



**INSTITUT WOHNEN  
UND UMWELT GmbH**

Annastraße 15  
64285 Darmstadt

**Fon:** (0049) 06151/2904-0

**Fax:** (0049) 06151/2904-97

**eMail:** [info@iwu.de](mailto:info@iwu.de)

**Internet:** <http://www.iwu.de>

# Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Erfahrungen und Perspektiven –

Eine Untersuchung im Auftrag des  
Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Darmstadt, den 30.08.2005

Autoren:           Nikolaus Diefenbach  
                  Tobias Loga  
                  Rolf Born



## **Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Erfahrungen und Perspektiven**

Eine Untersuchung im Auftrag des  
Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Autoren:            Nikolaus Diefenbach  
                         Tobias Loga  
                         Rolf Born

Reprotechnik:    Reda Hatteh

1. Auflage

Darmstadt, den 30.08.2005

ISBN-Nr.: 3-932074-82-3

IWU-Bestellnummer: 10/05

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH  
Annastraße 15  
D-64285 Darmstadt  
Fon: 06151/2904-0 / Fax: -97  
Internet: [www.iwu.de](http://www.iwu.de)

## Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Darstellung des Gebäude-Energieverbrauchs</b> .....	<b>6</b>
2.1 Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser.....	6
2.2 Wärmeerzeugung .....	8
2.3 Spezialfall: Nahwärmeversorgung .....	11
2.4 Gesamtbewertung des Wärmeversorgungssystems .....	12
2.5 Sonderfälle: Systemgrenzen und Bewertungsansätze .....	14
<b>3 Auswertung von Modellprojekten</b> .....	<b>19</b>
3.1 Definition des Niedrigenergiehauses .....	19
3.2 Systemvergleich „Elektro-Wärmepumpen und andere Heizsysteme“ – Modellprojekte in Königstein / Elