel	sehr gut/ keiner	gering	gering	hoch	gering	-		alles
Brennwert Gas	sehr gut/ keiner	gering	gering	mittel bis hoch	gering	o		niedrige Rücklauf- temperaturen
Brennwert Öl	sehr gut/ keiner	gering	mittel	mittel bis hoch	gering	o		niedrige Rücklauf- temperaturen
Wärmepumpe Luft	sehr gut/ keiner	gering	hoch	gering <sup>1</sup>	mittel	o		Fußbodenheizung
Wärmepumpe Sole/Wasser	sehr gut/ keiner	gering	hoch	gering <sup>1</sup>	mittel	o	Genehmigung erforderlich	Fußbodenheizung
Holzpellet	sehr gut/ gering	gering	hoch öffentl. Fördermittel	mittel	mittel	+	Pufferspeicher empfohlen	alles
Holzpellet Primärofen	sehr gut/ mittel	mittel	hoch öffentl. Fördermittel	mittel	mittel	+	Pufferspeicher und Solar- anlage empfohlen, offener Gebäudegrundriss sinnvoll	alles
Hackgut	sehr gut/ mittel	mittel	hoch öffentl. Fördermittel	gering	mittel	+	Pufferspeicher empfohlen	alles
Stückholz	gut/hoch	mittel	mittel	gering	mittel	+	Abstimmung Kesselgröße Pufferspeicher	alles
Stückholz Raumbofen	gut/hoch	mittel	mittel <sup>2</sup>	gering	mittel	+	Abstimmung Kesselgröße Pufferspeicher, Überhitzungs- gefahr vermeiden	alles
BHKW Öl/Gas	sehr gut/ gering	mittel	hoch	mittel <sup>3</sup>	mittel	+	Pufferspeicher nötig, Stromerzeugung	alles
Brennstoffzelle <sup>4</sup>	sehr gut/ gering	?	hoch	mittel <sup>3</sup>	mittel	+	Stromerzeugung	alles

<sup>1</sup> je nach Stromtarif

<sup>2</sup> je nach Ausführung des Kachelofens

<sup>3</sup> in Verbindung mit Stromnutzung gering

<sup>4</sup> noch nicht in Serie verfügbar

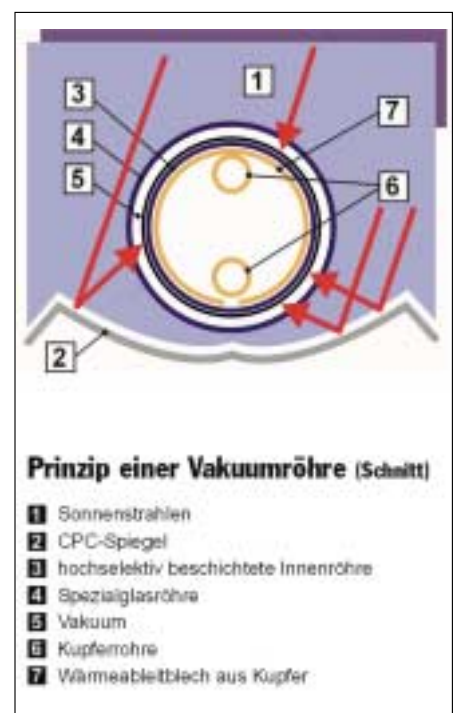


Bild 8 Vakuum-Röhrenkollektor mit Doppelglasröhre und CPC-Spiegel zur Nutzung des reflektierten Lichtes.



Bild 9 Flachkollektor in aufdach Montage



Bild 10 Ganzdachlösung mit Sonnenkollektoren, Solarstrommodulen und Dachflächenfenstern.

allein im Neubau geworden. Einfallendes Sonnenlicht wird durch einen hocheffizienten Absorber im Kollektor in Wärme umgewandelt. Diese Wärme wird über ein am Absorber befindliches Rohrsystem mittels einer Wärmeträgerflüssigkeit vom Kollektor abtransportiert und der jeweiligen Nutzung zugeführt.

Die beiden wesentlichen Anlagenkonzepte sind:

- Solare Warmwasserbereitung und
- Solare Warmwasserbereitung mit Heizungsunterstützung mit dem Ziel größere solare Deckungsanteile zu erzielen.

Die Potentiale der Technik werden wie bei der Biomasse unterschiedlich bewertet [23, 24]. Die Anzahl der jährlich neu installierten Anlagen nimmt kontinuierlich zu, die Techniken können als ausgereift angesehen werden [25].

Zwei Kollektortypen stehen zur Verfügung, der Vakuumröhrenkollektor (siehe Bild 8) und der Flachkollektor (siehe Bild 9). Der prinzipielle Aufbau sowie die Einsatzmöglichkeiten sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Bild 10 zeigt eine neuere Entwicklung für eine Ganzdachlösung, für die im selben

Tabelle 9 Einige Auswahlkriterien für die Kollektorart. Moderne Flachkollektoren besitzen gute Wirkungsgrade aufgrund selektiver Beschichtungen und zeichnen sich durch vielfältige Einsatzmöglichkeiten aus. Vakuum-Röhrenkollektoren spielen ihre Stärken vor allem bei niedrigen Außentemperaturen durch einen guten Wirkungsgrad aus.

Eigenschaft	Flachkollektor	Vakuumröhrenkollektor
Wirkungsgrad (über das ganze Jahr)	+	++
Preis-Leistungsverhältnis	++	o
Langlebigkeit, Robustheit	++	-
Dachintegration, Ganzdachlösungen	++	-
Eignung für Brauchwassererwärmung	++	+
Eignung für Heizungsunterstützung	+	++
Ökologische Bewertung, Energieamortisation	++	+
Einsatz in schneereichen Gegenden	+	-

Rahmenmaß Flachkollektoren, Solarstrommodule und Dachflächenfenster sowie zukünftig Luftkollektoren und transparente Wärmedämmung zur Verfügung stehen. Die einfachste Lösung ist die Solaranlage zur Brauchwassererwärmung wie in Bild 11 dargestellt. Der Warmwasserspeicher ist als bivalenter Speicher mit zwei Wärmetauschern ausgeführt. Die Solaranlage bedient den unteren, die Nachheizung den oberen Wärmetauscher. Anlagengrößen und mögliche solare Erträge zeigt Tabelle 10.

Eine erweiterte Nutzung der Solartechnik bieten die heizungsunterstützenden Anlagen. Ein aktuelles Anlagenkonzept zeigt Bild 12. Die zentrale Einheit stellt dabei ein Schichtenspeicher dar. Die Solaranlage und Heizkessel beladen den Speicher derart, dass eine gute Temperaturschichtung gewährleistet ist. Der Heizungsvorlauf wird aus dem oberen Speicherdrittel entnommen, der Rücklauf wird temperaturabhängig in der passenden Höhe eingespeist. Die Warmwasserbereitung erfolgt hygienisch durch einen Durchlaufplattenwärmetauscher, der von der heißesten Stelle des Speichers bedient wird. Damit wird bei großen möglichen Puffervolumina praktisch kein warmes Trinkwasser vorgehalten, sondern nur bei Bedarf erzeugt. Anlagengrößen und mögliche Erträge sind wiederum in Tabelle 10 zusammengefasst.

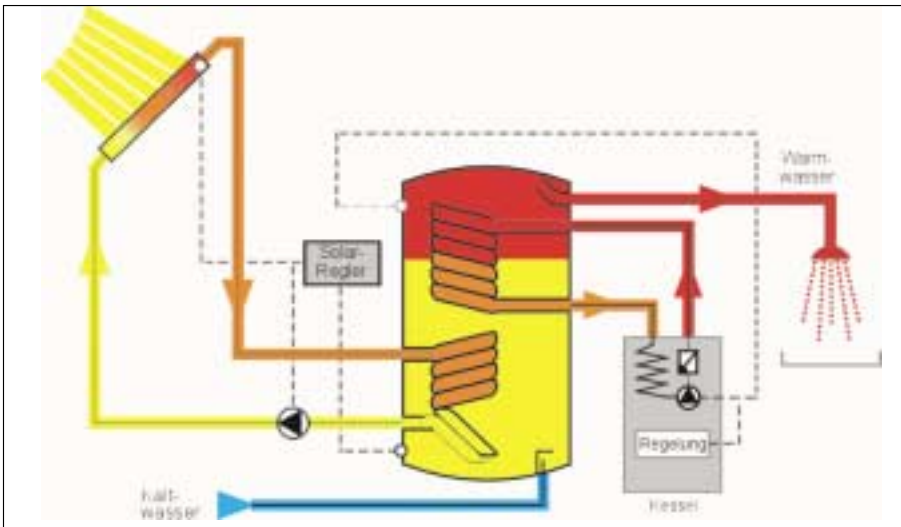


Bild 11 Solaranlage zur Brauchwassererwärmung: Der Solarwärmetauscher sitzt im unteren, kälteren Teil des Warmwasserspeichers. Ein konventioneller Heizkessel sorgt für die Nachheizung an sonnenarmen Tagen.

Tabelle 10 Auslegungsdaten für Solaranlagen für Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Die prozentualen Erträge beziehen sich auf das Musterhaus aus Kap. 3.2. Die Werte sind nicht nach dem pauschalen Ansatz der EnEV ermittelt, sondern mit einem Simulationsprogramm [33]. Die Kollektorausrichtung ist Süden +/- 45° bei Dachneigungen zwischen 25° und 35°.

Art der Solaranlage	Kollektorfläche (Flachkollektoren) in m <sup>2</sup>	Speichervolumen in l	Solaranteil Brauchwassererwärmung	Solaranteil Gesamt
Brauchwassererwärmung 3–4 Personen	4–5	300	55–60%	10–12%
Brauchwassererwärmung 5–6 Personen	6–8	400	55–65%	12–15%
Brauchwassererwärmung 3–4 Personen und Heizungsunterstützung	8–10	500	55–60%	ca. 20%
Brauchwassererwärmung 5–6 Personen und Heizungsunterstützung	12	700 <sup>1</sup>	60–65%	25–30%

<sup>1</sup> Schichtenspeicher mit Frischwasserstation

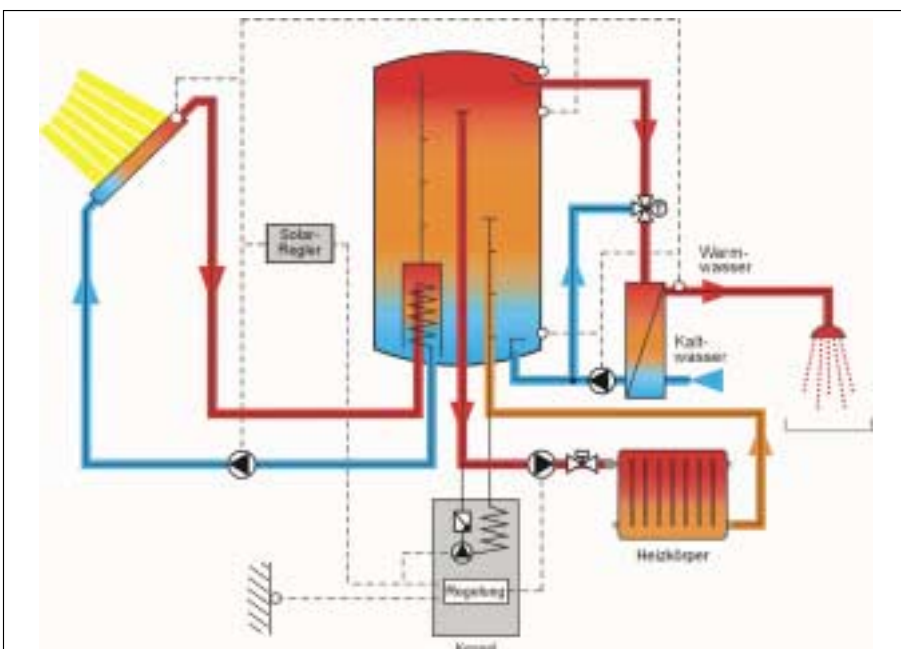


Bild 12 Heizungsunterstützende Solaranlage mit Schichtenspeicher und Frischwasserstation zur Warmwasserbereitung. Die Solarenergie und der Heizungsrücklauf werden je nach Temperatur in die richtige Speicherhöhe eingeschichtet, so dass keine Durchmischung stattfinden kann (siehe auch Bilder 40, 43).

## 5 Warmwasserbereitung

Der Warmwasserbereitung kommt unter hygienischen und ab dem EnEV Haus auch unter energetischen Gesichtspunkten eine immer größere Bedeutung zu. Liegt der Anteil des Energieverbrauches für die Trinkwassererwärmung in einem älteren Einfamilienhaus noch unter 10%, steigt dieser Anteil beim Passivhaus bis auf über 50%. Damit lohnt es sich auch bei Trinkwassererwärmung auf energiesparende Techniken zu achten. Folgende Aspekte sollten berücksichtigt werden:

- Wärmedämmung des Wasserspeichers,
- Notwendigkeit einer Zirkulationsleitung sollte geklärt werden,
- kurze Anbindung vom Speicher zu den Verbrauchern,
- gute Wärmedämmung mind. EnEV Vorgaben insbesondere bei vorhandener Zirkulationsleitung,
- Nutzung von Solarenergie.

Der klassische Warmwasserbereiter ist ein Warmwasserspeicher (Boiler) wie er als Variante für den Solarenergieeinsatz in Bild 11 dargestellt ist. Neuere Techniken insbesondere beim Einsatz von Solartechnik oder Wärmepumpen setzen auf eine sogenannte Frischwasserstation wie in Bild 12 dargestellt. Dabei wird bei Warmwasseranforderung einem Pufferspeicher, in diesem Fall ein Solar-Schichtenspeicher, an der wärmsten Stelle Heizungswasser entnommen und in einen Edelstahlplattenwärmetauscher geführt. Dieser gibt mit hohen Leistungen die Wärme an das kalte Trinkwasser ab. Der Vorteil dieser Technik besteht in der einwandfreien Hygiene, da kein warmes Wasser bereitgehalten wird wie in den Wasserspeichersystemen, sondern nur im Bedarfsfall erwärmt wird.

## 6 Raumheizsysteme

### 6.1 Systembeschreibungen

Bei den Raumheizsystemen wird im Folgenden gemäß dem vorherrschenden Wärmeübertragungsmechanismus zwischen konvektiven Systemen und Strahlungsheiz- bzw. Flächenheizsystemen unterschieden. Zur Darstellung der Temperaturprofile über die Raumhöhe bei verschiedenen Heizsystemen werden aktuelle Forschungsergebnisse verwendet. Die Anordnung der Heizflächen im Experimental-Haus sind in Bild 13 dargestellt.

## 6.2 Konvektive Systeme

### Funktionsprinzip

Bei konvektiven Heizsystemen wird an einer beheizten Fläche Luft erwärmt und mittels Bewegung der Luft im Raum verteilt. Die Bewegung der Luft kann auf Eigenkonvektion durch den thermischen Auftrieb beruhen, wie beim Heizkörper, oder auch mechanisch durch Ventilatoren unterstützt werden, wie bei den Bodenkanalheizkörpern oder der Luftheizung.

### 6.2.1 Heizkörper

Der klassische Flachheizkörper, wie er heute als Standard in großen Stückzahlen eingesetzt wird, hat im EnEV Haus nach wie vor seine Berechtigung. Der Flachheizkörper verfügt über einen bis zu drei Konvektoren, die aufgrund einer großen Oberfläche die Wärme gut an die Luft abgeben können. Verschiedenste Varianten bis zum Design-Heizkörper sind verfügbar. Die Regelung erfolgt meist über ein Thermostatventil, welches nach der gewünschten Raumtemperatur regelt. Elektronische Raumthermostate ermöglichen eine zeitabhängige Steuerung.

Manche Autoren bezeichnen den Heizkörper als das geeignete System für das Niedrigenergiehaus [26]. Die Vorteile des Heizkörpers liegen neben dem günstigen Preis in seiner Reaktionsschnelligkeit und der kostengünstigen Installation. Neuere Untersuchungen zeigen, dass im Holzbau die Behaglichkeitskriterien, wie z.B. die Temperaturschichtung über die Raumhöhe, vom Heizkörper gut erfüllt werden. Dies gilt unter bestimmten Voraussetzungen sogar bei beliebiger Anordnung des Heizkörpers im Raum. In Bild 14 ist das vertikale Temperaturprofil im Fall eines an einer Innenwand angebrachten Heizkörpers dargestellt [27]. Für das Experimentalhaus führte diese Art der Beheizung zu einem Temperaturgradienten von ca. 1,5 K pro m Raumhöhe, welcher deutlich unterhalb der Behaglichkeitsgrenzen aus Tabelle 2 von 2 K pro m liegt.

### 6.2.2 Sonstige Systeme

#### Sockelleistenheizung

Die Sockelleistenheizung besteht aus einem wasserdurchströmten Konvektor, der im Sockelbereich vor der Wand oder in die Installationsebene integriert installiert wird (siehe Bild 15). Eine Öffnung unterhalb und eine oberhalb der Konvektors

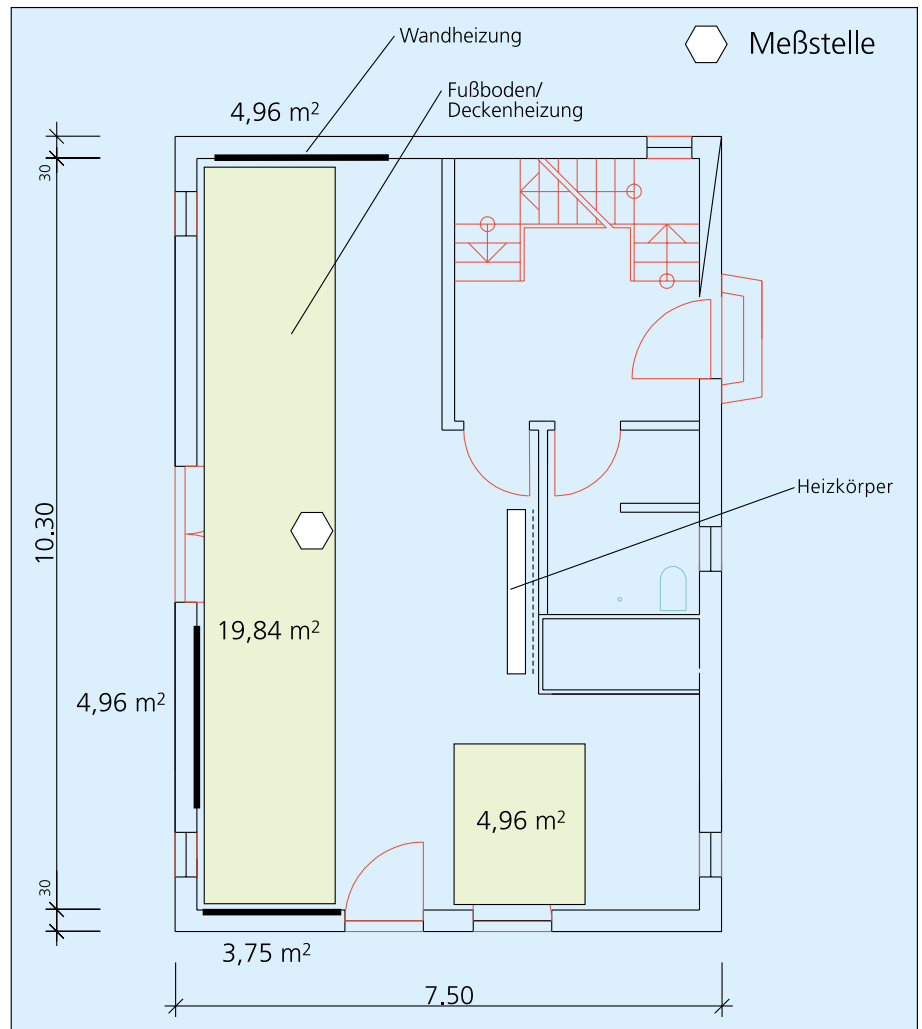


Bild 13 Grundriss des Experimentalhauses mit Anordnung der Heizflächen für die Messungen der Temperaturprofile. Da es sich nicht um Labormessungen handelt, werden die jeweiligen Außentemperaturen bei jeder Messung mit angegeben.

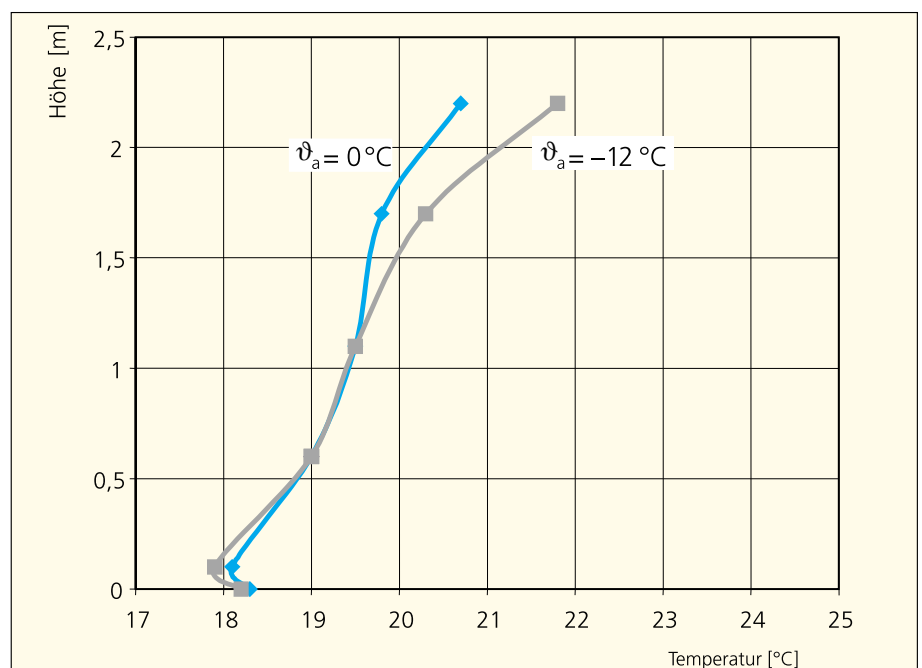


Bild 14 Temperaturprofil bei Heizkörperheizung nach [27]. Das Diagramm zeigt die Temperaturen an der Messstelle bei Außentemperaturen von 0 °C und -12 °C.

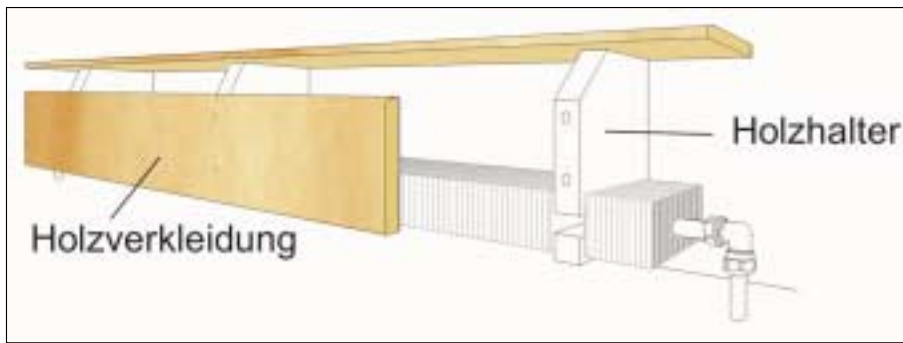


Bild 15 Sockelheizkörper in Vorwandinstallation mit Holzverkleidung.

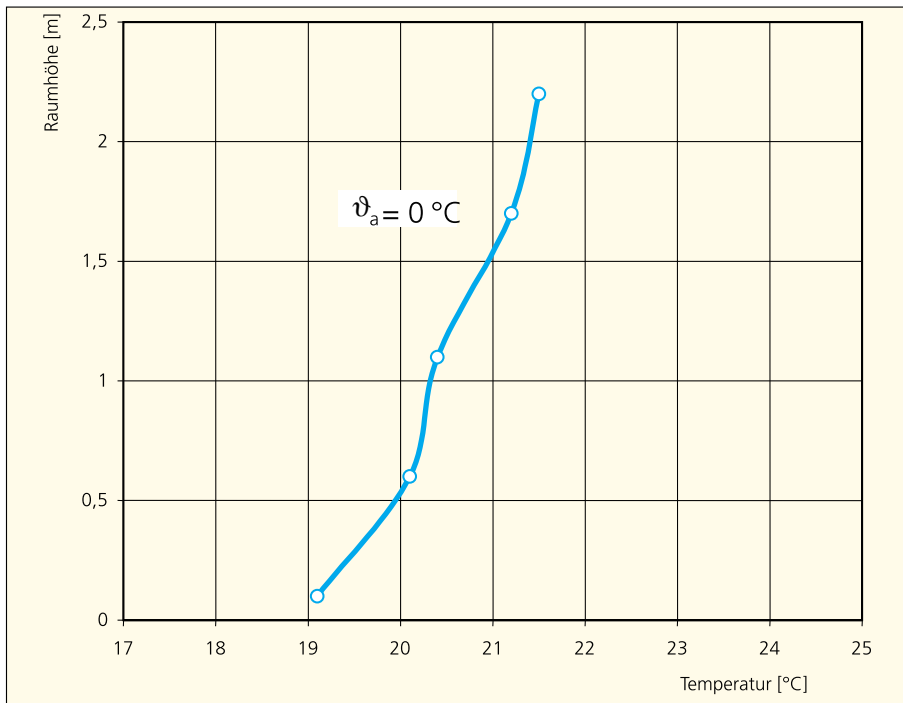


Bild 16 Temperaturprofil bei Luftheizung nach [27]. Das Gebläse befand sich vor dem Südfenster des Wohnraumes, Ausblasstelle über dem Fußboden. Randbedingungen der Messung: Außenlufttemperatur 0 °C, Temperatur der ausgeblasenen Luft 26 °C.

ermöglichen den Konvektionsstrom. Bei richtig bemessenen Vorlauftemperaturen legt sich die ausströmende Warmluft aufgrund des Coanda-Effekts an die darüber liegende Wand- oder Fensterfläche an und gibt einen Teil ihrer Wärme unmittelbar ab. Damit führt diese Heizungsart zu einem relativ hohen Strahlungsanteil ähnlich einer Wandheizung. Durch die Ausdehnung der Wärmeübertragung auf eine größere Länge entsteht ein sehr homogenes Heizverhalten, bei guter Reaktionsschnelligkeit und niedrigen Vorlauftemperaturen. Diese Systeme erzeugen bereits bei 45 °C Vorlauf akzeptable Wärmeleistungen von ca. 140 W/m. Bei vorhandener innerer Installationssebene kann der Konvektor in diese integriert werden, wobei von der Raumseite her nur noch die Luftein- und -auslassschlitze sichtbar sind. Nachteil ist der relativ

hohe Flächenbedarf und die Beeinträchtigung der möglichen Stellflächen. Bei sehr gut gedämmten Gebäuden mit Heizlasten von ca. 30 W/m reicht allerdings bei einer Raumfläche von 20 m<sup>2</sup> bereits eine Länge der Sockelheizkörper von ca. 4 m aus. Die Regelung kann über Thermostatventile oder über elektrische Raumthermostate mit entsprechenden Stellgliedern erfolgen.

**Bodenkanalheizkörper**

Beim Bodenkanalheizkörper wird der Konvektor in den Bodenaufbau versenkt. Diese Lösung bietet sich bei hohen Glasflächen z.B. in Wintergärten zur Kompensation des Kaltluftabfalls an. Als Alleinheizung ist dieses System nur bedingt geeignet. Bei größeren Heizleistungen ist eine Unterstützung der Konvektion durch Ventilatoren nötig, was für den Wohnbereich zu nicht

mehr akzeptablen Schallemissionen führen kann.

**Luftheizung**

Bei Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlage stellt sich grundsätzlich die Frage, ob das sowieso vorhandene Leitungsnetz nicht zur Wärmeverteilung genutzt werden kann. Grundsätzlich ist Luft aufgrund der geringen Wärmekapazität im Vergleich zu Wasser schlechter für den Wärmetransport geeignet. Die Folge sind sehr hohe nötige Volumenströme und damit entsprechend groß dimensionierte Kanalnetze. Eine Ausnahme bildet das Passivhaus, in welchem eine Frischluftheizung eine sinnvolle Lösung darstellt [siehe Kap. 8].

Beim EnEV Gebäude ist eine Beheizung allein über die zugeführte Außenluft nicht möglich, da neben anderen Gründen die hohen Luftwechselraten zu sehr niedrigen Luftfeuchten führen. Deshalb ist immer ein bestimmter Umluftanteil nötig, d.h. Luft wird aus den Innenräumen angesaugt, über ein Heizregister geleitet und wieder dem Raum zugeführt. Die Vorteile der Luftheizung liegen auch im EnEV Haus in der Reaktionsschnelligkeit und einer relativ zum Heizkörper geringen Temperaturschichtung über die Raumhöhe (siehe Bild 16). Moderne Systeme erlauben zudem eine raumweise Regelung.

**6.3 Flächenheizungen**

Bei Flächenheizsystemen erfolgt die Wärmeabgabe bei relativ niedrigen Übertemperaturen überwiegend durch Wärmestrahlung. Der Flächenbedarf ist naturgemäß wesentlich höher als bei Konvektionssystemen. Die Temperaturschichtung im Raum ist im Allgemeinen sehr homogen.

**6.3.1 Fußbodenheizung**

Den Aufbau eines Standard-Fußbodenheizungssystems zeigt Bild 17. Meist werden Sauerstoff undurchlässige Kunststoffrohre bzw. Metall-Kunststoff-Verbundrohre eingesetzt. Alternativ stehen Kupfersysteme zur Verfügung.

Die Fußbodenheizung ist gekennzeichnet durch die äußerst niedrigen Vorlauftemperaturen und ein sehr homogenes Raumklima mit den geringst möglichen Temperaturgradienten über die Raumhöhe wie Bild 18 dargestellt. Nachteilig ist die relativ



große Trägheit des Systems, da immer der Estrich mit aufgeheizt bzw. abgekühlt werden muss. In Verbindung mit großen Glasflächen besteht dabei auch die Gefahr der Überheizung des Raumes. Bei den im EnEV Haus möglichen niedrigen Heiztemperaturen zeigt sich allerdings bereits bei geringfügigen Übertemperaturen der Selbstregel-effekt, d.h. sobald die Lufttemperatur über der Oberflächentemperatur des Bodens liegt, findet keine Wärmeabgabe an den Raum mehr statt. Auf der anderen Seite steht der Estrich aber nur eingeschränkt zur Wärmepufferung der Sonnenenergie zu Verfügung. Aufgrund der niedrigen nötigen Heizleistungen wäre oft eine vollflächige Verlegung der Fußbodenheizung nicht nötig. Bei Teilverlegung wäre eine Kosteneinsparung realisierbar. Für einen Trockenaufbau, bei dem auch die teilflächige Verlegung einfach zu realisieren ist, bieten sich neuere Systeme an, wie z.B. in Bild 19 dargestellt. Ein Metall-Kunststoff-Verbundrohr ist flächenbündig in eine Gipsfaserplatte integriert. Durch eine spezielle Spachtelmasse wird eine glatte Oberfläche erzeugt, die direkt als Grundlage für den Bodenbelag dient. Das System ist deutlich reaktionsschneller als ein Estrichsystem und eignet sich auch zur Wärmeabführung im Sommer (siehe Kap. 11). Mit dem abgebildeten System lassen sich bei Heizmitteltemperaturen von 30 °C Heizleistungen von 53 W/m<sup>2</sup> bei 20 °C Raumtemperatur realisieren. Bei einem Gebäude besser als EnEV-Standard können Heizlasten von ca. 30 W/m<sup>2</sup> erreicht werden. Damit wäre eine Verlegung des Systems auf ca. 60 % der Bodenfläche bereits bei der angesetzten niedrigen maximalen Heizmitteltemperatur ausreichend. Akzeptiert man bei den Auslegungstemperaturen gem. DIN 4701 (z.B. -16 °C Außentemperatur) eine etwas höhere Heizmitteltemperatur, reicht auch im EnEV Haus eine Verlegung von etwa 50 % der Raumfläche aus.

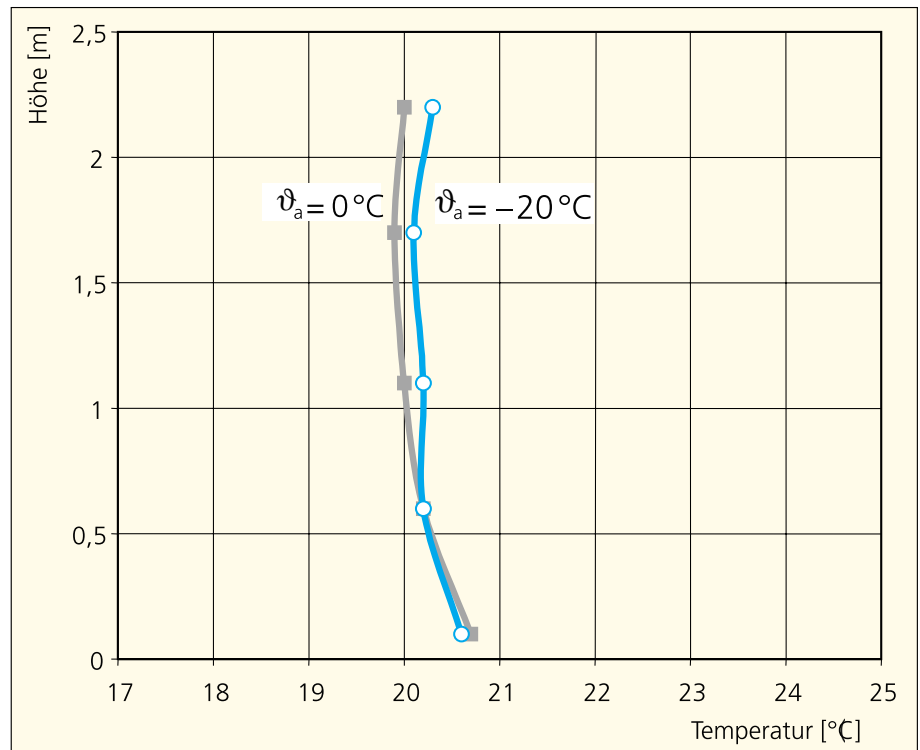


Bild 18 Temperaturprofil bei Fußbodenheizung nach [27]. Das Diagramm zeigt das Temperaturprofil über der Raumhöhe an der Messstelle bei Außentemperaturen von 0 °C und von -20 °C.



Bild 17 Fußbodenheizung mit Kunststoffrohren auf einer Biofaser-Trägerplatte für Estrichverlegung.

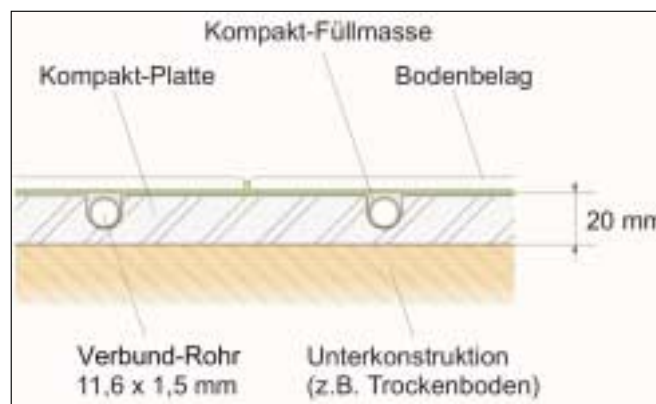


Bild 19 Fußbodenheizung für Trockenaufbau und nicht vollflächige Belegung. Bei diesem System werden die Heizungsrohre vor Ort verlegt und die Hohlräume mit einer speziellen Spachtelmasse verfüllt.

### 6.3.2 Wandheizung

Die Systeme, die bei der Wandheizung zum Einsatz kommen sind vom Prinzip mit denen der Fußbodenheizung vergleichbar. Man unterscheidet Nasssysteme und Trockensysteme, wobei sich letztere für den Holzbau anbieten.

Die Vorlauftemperaturen können höher gewählt werden als bei der Bodenheizung, da nach Tabelle 2 auch wärmere Wandflächen noch als angenehm empfunden werden. Dadurch sind wiederum kleinere beheizte Wandflächen möglich. Beim in Bild 20 dargestellten System lässt sich eine Heizleistung von ca. 150 W/m<sup>2</sup> bei einer Heizmitteltemperatur von 40 °C erreichen. Bei einem EnEV Haus mit ca. 50 W/m<sup>2</sup> Heizlast lässt sich ein Raum mit 20 m<sup>2</sup> Grundfläche mit einer Wandfläche von ca. 6,5 m<sup>2</sup> beheizen.

Die erreichbare Behaglichkeit ist bereits bei kleinen Wandflächen gut, wie der Temperaturverlauf in Bild 21 zeigt. Der Temperaturgradient liegt mit 1 K pro m zwischen dem der Fußbodenheizung und der des Heizkörpers.

Die Regelung der Wandflächenheizung erfolgt wie bei der Fußbodenheizung über einen elektrischen Raumthermostat oder über ein Thermostatventil.

### 6.3.3 Deckenheizung

Die Deckenheizung wird im Wohnbau äußerst selten eingesetzt. Der Holzbau bietet bei Vorfertigung von Deckenelementen die Möglichkeit, Heizflächen zu integrieren. So wäre beispielsweise eine Fußbodenheizung im Obergeschoss mit einer Deckenheizung im Erdgeschoss kombinierbar. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, liegt bei der Behaglichkeit das Problem in den geringen akzeptablen Übertemperaturen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass bei Holzhäusern mit EnEV-Standard oder besser die Behaglichkeitskriterien auch bei niedrigen Außentemperaturen einzuhalten sind. In Bild 22 ist das Temperaturprofil dargestellt. Der Temperaturgradient beträgt maximal 1,5 K pro m bei einer Deckentemperatur von 27 °C. Prinzipiell lassen sich vorgefertigte Wandflächenheizungen auch als Deckenheizung verwenden.



Bild 20 (links) Vorgefertigtes Wandheizungssystem mit Kunststoffrohr.

Bild 21 (Mitte) Temperaturprofil bei Wandheizung nach [27]. Das Diagramm zeigt die Temperaturschichtung an der Messstelle bei Außentemperaturen von 0 °C und von -10 °C.

Bild 22 (unten) Temperaturprofil bei Deckenheizung nach [27]. Das Diagramm zeigt die Temperaturschichtung an der Messstelle bei Außentemperaturen von 0 °C und von -16 °C.

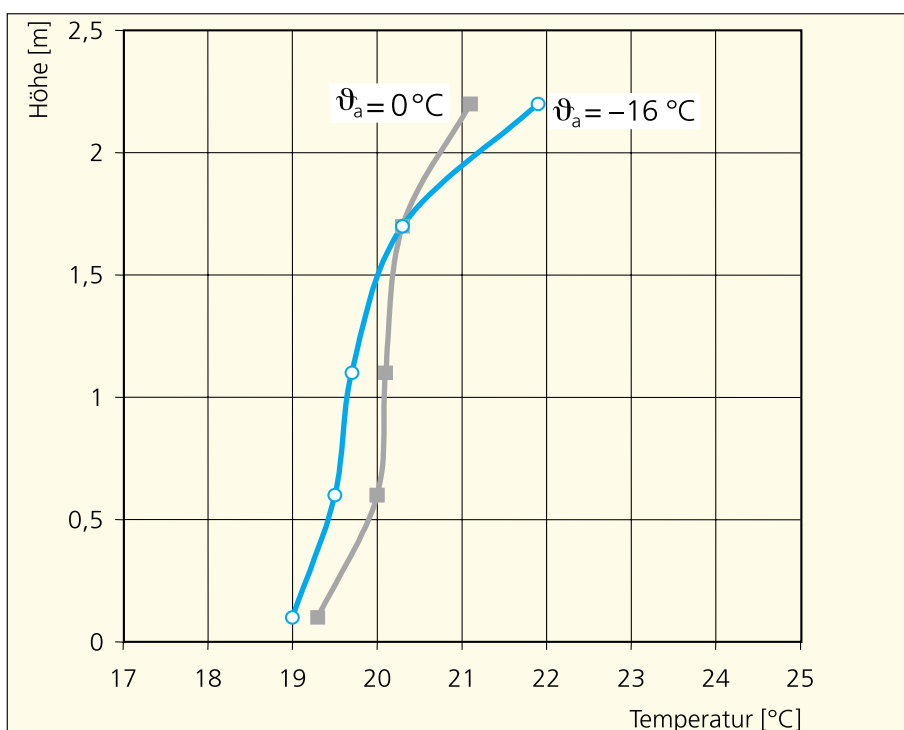
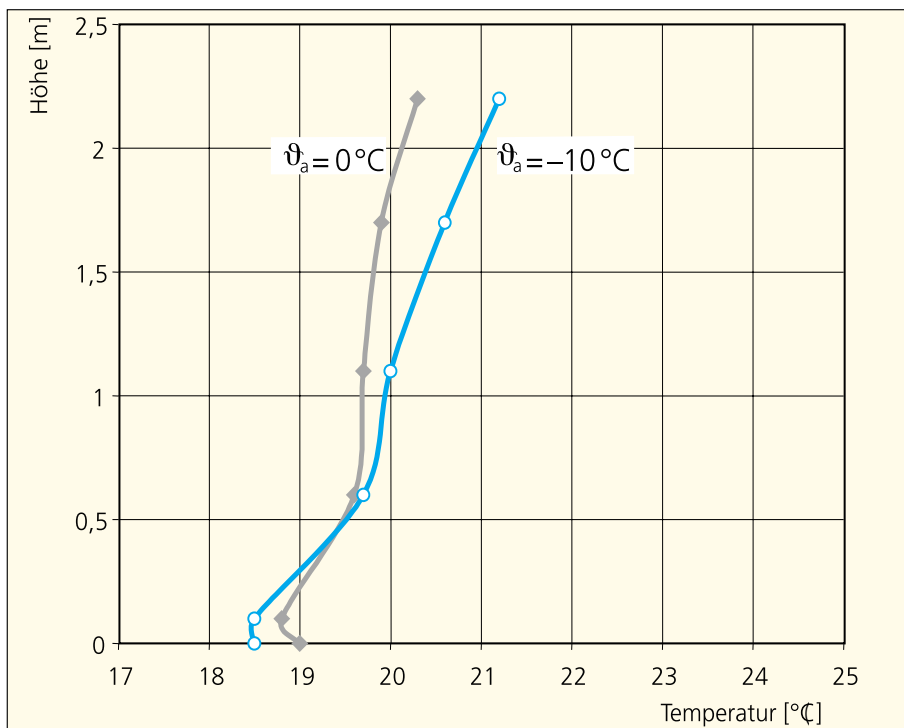


Tabelle 11 Entscheidungsmatrix Wärmeverteilung. Mit allen Systemen sind behagliche Raumklimata zu erzielen. Die Bewertungen beziehen sich auf relative Unterschiede zwischen den Systemen

Heizsystem	Maßgebliches Wärmeübertragungsprinzip	Mögl. Vorlauf-/Rücklauf-temperaturen	LB <sup>1</sup>	TG <sup>2</sup>	SA <sup>3</sup>	RS <sup>4</sup>	Investitionskosten in Bezug auf die Heizleistung
Flachheizkörper	Konvektion	55 °C/45 °C 70 °C/50 °C	- (+)*	o	o (+)*	++	gering
Röhrenheizkörper	Konvektion	70 °C/50 °C 90 °C/70 °C	- (o)*	-	- (o)*	+	mittel
Handtuchheizkörper	Konvektion/ Strahlung	55 °C/45 °C 70 °C/50 °C	-	-	-	+	hoch
Bodenkanalkonvektor	Konvektion	70 °C/50 °C 90 °C/70 °C	- (o)*	-	- (+)*	+	hoch
Sockelheizkörper	Konvektion/ Strahlung	45 °C/35 °C 55 °C/45 °C 70 °C/50 °C	o (+)*	+	+	+	gering
Luftheizung	Konvektion	55 °C/45 °C 70 °C/50 °C	- (o)*	o	+	+	hoch
Fußbodenheizung	Strahlung	35 °C/25 °C	++	++	+	--	mittel
Wandheizung	Strahlung	45 °C/35 °C	++	+	++	-	hoch
Deckenheizung	Strahlung	35 °C/25 °C	++	o	+	+	hoch

<sup>1</sup> Luftbewegung  
<sup>2</sup> Temperaturgradient über die Raumhöhe  
<sup>3</sup> Strahlungsasymmetrie  
<sup>4</sup> Reaktionsschnelligkeit  
 \* bei Anbringung unter einer verglasten Fläche

## 7 Lüftungstechnik

### 7.1 Grundlagen

Die unbedingte Notwendigkeit einer kontrollierten Wohnraumlüftung wurde in Kap. 2.2 bereits begründet. Die wesentlichen Punkte sind im Folgenden noch einmal zusammengefasst:

- Sicherstellung des hygienisch nötigen Luftwechsels auch bei geschlossenen Fenstern.
- Vermeidung von Außenklima abhängigen Zegerscheinungen.
- Energieeinsparung bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung.

### 7.2 Anlagenprinzipien

Als grundlegendes Anlagenprinzip hat sich die Querlüftung etabliert und in der Praxis bewährt. Diese ist gekennzeichnet durch:

- Absaugen der Luft aus Räumen mit hoher Belastung durch Schadstoffe und Feuchtigkeit, z.B. Bad, Küche, WC.

Tabelle 12 Zu- und Abluftvolumenströme nach DIN 1946-6

Zuluftvolumenstrom pro Person	30 m <sup>3</sup> /h
Abluftvolumenströme für	
Küche	60 m <sup>3</sup> /h
Bad, Hauswirtschaft u.ä.	40 m <sup>3</sup> /h
WC	20 m <sup>3</sup> /h

Tabelle 13 Auswahlkriterien für Lüftungsanlagen

Anlagentyp	Geeignete Energiestandards	Relative Kosten	Stromverbrauch	Wärmerückgewinnung	Behaglichkeit Frischluft	Filterung	Einsatz eines Erdreichwärmetauschers
Zentrale Abluftanlage	EnEV Haus	niedrig	gering	nicht möglich	u.U. Beeinträchtigung durch Kaltluft	möglich	nicht möglich
Zentrale Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	EnEV Haus, KfW 60 Haus	mittel	hoch	über Wärmepumpe	u.U. Beeinträchtigung durch Kaltluft	möglich	nicht möglich
Zentrale Zu- Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung <sup>1</sup>	EnEV Haus KfW 60 u. 40 Haus Passivhaus <sup>2</sup>	hoch	mittel	bis zu 90% über Luft-Luft-Wärmetauscher	sehr gut durch vorgewärmte Luft	möglich	möglich

<sup>1</sup> Gleichstromventilatoren und Wärmetauscher mit 90% Wärmerückgewinnung  
<sup>2</sup> beim Passivhaus sind besondere Anforderungen zu erfüllen

- Zuführen von Frischluft in Aufenthaltsräume (Wohnen, Schlafen, Kinder).

Grundsätzlich ist bei allen Lüftungssystemen auf folgende Qualitätskriterien zu achten:

- Projektierung der nötigen Luftvolumenströme, Schalldämpfer und Filtertypen (z.B. bei Allergikern).
- Kanalnetz mit ausreichenden Querschnitten, um Geräusche und hohen Stromverbrauch zu vermeiden.
- Verwendung von geeigneten Materialien für das Kanalnetz (z.B. Wickelfalzrohre aus verzinktem Stahl).
- Einsatz von stromsparenden Zentralgeräten (aktuelle Prüfergebnisse sind in [28] zu finden).
- Einmessen der Anlage nach den projektierten Werten.

Die wesentlichen Auslegungskriterien sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Die notwendigen Luftvolumenströme zeigt Tabelle 12.

### 7.2.1 Zentrale Abluftanlagen mit dezentraler Zuluft

Diese Anlage saugt verbrauchte Luft aus Küche, Bädern, WC's usw. über ein Kanalnetz ab und bläst sie nach draußen. Die Luft strömt über regelbare Ventile in der Außenfassade nach und wird über geeignete Überströmöffnungen an den Türen den Abluftbereichen zugeführt. Eine schematische Darstellung zeigt Bild 23.

Die Vorteile in dieser einfachen Anlagenkonzeption liegen:

- im geringen Installationsaufwand,
- den niedrigen Kosten,
- dem geringen Stromverbrauch des Abluftventilators,
- der leicht durchzuführenden Wartung und Kontrolle und
- der Vielzahl an möglichen Zuluftventilen für den Einbau im Fenster oder der Außenwand.

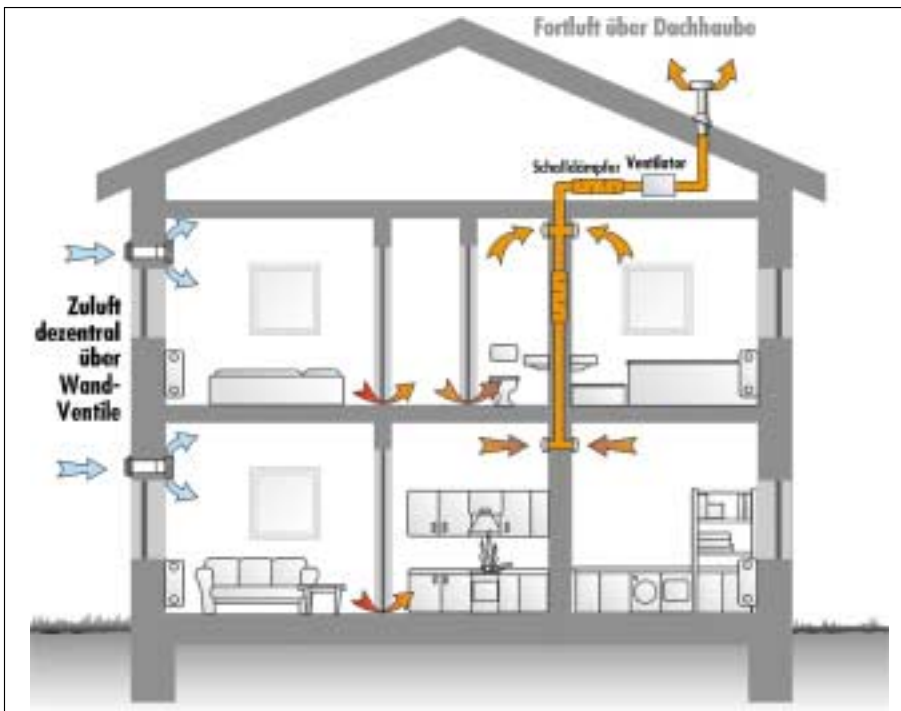


Bild 23 Schematische Darstellung einer zentralen Abluftanlage mit dezentralen Zuluftelementen (in diesem Fall in der Wand eingebaut). Die Fortluft kann über Dach oder auch über eine Wand ausgeblasen werden. Abluft wird aus den belasteten Räumen (Küche, WC, Bad) abgesaugt, die Frischluft strömt in die Aufenthaltsräume aufgrund des entstehenden Unterdrucks nach.

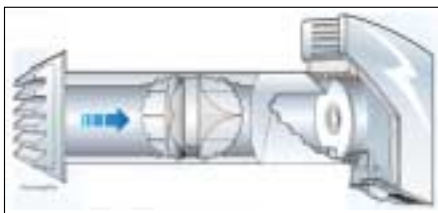


Bild 24 Nachströmventil zum Einbau in die Außenwand mit regelbarem Innenteil und Volumenstrombegrenzer.



Bild 25 Zuluftventil für den Fenstereinbau mit thermostatischer Regelung als Schemazeichnung und im eingebauten Zustand.

Für das Nachströmen der frischen Außenluft stehen zwei Systeme zur Verfügung:

- Ventile zum Einbau in die Außenwand (siehe Bild 24).
- Ventile zum Einbau ins Fenster oder den Rollladenkasten (siehe Bild 25).

Für beide Systeme stehen Filter, Volumenstrombegrenzer und Schalldämmeinheiten zur Verfügung. Die Ventile sind entweder manuell zu bedienen oder besitzen eine Selbstregelung z.B. über Feuchte- oder Temperatursteuerung. Insbesondere die Eignung von thermostatisch geregelten Fensterventilen wird in laufenden Projekten zurzeit intensiv untersucht [3].

Auf der Abluftseite ist der Ventilator die entscheidende Komponente. Gute Geräte besitzen geringste Schallemissionen und weisen einen Stromverbrauch von weniger als 15 W bei typischen Volumenströmen für ein Einfamilienhaus aus (Bild 39).

Als weitere Option besteht die Möglichkeit einer Wärmerückgewinnung durch Abluftwärmepumpen, welche der Abluft Energie entziehen und diese der Warmwasserbereitung oder Raumheizung zur Verfügung stellen.

### 7.2.2 Lüftungsanlagen mit zentraler Zu- und Abluft

Bei diesem Anlagenkonzept werden sowohl die Abluft wie auch die Frischluft über jeweils ein Kanalnetz transportiert. Das Prinzip der Querlüftung und der Aufteilung in Abluft- und Zuluftzonen bleibt erhalten, wie das Schema in Bild 26 zeigt. Die Vorteile dieses im Vergleich zum zuvor

diskutierten Anlagenkonzept aufwendigeren Konzeptes liegen:

- in der Möglichkeit der hocheffizienten Luft-Luft-Wärmerückgewinnung zur Energieeinsparung,
- in der Vorwärmung der zugeführten Frischluft,
- in der dadurch reduzierten Heizlast des Gebäudes und damit Einsparpotential im Heizungssystem,
- in der geringen Anzahl der nötigen Durchdringungen der Gebäudehülle (je eine für Fort- und Frischluft),
- in der zentralen und damit einfach zu kontrollierenden Filtertechnik,
- in der Möglichkeit des Einsatzes eines Erdreichwärmetauschers zur Vorwärmung der Außenluft.

An das Kanalnetz werden noch höhere Anforderungen als bei der Abluftanlage gestellt, da die frische Luft keinesfalls in ihrer Qualität beeinflusst werden darf. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass beim Einsatz moderner Anlagentechnik mit entsprechenden Filtern auch nach längerem Betrieb eine ausgezeichnete Frischluftqualität zu gewährleisten ist. Unbedingte Voraussetzung ist die regelmäßige Kontrolle des Filters.

Neben einem Kanalnetz mit niedrigen Druckverlusten ist die Qualität des Zentralgerätes von entscheidender Bedeutung.

Auf folgende Kriterien ist zu achten:

- stromsparende Ventilatoren,
- leicht zugängliche Filter, möglichst Filterwechselanzeige,
- keine Luftnebenwege im Gerät,
- Volumenstrom-, oder Massenstrom konstante Regelung,
- hoher Wärmerückgewinnungsgrad des Luft-Luft-Wärmetauschers.

Soll die Anlage auch im Sommer betrieben werden, ist ein Bypass sinnvoll, über welchen der Wärmetauscher bei hohen Innenraumtemperaturen umgangen werden kann.

### 7.2.3 Dezentrale Anlagen

Für spezielle Anwendungen sind dezentrale Lüftungssysteme erhältlich. Diese werden meist bei Nachrüstung z.B. für schallbelastete Räume als Einzelraumlüftung eingesetzt. Inzwischen sind Systeme mit Wärmerückgewinnung erhältlich. Für eine Wohnraumlüftung eines ganzen Hauses sind die Systeme nur bedingt konzipiert und einsetzbar.

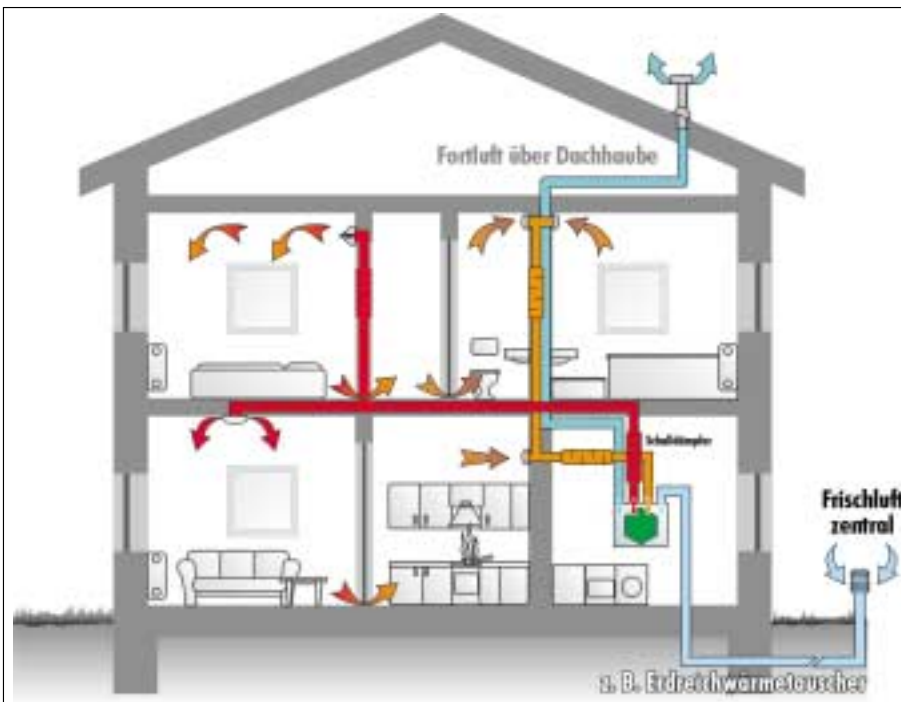


Bild 26: Schema einer Lüftungsanlage mit Luft-Luft Wärmerückgewinnung. Als Option kann ein Erdreichwärmetauscher zur Vorwärmung der Außenluft installiert werden. Abluft wird aus den belasteten Räumen (Küche, WC, Bad) abgesaugt, die vorgewärmte Frischluft wird über ein eigenes Kanalnetz in die Aufenthaltsräume geleitet.

Aufgrund der hohen Dämmwerte aller Außenbauteile, sind praktisch keine Einschränkungen mehr bezüglich der Anordnung von Heizflächen gegeben. Die Strahlungsasymmetrie ist auf ein Minimum reduziert.

Zu beachten ist allerdings, dass in den Bädern eine Zusatzheizquelle vorzusehen ist, um die im Bad gewünschten Temperaturen von ca. 24 °C sicherzustellen.

### 8.2 Technische Systemlösungen

Durch die besonderen Anforderungen im Passivhaus, sind in letzter Zeit spezielle Systeme für die Lüftung und Beheizung entwickelt worden. Ein bereits gut untersuchtes System stellt das Kompaktaggregat aus Bild 27 und 28 dar.

Das Gerät verfügt über einen Kreuz-Gegenstromwärmetauscher mit einer nachgeschalteten Wärmepumpe, die der Abluft Wärme entzieht und der Zuluft oder der Warmwasserbereitung zur Verfügung stellt. Die Warmwasserbereitung geschieht hauptsächlich durch eine Solaranlage und die Wärmepumpe. Im extremen Heizlastfall ist ein zusätzlicher Nachheizstab vorgesehen. Inzwischen bieten mehrere Hersteller derartige Systemlösungen mit an. Veröffentlichte Messergebnisse liegen derzeit für ein System vor [32]. Bei den untersuchten Objekten wurde im Mittel ein Stromverbrauch für die gesamte Haustechnik, d.h. Lüftung, Heizung und Warmwasserbereitung von 1075 kWh pro Jahr gemessen.

Eine zweite Systemlösung setzt auf den Einsatz regenerativer Energien. Das Grundprinzip basiert auf der Kombination eines Holzpellet-Primärofens (siehe Kap.4.3.1)

## 8 Passivhaustechnologie

Da ein Informationsdienst Holz zum Thema Passivhaus erschienen ist [29], soll an dieser Stelle nur das Wesentliche behandelt werden.

Das Passivhaus wurde deshalb als eigenes Kapitel aufgenommen, da hier spezielle Anforderungen gelten und damit Lösungen möglich sind, die sich im Niedrigenergiehaus noch nicht realisieren lassen.

### 8.1 Definition des Passivhauses

Das Passivhaus stellt die konsequente Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses dar. Ziel ist es dabei, die Wärmeverluste so zu reduzieren, dass deutliche Einsparungen in der Haustechnik möglich sind. Da die Reduzierung der Wärmeverluste nur durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung möglich ist, ergibt sich die Anforderung, dass die Restheizung mit Hilfe der Lüftungsanlage möglich sein sollte. Daraus ergibt sich die Anforderung nach einer maximalen Heizlast von 10 W/m<sup>2</sup>, da diese Heizleistung mit einer Frischluftheizung machbar ist [30, 31]. Umgerechnet auf den Jahresheizwärmebedarf ergibt sich die Obergrenze von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Letzteres zählt auch als Kriterium für die Förderung durch die KfW [6].

Grundsätzlich ist für jedes Passivhaus eine detaillierte Planung und Projektierung unbedingte Voraussetzung. Da die Heizleistung des Heizsystems auf die Anforderungen ideal angepasst wird, führt eine Überschreitung der projektierten Heizlast zu Problemen. Dies ist, wie bereits weiter oben erwähnt, im Niedrigenergiehaus anders, da die Heizquellen meist überdimensioniert sind.

Tabelle 13 fasst die wesentlichen Anforderungen an ein Passivhaus zusammen. Grundsätzlich sind natürlich auch andere Strategien möglich, um auf das Energieniveau des Passivhauses zu kommen.

Tabelle 14: Anforderungen an ein Passivhaus

Beschreibung	Wert
Jahresheizwärmebedarf	< 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Heizlast	< 10 W/m <sup>2</sup>
Gebäudedichtheit nach DIN EN 13829	n <sub>50</sub> < 0,6 h <sup>-1</sup>
Wärmebrücken, linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient außenmaßbezogen	ψ < 0,01 W/m
Außenwände, Dach etc.	U < 0,15 W/(m <sup>2</sup> K)
Verglasung	U <sub>G</sub> < 0,8 W/(m <sup>2</sup> K) nach BAZ g > 50% nach EN 410
Fenster, U-Wert nach DIN EN 10077	U <sub>F</sub> < 0,8 W/(m <sup>2</sup> K)
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	η <sub>WRG</sub> > 75% <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wärmerückgewinnungsgrad nach Passivhausinstitut, bei DIBt-Werten sind 12% abzuziehen

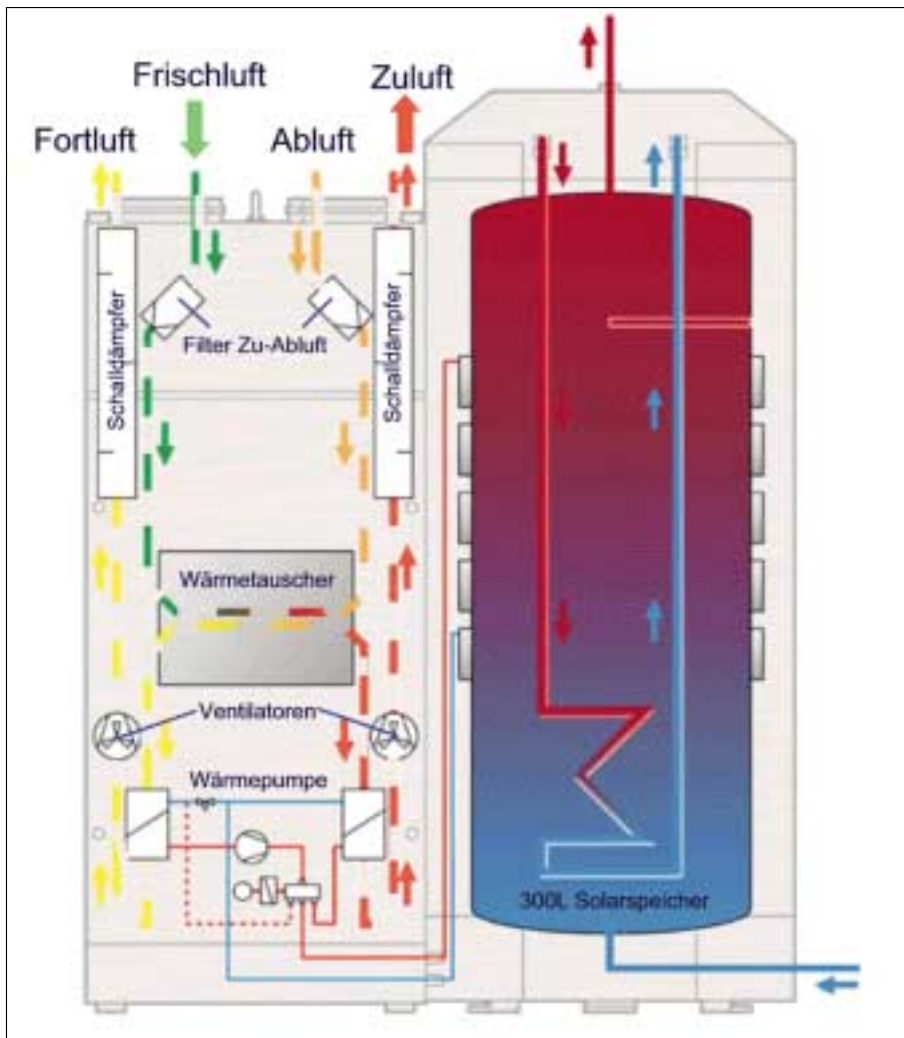


Bild 27 Kompaktaggregat zur Lüftung, Heizung und Warmwasserbereitung in einem Passivhaus.

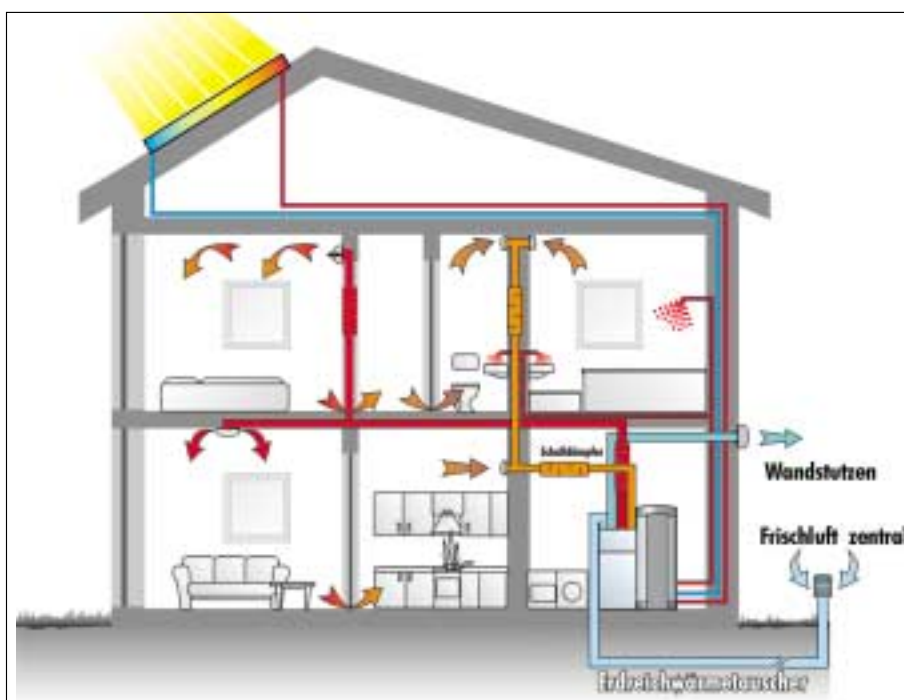


Bild 28 Systemlösung für ein Passivhaus mit dem Kompaktaggregat aus Bild 27. Die Wärmeverteilung in die einzelnen Räume erfolgt über die Lüftungsleitungen.

mit einer Solaranlage und einer Lüftungsanlage mit Nachheizregister.

Der zentrale Pufferspeicher wird von der Solaranlage und dem Pelletofen beladen und dient als Wärmequelle für die Warmwasserbereitung und das Nachheizregister der Lüftungsanlage. Der Pelletofen führt einen Teil der Wärme direkt an den Raum ab. Da es sich um ein wassergeführtes System handelt, sind auch Handtuchheizkörper bzw. Fußbodenheizungen in den Bädern mit diesem System leicht realisierbar. Simulationsrechnungen haben ergeben, dass bei Solaranlagen mit ca. 10 m<sup>2</sup> Kollektorfläche solare Deckungsgraden für Warmwasser und Heizung von ca. 60% erreichbar sind [33].

## 9 Sonnenschutz und Kühlung

Zur passiven Nutzung von Solarenergie und zur Innenraumausleuchtung werden immer häufiger große verglaste Flächen auf der Südseite eingesetzt. Die willkommenen solaren Gewinne im Winter können im Sommer zur Überwärmung der Räume führen. Selbst im Winter kann es zur Überwärmung der Räume kommen, da die nötigen Heizlasten durch die Sonneneinstrahlung oft überschritten werden.

Folgende Maßnahmen sollten deshalb bei der Gebäudeplanung berücksichtigt werden:

- Mindestanforderungen an Sonnenschutz gem. EnEV erfüllen.
- Ggf. baulicher Sonnenschutz durch Vordächer oder Balkone.
- Frühzeitige Berücksichtigung eines geeigneten meist außenliegenden Sonnenschutzes.

In einer umfassenden Untersuchung wurden die Eigenschaften verschiedener Sonnenschutzvorrichtungen geprüft [34]. Außenliegende und im Isolierglas integrierte Systeme sind einem innenliegenden System deutlich überlegen. Entscheidend für den Energieeintrag ist der g-Wert des Gesamtsystems Glas-Sonnenschutz. Dieser gibt an, welcher Anteil der einfallenden Sonnenenergie ins Rauminnere gelangt. Mit außenliegenden Sonnenschutzsystemen sind g-Werte von ca. 0,1 erreichbar.

Eine ergänzende Strategie zur sommerlichen Behaglichkeit stellt die Kühlung dar. Klimaanlage im Sinne einer Vollklimatisierung

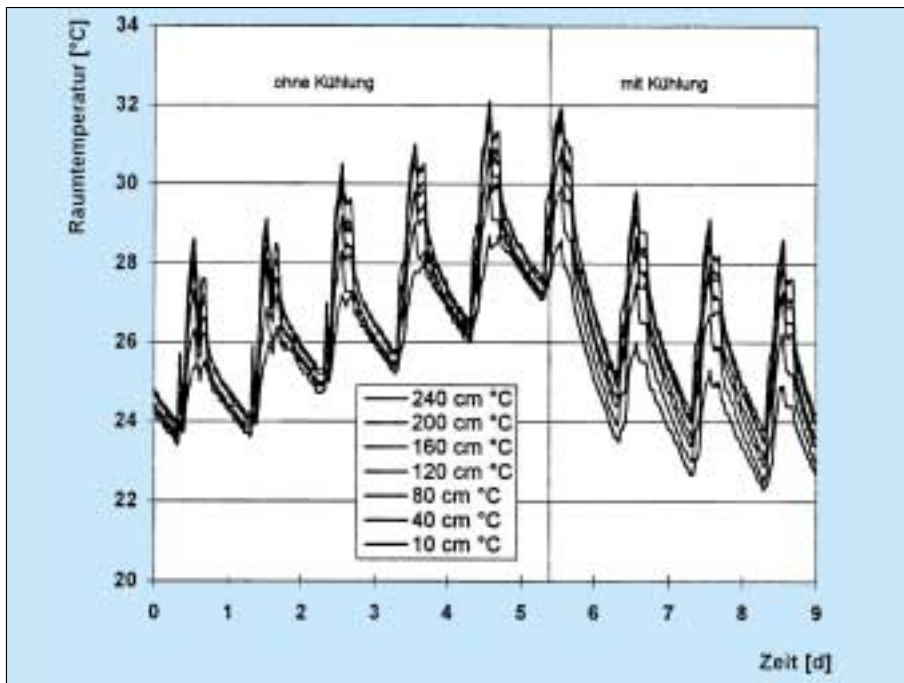


Bild 29 Zeitverlauf der Raumlufttemperaturen in verschiedenen Messhöhen während zweier hochsommerlicher Perioden ohne und mit Flächenkühlung.

## 10 Gebäudesteuerung

Im Verwaltungsbau hat sich heute längst eine neue Art der Elektroinstallation durchgesetzt, die sich auch für die Nutzung im Wohnbau anbietet. Die Rede ist von der Bus-Technik, die durch den Einsatz von elektronischen Chips bisher undenkbbare Vorteile und hohen Komfort ins Haus bringt.

Entgegen der starren konventionellen Verdrahtung von Schalter auf Lampe oder Raumtemperaturregler auf Heizkörper, lassen sich mit einem Bus-System alle elektrischen Geräte flexibel miteinander verknüpfen. Möglich machen das auf der einen Seite intelligente Sensoren, die aus einem Tasterdruck oder einer Temperaturänderung eine digitale Information, ein Telegramm, erstellen, das entweder über ein separates Bus-Leitungsnetz, das Stromnetz oder auch über Funk im ganzen Haus verteilt wird. Akteure können durch die glei-

ung sollen hier nicht behandelt werden und sind im Wohnbau auch nicht nötig. Es gibt neue, vielversprechende Ansätze bestehende Heizflächen, wie Boden-, Decken- oder Wandheizungen im Sommer zur Kühlung zu verwenden, ohne dass ein aktives Kühlaggregat eingesetzt wird.

Das Prinzip beruht darauf, dass überschüssige Energie aus den Wohnbereichen z.B. über eine Bodenheizung in die kühle Bodenplatte des Hauses (Sohlplattenkühler) abgeführt wird. Die erreichbaren Kühlleistungen reichen dabei aus, um die Häufigkeit von unbehaglichen Übertemperaturen im Sommer deutlich zu verringern. Ein Beispiel für einen Temperaturverlauf an mehreren hochsommerlichen Tagen zeigt Bild 29. Ohne Kühlung kommt es zu einem Aufschaukeln der Maximaltemperaturen auf über 32 °C. Nach Einschalten der Kühlung sind die Temperaturspitzen deutlich niedriger. Simulationsrechnungen für ein anderes Musterhaus führen im Prinzip zu denselben Ergebnissen [4].

Die Systeme werden derzeit in die Praxis umgesetzt. Eine fachmännische Projektierung ist unabdingbar.

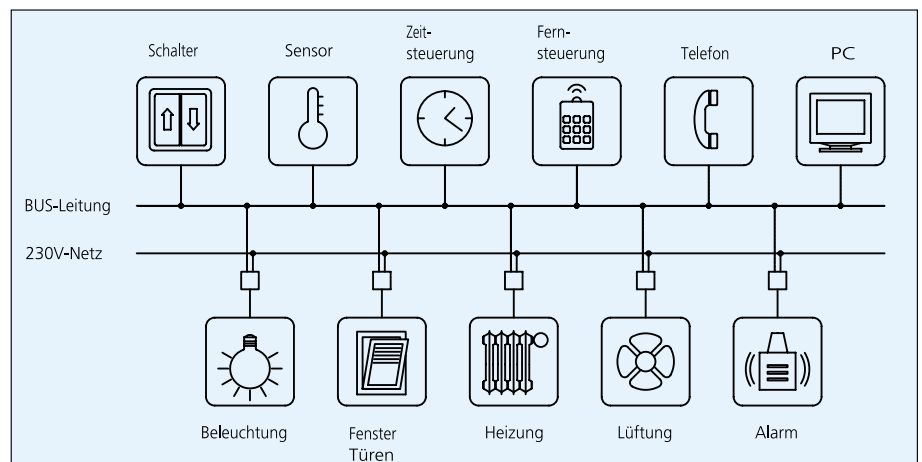


Bild 30 Prinzip der Bustechnik. Die eigentlichen Versorgungsleitungen und die Steuerleitungen sind getrennte Systeme. Dadurch lässt sich z.B. frei bestimmen welcher Schalter welche Funktion auslöst.

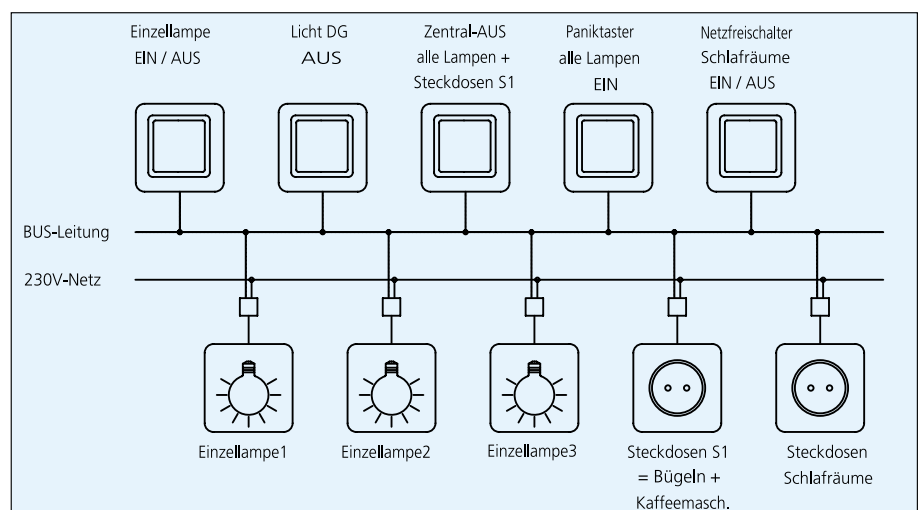


Bild 31 Basisausstattung eines Bussystems für ein Einfamilienhaus.

che intelligente Komponente die Informationen an jeder beliebigen Stelle des Bus-Netzes lesen, und schalten bzw. steuern die elektrischen Verbraucher wie z.B. Lampen oder Rollläden entsprechend ihrer Programmierung (siehe Bild 30). Jede einmal erfasste Information, wie z.B. die Raumtemperatur oder die Anwesenheit einer Person kann von jedem Gerät im ganzen Haus genutzt werden.

Zusätzliche Sensoren können auch nachträglich an beliebiger Stelle an die Busleitung angeschlossen werden, Stromleitungen heute für einen Rollladenmotor, morgen allein durch Umprogrammierung einer Komponente für eine Lampe genutzt werden.

Die Zahl der Hersteller von Heizungen, Lüftungen oder Hausgeräten (weiße Ware), die intelligente Schnittstellen für ihre Produkte anbieten, steigt kontinuierlich.

## 10.1 Funktionen

Der klassische Einstieg in die Bustechnik beginnt im Wohnhaus mit der Beleuchtungssteuerung. Neben komfortablen Funktionen wie die zentrale Bedienung aller Lampen beim Verlassen des Hauses können gleichzeitig Gefahrenquellen wie Kaffeemaschine, Bügeleisen oder Herd mit abgeschaltet werden (siehe Bild 31). Die Netzfreeschaltung für die Schlafräume wird über einen Taster am Bett gesteuert, der über die magnetfeldfreie 24 V-Busleitung versorgt wird.

Weitere Funktionen können das System z.T. ohne Mehrkosten in beliebiger Kombination ergänzen:

- Netzfreeschaltung in den Schlafräumen.
- Paniktaster zum gleichzeitigen Einschalten aller Lampen und Öffnen aller Rollläden.
- Bewegungsmelder schalten komfortabel das Licht in Fluren und können nachts zur Überwachung genutzt werden.
- Raumtemperaturregler steuern gleichzeitig Heizung, Kühlung sowie die automatische Verschattung. Das Raumklima kann so erheblich verbessert werden.
- Fensterkontakte sorgen für das automatische Abschalten der Heizkörper bei geöffnetem Fenster und dienen zur Außenhautsicherung im Alarmsystem.
- Individuelle Raumtemperaturprofile ermöglichen das automatische Absenken oder Anheben der Raumtemperatur. Auch ohne ständige Kontrollen wird das Minimum an Heizwärme verbraucht.

- Bei Einbindung des Heizkessels wird dieser automatisch in den energiesparenden Stand-by-Betrieb geschickt, sobald kein Raum Wärme anfordert.
- Reine Komfortfunktionen sind die Fernbedienung, das zentrale Display zur Visualisierung beliebiger Zustände im Haus oder die Internet-Anbindung. Hierzu zählt auch die Telefonschnittstelle, sofern diese nicht zur Weitergabe von Alarmmeldungen des Sicherheitssystems dient.

## 10.2 Bus-Geräte

Zum Erreichen eines guten Kosten-Nutzen-Verhältnisses müssen Geräte mit optimaler Ausnutzung der Elektronik, d.h. mit einer Kombination aus möglichst vielen sinnvollen Funktionen je Chip, eingesetzt werden. Dies sind auf der Sensorseite Busankoppler für den Anschluss von bis zu acht Tastern oder Reglern, die in den Wohnräumen in der Nähe von größeren Tastergruppen angeordnet werden.

Zum Schalten werden kompakte Reiheneinbaugeräte im Unterverteiler eingesetzt, die ebenfalls bis zu acht Lampen oder Steckdosen schalten, oder vier Rollläden steuern können. Der höhere Aufwand, alle Verbraucher bis zum Unterverteiler zu verdrahten, wird dabei durch die Einsparung auf der Geräteseite mehr als aufgehoben.

## 10.3 Die Verkabelung

Auf gleicher Rangstufe mit der Gerätetechnik steht die Verkabelung, die aus Kostengründen im Neubau mit einer separaten Busleitung ausgeführt wird. Die eingesetzte Verkabelung entscheidet über die Möglichkeiten einer Bus-Installation, da die Kabel meist nicht ohne erheblichen Aufwand nachrüstbar sind. Die Verkabelung sollte folgenden Ansprüchen genügen:

1. Alle aktuellen Geräte und Verbraucher müssen versorgt werden.
2. Erweiterungen um zusätzliche Funktionen (z.B. Heizungs-, Rollladensteuerung, Sicherheitssystem) müssen nachträglich ohne Brucharbeiten möglich sein.
3. Künftige Entwicklungen müssen integrierbar sein.

Erfüllt die Installation diese Ansprüche, so ist das Haus auch bei geringer Anfangsaus-

stattung als zukunftsorientiert zu beurteilen. Die Wertsteigerung übersteigt die zusätzlichen Kosten für eine "intelligente" Vorverdrahtung um ein Vielfaches.

Eine reine Bus-Vorverkabelung neben einer konventionellen Installation einzusetzen, wird zwar gelegentlich noch angeboten, führt aber bei richtiger Ausführung zu mindestens doppeltem Installationsaufwand, wobei beim späteren Umrüsten auf Bustechnik bis zu 50% der Kabel ungenutzt in den Wänden verbleiben.

Der Großteil aller Taster ist an den Innenwänden platziert. An besonders prädestinierten Stellen, von denen aus mehrere Taster auf relativ kurzem Weg zu erreichen sind, werden Busankoppler platziert, die in einer tiefen Hohlwanddose hinter einem Taster eingebaut werden. Jeder Taster wird zweiadrig am Busankoppler angeschlossen, der Busankoppler selbst auf kürzestem Wege mit der vieradrigen Busleitung verbunden. Die Busleitung wird üblicherweise ringförmig oder verzweigt durch alle Räume verlegt.

Die Sensorseite wird komplett mit 24 V Gleichstrom betrieben. Als Busleitung dient in den meisten Fällen ein Telefonkabel IYSTY 2 x 2 x 0,8 mm<sup>2</sup>, einige Hersteller fordern jedoch Sonderkabel.

Die Aktorseite wird aus Kostengründen meist mit zentral angeordneten Mehrfachschaltgeräten ausgeführt. Alle Verbraucher im Haus (Licht, Rollladenmotor etc.) müssen direkt auf die Schaltgeräte im Unterverteiler verdrahtet werden. Je nach Ausstattung empfiehlt sich der Einsatz von etagenweise angeordneten Unterverteilern. Für Fensterkontakte, Heizungsstellantriebe und Rollladenmotoren sind unbedingt Anschlüsse oder eine Vorverdrahtung vorzusehen, da diese nicht ohne umfassende Renovierungsarbeiten nachrüstbar sind.

## 10.4 BUS-Systeme

Im Folgenden soll am Beispiel der zurzeit gebräuchlichsten Systeme auf die Eigenschaften verschiedener Konzepte eingegangen werden. Da einige Systeme Marken bestimmter Hersteller darstellen, lässt sich eine konkrete Produktbenennung nicht umgehen.

Der deutsche Markt wird zurzeit von vier Systemen dominiert. **EIB** und **LON** sind „offene Systeme“, für die jeweils unterschiedlichste Hersteller Geräte bauen.



Standard-Protokolle sorgen dafür, dass die Geräte verschiedener Hersteller kompatibel sind.

**PHC** und **LCN** sind Systeme jeweils eines Herstellers. Die Geräte sind garantiert kompatibel, die Einbindung fremder Geräte ist oft nur schwer oder gar nicht möglich.

Die EIB-Produkte sind im Bezug auf Funktionalität, Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit sehr ausgereift. Nachteile sind die geringe Schnelligkeit, die hohen Geräte-Kosten sowie der hohe Programmieraufwand.

LON konnte in den letzten Jahren viele System-Nachteile beheben. Lonworks konnte sich als LON-Standard durchsetzen, eine neue Software erlaubt die einfache und schnelle Programmierung nach dem „Drag & Drop“-Prinzip. Die Kosten liegen zwischen denen des EIB und der Herstellersysteme PHC und LCN.

PHC bietet die volle Funktionalität, die im Privat- oder im mittleren Gewerbebereich erforderlich ist. Der Kostenvorteil zum EIB von bis zu 40% wird u.a. durch Zentralisierung der Intelligenz in einem Systemgerät erreicht. Höhere Anforderungen, wie das Energiemanagement oder die Einbindung fremder Komponenten sind nicht möglich. Auch LCN deckt die gebräuchlichen Funktionen ab und bietet Installationen bis in den mittleren Gewerbebereich. Für die Übertragung der Bus-Telegramme wird eine zusätzliche Ader im Stromnetz benutzt. Die Software ist DOS-basiert und kompliziert in der Anwendung.

Die Hersteller von haustechnischen Geräten (Heizung, Lüftung etc.) und weißer Ware (Spül-, Waschmaschine etc.) konzentrieren sich auf die offenen Systeme EIB und LON, wobei derzeit keine generelle Entscheidung zu Gunsten eines Systems absehbar ist.

### 10.5 Zielsetzung und Nutzen im Einfamilienhaus

Mit der ständig wachsenden Zahl hochwertiger haustechnischer Geräte und Systeme im Haus wächst auch die Anzahl unterschiedlicher Regelungen, die zwar oft schon auf eigenen Bus-Systemen basieren, jedoch geräteübergreifend nicht abgestimmt sind.

Erst durch die Vernetzung aller Komponenten können die Geräte Informationen aus-

tauschen und in Abstimmung miteinander den immer aufwendiger werdenden Betrieb eines einfachen Wohnhauses energiesparend sicherstellen.

Die konventionelle Elektroinstallation ist in ihren Möglichkeiten völlig ausgereizt und hemmt zurzeit eher einen nächsten Entwicklungsschritt, der für den Durchbruch neuer und anwendungsfreundlicherer Techniken notwendig ist. Der Entwicklungsschub, der durch den Einsatz der Bus-technik in der Kfz-Industrie ausgelöst wurde, mag hier ein interessanter Ausblick sein.

### 10.6 Einbindung in die logistischen Abläufe des Fertigungsprozesses

In der Automobilindustrie werden z.B. Fahrzeugtüren bereits mit Zentralverriegelung, Fensterheber und Spiegelstellmotor vorgefertigt und als steckerfertiges Modul ans Fahrzeug angeschlossen. Beim Hausbau kann theoretisch mit Fertighauswänden ähnlich verfahren werden, wobei in der Baupraxis deutlich mehr Störfaktoren (bauteilüberbrückende Kabel, Wettereinflüsse etc.) berücksichtigt werden müssen.

Ein erhebliches Einsparungspotential kann jedoch bereits heute seitens der Gerätehersteller oder Elektriker erschlossen werden. Durch Vorkonfektionierung und -verdrahtung können komplette Unterverteiler deutlich schneller und mit geringerer Fehlerhäufigkeit gefertigt und als Kompletteinheit am Bau montiert werden. Eindeutig beschriebene Verkabelungs- und Installationsschemen erlauben die Verwendung von werkseitig vorprogrammierten Geräten, so dass eine Gebäudeinstallation ohne zusätzliche Programmierung in Betrieb genommen werden kann. Standard-Konfigurationen, die im Leistungs- und Funktionsumfang auf gebräuchliche Grundrisse abgestimmt sind, erlauben zudem die Verwendung hinterlegter Programme.

## 11 Installationssysteme und Vorfertigung

Ein Holzhaus kann heute dank weit entwickelter Produktionstechnik in wenigen Stunden auf CNC-gesteuerten Fertigungsanlagen produziert und auch in wenigen Tagen auf der Baustelle montiert werden. Der Ausbau des Hauses erfordert jedoch noch immer einige Monate. Die Installation der Sanitär- und Heizungstechnik folgt noch immer tradierten Regeln aus dem Massivbau. Es zeichnet sich ab, dass künftig auch in einem Privathaus die Haustechnik einen höheren Stellenwert erhält. Immer mehr werden von Bauherren Lüftungsanlagen und automatische Einrichtungen für den Sonnenschutz oder für den Einbruchschutz gefordert. Mit dem wachsenden Umfang und den steigenden Anforderungen wird es immer problematischer, die Haustechnik unter den Unzulänglichkeiten auf der Baustelle nacheinander, Gewerk für Gewerk zu installieren. Gerade die oft unkoordinierte Abfolge der einzelnen Gewerke auf der Baustelle ist die Ursache für erhöhte Baukosten und häufig auch für gravierende Baumängel. Erst mit einer ganzheitlichen, gewerkeübergreifenden Planung und einer weitergehenden Vorfertigung unter Einbezug der Haustechnik können die spezifischen Vorteile eines Holzhauses zur Wirkung kommen. Dazu sind neue Lösungsansätze für die Integration der Haustechnik in die Gebäudebauteile zu entwickeln. Der Holzbau bietet für die Integration der Haustechnik in die Gebäudebauteile sehr gute Voraussetzungen. Zum einen besitzen Holzbauteile konstruktionsbedingt ausreichende Hohlräume zur Aufnahme von technischen Komponenten. Zum anderen erleichtert die weit fortgeschrittene, rechnergestützte Planung und Fertigung von Holzhäusern eine Integration von Technikmodulen in die Gebäudebauteile.

### 11.1 Der vorgefertigte Installationskern

Einen ersten Entwicklungsschritt in Richtung auf eine vorgefertigte Haustechnik bildet der zentrale Installationskern für Fertighäuser. Ein vorgefertigter Schacht nimmt die Rohrsysteme, Leitungen und Verteiler für die Versorgung und Entsorgung des Hauses auf: Heizung, Lüftung, Solartechnik, Wasser, Abwasser, Strom, usw. Der vorgefertigte Schacht mit allen Einbauten kann ähnlich wie ein Kamin in

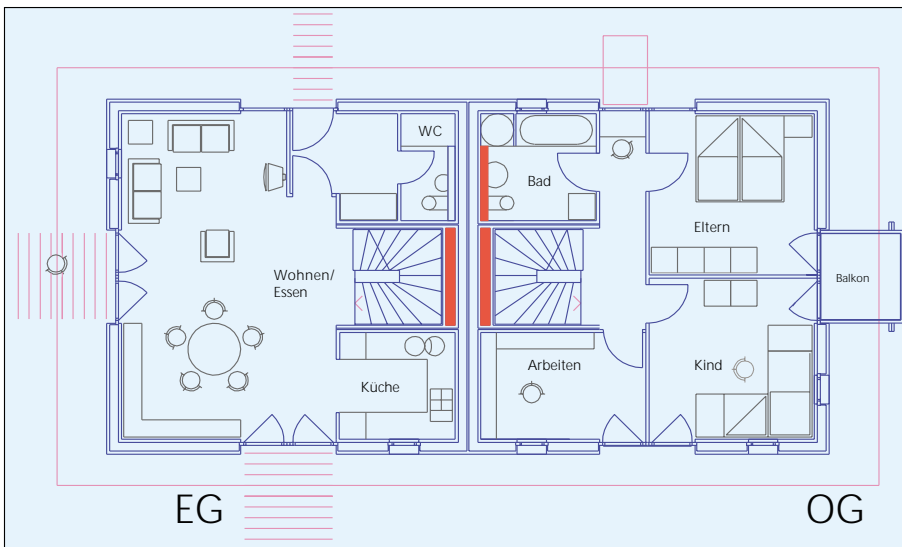


Bild 32 Beispiel für ein Doppelhaus mit vorgefertigten Installationskernen (rot).

einem Stück in den Baukörper eingesetzt werden. Über diesen zentralen Installationskern werden die Sanitärräume des Hauses in vertikaler Richtung erschlossen. Bei einem geeigneten Gebäudegrundriss lassen sich die Sanitärelemente, wie Waschbecken, WC's, Duschen und Badewannen ohne kostspielige Querverzüge unmittelbar an den Installationskern andocken. Bild 32 zeigt das am Beispiel eines Doppelhauses mit Installationskern. Die Bilder 33 und Bild 34 vermitteln einen Eindruck vom Aufbau eines vorgefertigten Kernes. Details über den Aufbau eines Installationskernes in einem Fertighaus können [35] entnommen werden. Über die Entwicklung und Praxiserprobung von vorgefertigten Installationskernen im mehrgeschossigen Holzbau wird in [36] berichtet.



Bild 33 Vorgefertigter Installationskern mit angedockten Sanitärelementen. Der Installationskern nimmt alle Leitungen für die Versorgung und Entsorgung des Hauses auf.



Bild 34 Blick in das Innere eines vorgefertigten Installationskernes in Holzbauweise. Rechts ist das Lüftungsrohr mit den beiden Abflutstützen zu erkennen. Das Abwasserrohr ist auf der linken Seite des Kernes eingebaut.

Installationskerne haben sich bislang nur vereinzelt im Fertighausbereich durchgesetzt. Einen breiten Durchbruch hat diese Technik noch nicht erreichen können, weil auch mit einem Installationskern nach wie vor der Hauptteil der Installationsarbeit auf der Baustelle auszuführen ist. Die Kostenvorteile einer Vorfertigung eines Installationskernes sind – verbunden mit höherem Planungsaufwand – derzeit noch nicht so groß, dass sich eine breite Anwendung lohnt. Erst mit der Entwicklung vorgefertigter, peripherer Module, die an den Installationskern andockt werden können, sind höhere Zeit- und Kostenvorteile zu erwarten, welche den Einsatz einer vorgefertigten Haustechnik zum Durchbruch verhelfen.

### 11.2 Vorgefertigte Haustechnikmodule

In einem weiteren Entwicklungsschritt in Richtung auf eine vorgefertigte Haustechnik ging es darum, soweit wie möglich auch Komponenten der Heizungs- und Lüftungstechnik sowie die Elektro- und Datenleitungen bereits im Werk in die Gebäudebauteile zu integrieren. Mit einer solchen Installationstechnik würden sich viele Arbeiten von der Baustelle in die Werkhalle verlagern lassen. Besonders vorteilhaft wäre es dabei, möglichst kompakte Module zu verwenden, in denen gleich mehrere Haustechnik-Funktionen zusammengefasst sind, z. B die Funktionen der Raumheizung, der Raumlüftung. In den Modulen könnten zusätzlich auch Anschluss- und Verteilerfunktionen für die Elektro- und die Kommunikationstechnik integriert sein. Bei Einsatz vorgefertigter

Haustechnikmodule würden sich die Installationsarbeiten auf der Baustelle auf die Ankopplung der Module an den Verteiler und auf die Inbetriebnahme beschränken. Die erforderlichen Querverteilungen von Energie- und Datennetzen könnten ebenfalls bereits im Werk in die Gebäudebauteile eingebaut werden. Die weitgehende Vorfertigung lohnt sich besonders für die sehr verzweigten Haustechniksysteme des

Hauses, wie Heizungs- und Lüftungsanlagen. Gelingt es, die beiden Gewerke in einem kompakten, vorgefertigten Bauteil zusammen zu fassen, dann sind im Fertighausbau deutliche Zeit- und Kosteneinsparungen zu erwarten. Das Konzept dieser Installationsvariante wird in Bild 35 verdeutlicht. Im zentralen Installationskern sind alle Leitungen mit allen notwendigen Armaturen für die vertikale Verteilung im

Haus gebündelt. Der Installationskern nimmt auch die Rohrleitungen der Abluftanlage auf. Im Boden- oder Deckenbereich findet die horizontale Verteilung statt. In Trassen sind dort die gebündelten Leitungen für die Versorgung der Technikmodule zusammengefasst. Das können Rohrleitungen für Heizung und Kühlung, Wasser sowie Strom- und Datenleitungen sein.

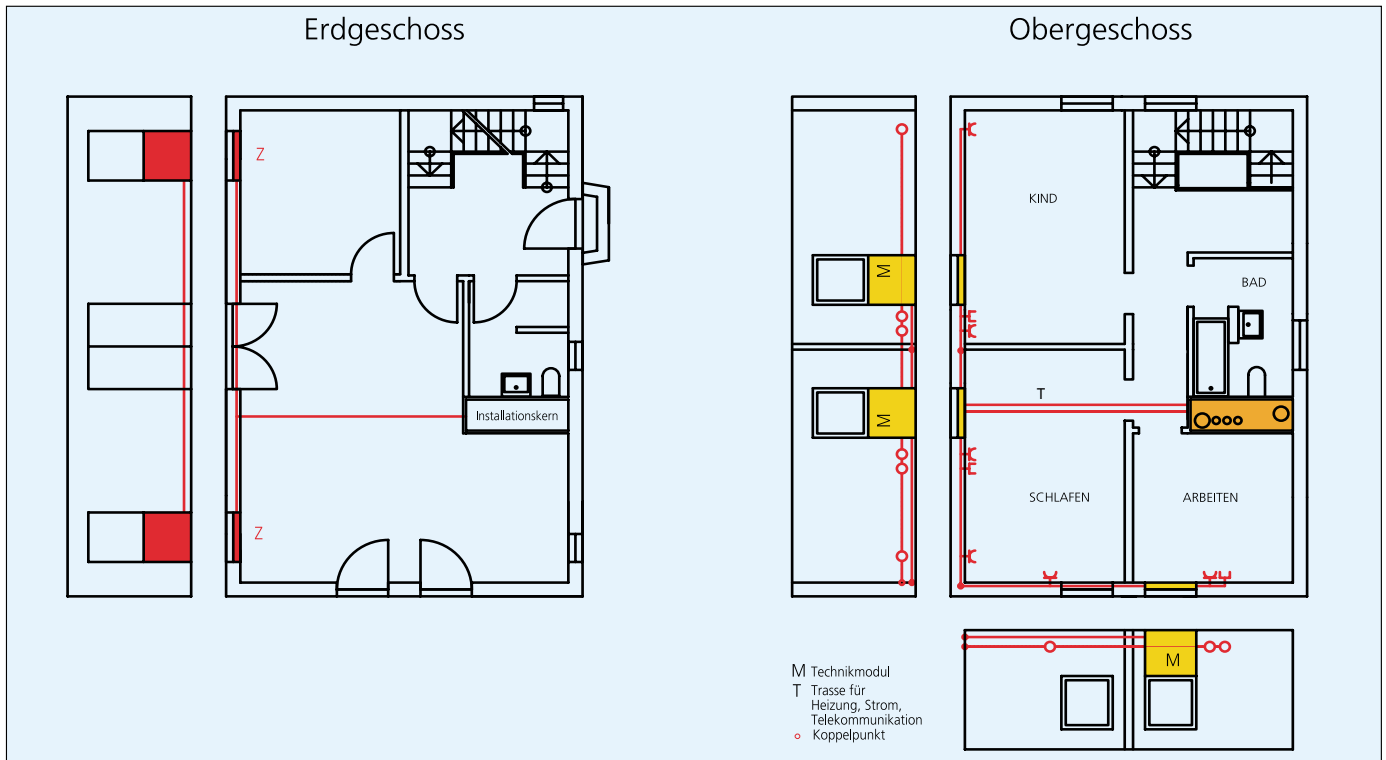


Bild 35 Beispiel für den Anschluss der Technikmodule an den zentralen Installationskern des Hauses. Über eine Trasse im Bodenaufbau braucht nur ein Modul je Geschoss versorgt werden. Alle anderen Module lassen sich über Koppelstellen anbinden.

Tabelle 15: Mögliche Systemzusammenstellungen für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung.

System	1. Wärme-erzeuger	2. Wärmeerzeuger	Raumheizsystem	Warmwasser-bereitung	Lüftung	Elektrik/Steuerung	ep-Zahl <sup>1</sup>
<b>Standard</b>	Gas-Brennwert	–	Heizkörper, ausgelegt auf 55 °C	300 l Warmwasserspeicher	Abluftanlage	Standardinstallation, Busvorbereitung	1,42
<b>Solar</b>	z.B. Gas-Brennwert	Solaranlage für Brauchwasser und Heizung, 10–12 m <sup>2</sup> Flachkollektor ca. 600–800 l Solar-Schichtenspeicher	Fußbodenheizung Wandheizung	Frischwassersystem	Abluftanlage mit Abluftwärmepumpe	Standardinstallation, Busvorbereitung	1,13
<b>Elektro</b>	Wärmepumpe (Erdkollektor)	Solaranlage für Brauchwasser 5 m <sup>2</sup> Flachkollektor	Fußbodenheizung, ausgelegt auf 35 °C	Frischwassersystem	Lüftung mit Luft-Luft Wärmerückgewinnung	Standardinstallation, Busvorbereitung	0,75
<b>Regenerativ</b>	Holzpelletkessel	Solaranlage für Brauchwasser und Heizung, 10–12 m <sup>2</sup> Flachkollektor ca. 600–800 l Solar-Schichtenspeicher	Fußbodenheizung Wandheizung	Frischwassersystem	Abluftanlage	Standardinstallation, Busvorbereitung	0,43 <sup>2</sup>
<b>Komfort</b>	Wärmepumpe	Solaranlage für Brauchwasser, 5 m <sup>2</sup> Flachkollektor	Fußbodenheizung, ausgelegt auf 35 °C	Frischwassersystem	Lüftung mit Luft-Luft Wärmerückgewinnung	Bussystem in Grundversion	0,75

<sup>1</sup> Die ep-Zahl (Anlagenaufwandszahl nach DIN 4701-10) dient als Anhaltspunkt für die Energieeffizienz des Systems. Je niedriger die Zahl, desto besser das System. Grundlage ist das Beispielhaus aus Kap. 2. Die Heizzentrale ist jeweils außerhalb der thermischen Hülle. Trinkwasserbereitung zentral mit Zirkulation.

<sup>2</sup> Zu beachten ist dabei, dass für Holzheizsysteme noch keine verbindlichen Vorgaben in der DIN 4701 enthalten sind. Verwendet wurde deshalb ein vorgeschlagener Wert, der im DIN Ausschuss diskutiert wird.

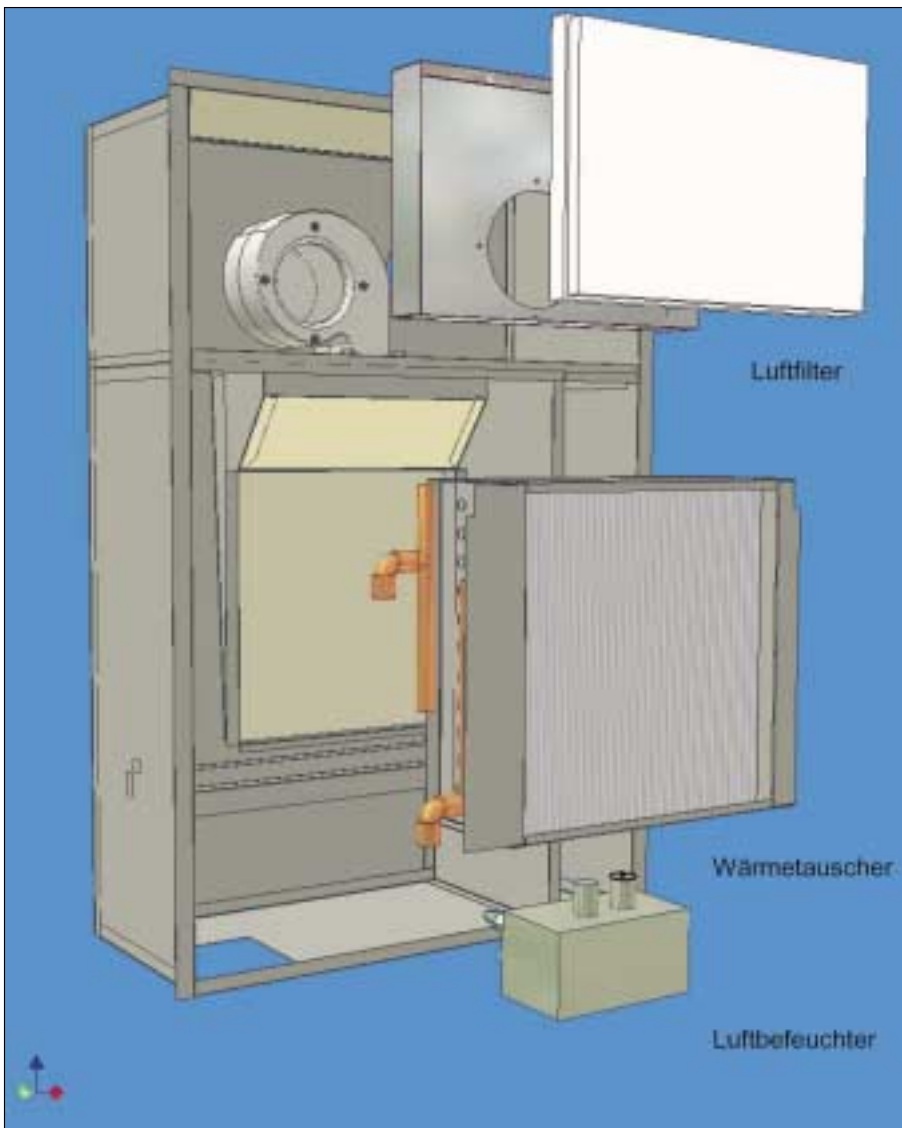


Bild 36 Konstruktionsaufbau eines Technikmoduls in einer Explosionszeichnung. Das vorgefertigte Element im Rastermaß 625 mm lässt sich bereits in der Werkhalle in eine Fensterbrüstung oder in das Gefach einer Außenwand einbauen.

Wie ein solches, vorgefertigtes Technikmodul aufgebaut ist, wird aus Bild 36 ersichtlich. Das Technikmodul bündelt die Haustechnik eines Raumes in einem einzigen, vorgefertigten Bauteil. Das sind die Funktionen Raumlüftung mit Luftfilterung, Luftbefeuchtung, Raumheizung und Raumkühlung. Zusätzlich nimmt das Modul die erforderlichen Komponenten der Mess-, Steuer- und Regeltechnik auf. Bei weitergehender Vorfertigung im Fertighausbau lässt sich das Modul auch als Unterverteiler im Strom-, Daten- und Multimedia-Netz des Hauses nutzen.

## 12 Systemlösungen und Zukunftsoptionen

Ungeachtet der zum Zeitpunkt des Neubaus eingesetzten Haustechnik sollten folgende Vorbereitungen getroffen werden, um eine spätere Nachrüstung zu ermöglichen:

- Vorbereitung von Lüftungskanälen für eine zentrale Abluftanlage.
- Solarleitung von der Heizzentrale zum Dach (auf geeignete Rohrdimensionen und Wärmedämmung achten).
- Leerrohre mindestens zu den Fenstern für Umrüstung auf Bustechnik, besser Etagenverteiler.
- Idealerweise zentraler Installationskern.

Zur ersten Orientierung bei der Auswahl geeigneter Systeme wird in Tabelle 15 versucht mögliche sinnvolle Anlagenvarianten zusammenzufassen. Die Bezeichnung der Systemlösungen wurde von den Autoren subjektiv festgelegt. Die Kurzbeschreibung soll aber den wesentlichen Aspekt bei der Wahl für das eine oder andere System widerspiegeln. Unterschieden wird zwischen dem:

- Standardsystem,
- Solaroptimierten System,
- System ohne Brenner, Kessel,
- Regenerativen System und
- Komfortsystem.

Die zuvor genannten Vorbereitungen sollten bei allen Systemen realisiert werden.

Als relatives Maß für die Energieeffizienz und den Primärenergieverbrauch wurden die Anlagenaufwandszahlen (ep-Zahlen) für die verschiedenen Systeme in Bezug auf das Beispielhaus aus Kap. 3.2 ermittelt. Holzpellettheizungen sind z.Zt. der Drucklegung noch nicht normativ erfasst, weshalb der dem Normenausschuss vorgeschlagene Primärenergiefaktor verwendet wurde. Der Einsatz eines Bussystems kann durch intelligente Heizungssteuerung ebenfalls zur Energieeinsparung führen. Diese kann im Rahmen der Methodik der EnEV jedoch nicht ermittelt werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Schwarz, B. und Brunn, M.: Entwicklung neuer Konzepte für den Fertighausbau. Konstruktionszentrum Holz der FH Rosenheim, Forschungsbericht im Auftrag der EGH, E-1996/06 (1999)
- [2] z.B. Systeme  
– hexatherm A-Ybbs: Hexawall  
– variotherm A-Leobersdorf: Modul-Wandheizung  
– RCS A-Ybbs: Climawall
- [3] Kirmayr, Th. und Krause, H.: „Entwicklung im Fenster integrierter Zuluftelemente für zentrale Abluftanlagen im Holzhausbau“, Zwischenbericht im Auftrag der DGfH, E-2001/14 (2002)
- [4] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH: Wasserdurchströmte Bauteile zur Kühlung von Holzhäusern – Entwicklung konstruktiver Lösungen und Quantifizierung ihrer Wirkung, Forschungsbericht im Auftrag der DGfH, F-1999/13 (2002)
- [5] EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und eine energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (2001)
- [6] CO<sub>2</sub> Minderungsprogramm, Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), [www.kfw.de](http://www.kfw.de)
- [7] Köhnke, E.U., quadriga 2 (2000) S. 34–40
- [8] DIN EN 13829 (02-2001): Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Beuth Verlag Berlin (2001)
- [9] DIN 1946-6 (09-1994): Raumluftechnik – Lüftung von Wohnungen, Beuth Verlag Berlin (1994)
- [10] von Pettenkofer, M.: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Literarisch-artistische Anstalt der J.G. Cotta'schen Buchhandlung 1858
- [11] Schwarz, B.: Neue Entwicklungen zur kontrollierten Raumlüftung über Fensterelemente, Vortrag Fensterbau (2002)
- [12] DIN 1946-2 (01-1994): Raumluftechnik – Gesundheitliche Anforderungen, Beuth Verlag Berlin 1994
- [13] DIN 4701-1 (03-1983): Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Beuth Verlag Berlin (1983)
- [14] Hauser G. und Maas A.: DGFH Intensiv Seminar für Baufachleute: Holzbau und Energieeinsparverordnung, Kassel (2001)
- [15] Produktinformationen Fa. Buderus, Loganova GWP
- [16] senertec Schweinfurt: Dachs HKA ATS Gera: ecopower Miniblockheizkraftwerk
- [17] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Gesetz), April 2002
- [18] Ledjeff-Hey, K. et al.: Brennstoffzellen, Entwicklung, Technologie, Anwendung, C.F. Müller Verlag, ISBN 3788076291, 2. Aufl. (2000)
- [19] Leisten, R., Mathiak, J., Roes, J.: Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellenanlagen, BWK Bd. 53 (2002), 3, S. 48–52
- [20] Kuhn, M., Bouse, S.: Energie sparen durch Wärmepumpenheizanlagen, Informationszentrum Energie, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg. 3. Auflage (2001)
- [21] Kruse, H. u. Heidelck, R.: Heizen mit Wärmepumpen. BINE Informationsdienst, ISBN 3-8249-0118-8, (1999)
- [22] Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien, BWK Bd. 53 (2001) 4, S. 69–78
- [23] Scheer: Solare Weltwirtschaft, Kunstmann Verlag, ISBN 3-88897-228-0 (1999)
- [24] Shell Deutschland Holding GmbH, Weltenergieverbrauch bis 2060, [www.shell.de](http://www.shell.de) (2002)
- [25] Stiftung Warentest: Solaranlagen, Heft 4 2002
- [26] Feist, W.: Das Niedrigenergiehaus, C.F. Müller Verlag (1998)
- [27] Schwarz, B. und Thode, Th.: „Anforderungskatalog an intelligente Heizsysteme für Gebäude aus Holz“, Forschungsbericht im Auftrag der EGH, E-1996/19
- [28] Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte e.V.: Liste für Wohnungslüftungsgeräte mit und ohne Wärmerückgewinnung, jeweils aktuelle Ausgabe, [www.tzwl.de](http://www.tzwl.de)
- [29] Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen, holzbau handbuch, Reihe 2, Teil 1, Folge 4 (2002)
- [30] Bisanz, C.: Heizlastauslegung im Niedrigenergie- und Passivhaus. Fachinformation PHI-1999/2
- [31] Feist, W.; Baffia, E.; Schnieders, J.; Pfluger, R.; Kah, O.: Passivhaus Projektierungs-Paket 2002, Passivhausinstitut Darmstadt, 2002
- [32] Bühring, A., Russ, Ch.: Lüftungs-Kompaktgeräte: Messergebnisse, Erfahrungen, Hersteller. Tagungsband 5. Passivhaustagung, erneuerbare energien Kommunikations- und Informationsservice mbH, (2001)
- [33] Krause, H.: Simulationsrechnungen mit dem Programm T\*Sol, ca. 150 m<sup>2</sup> beheizte Fläche, Heizlast < 10 W/m<sup>2</sup>
- [34] Sack, N., Krause, H.: Sommerlicher Wärmeschutz mit modernen Fenstern, Abschlussbericht, i.f.t. Rosenheim (1999)
- [35] Schwarz, B., Pütz, M. und Porschitz, H. R.: Entwicklung neuer Konzepte der technischen Gebäudeausrüstung für den Holzbau. Forschungsbericht im Auftrag der EGH, E-1996/06 (1999)
- [36] Schwarz, B. et al.: Entwicklung von Installationswänden und –Systemen im mehrgeschossigen Holzbau. Forschungsbericht im Auftrag der EGH, E-1997/12 (1999)

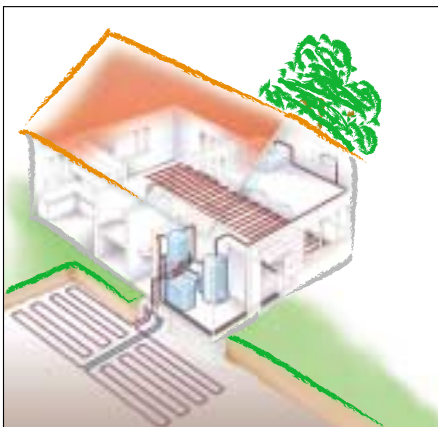
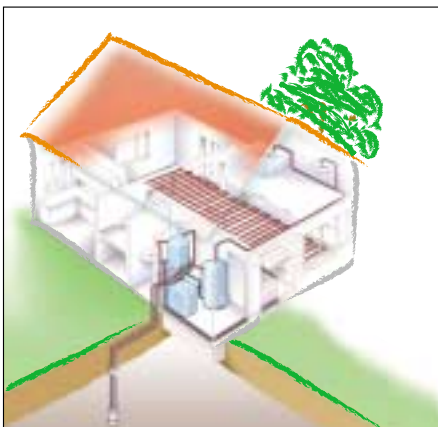
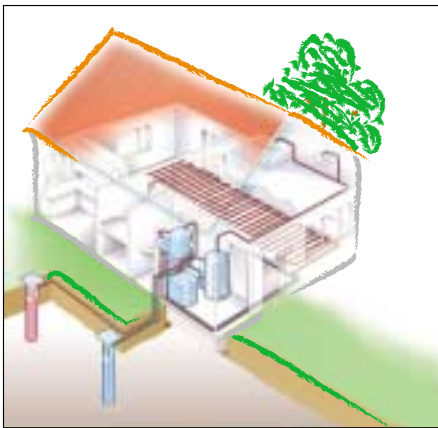


Bild 37 Wärmepumpe mit verschiedenen Wärmequellen: Grundwasser (oben); Erdsonde (mitte); Erdkollektor (unten)

**Bildnachweis:**

- Bild 6, 41: Ökofen Heiztechnik, A-Lenbach
- Bild 7, 42: Wodtke GmbH, Hirschau
- Bild 8, 9, 11, 12: Solvis Energiesystem, Braunschweig
- Bild 10: Schüco International, Bielefeld
- Bild 15, 19, 20: Variotherm, A-Ybbs
- Bild 17, 25, 39, 40, 43, 44: B.Tec, Rosenheim
- Bild 23, 24, 26, 27, 28: Aerex Haustechniksysteme, Eisdorf
- Bild 5, 37, 38: tecalor GmbH, Holzminden
- Titelbild: Regnauer Hausbau, Seebruck



Bild 38 Kompakte Wärmepumpenanlage für Betrieb mit Erdsonden, Erdkollektoren oder Grundwasser. Der technische Speicher mit 100 l Inhalt ist über der Wärmepumpe angebracht. Für die Warmwasserbereitung ist ein zusätzlicher Speicher nötig.



Bild 39 Stromeffizienter Abluftventilator mit Schalldämpfern für die Abluft und Fortluft.



Bild 40 Solar-Schichtenspeicher mit integrierter Solarstation und Warmwasserbereitung über einen Plattenwärmetauscher.



Bild 41 (oben) Brennteller eines Pelletkessels mit Heißluft-Zündstab. Die Pellets werden von unten nachgeschoben. Die Asche fällt über den Rand des Brenntellers in den Aschebehälter.



Bild 42 (rechts) Primäröfen für Holzpellets zur Aufstellung im Wohnbereich.



Bild 43 Schichtenspeicher mit Solarstation und Gasbrennwertgerät.



Bild 44 Kleinstwärmepumpe zur Wärmerückgewinnung bei zentralen Abluftanlagen.

EGH

Entwicklungsgemeinschaft Holzbau  
in der  
Deutschen Gesellschaft für Holzforschung



Und Deine Welt  
hat wieder ein Gesicht.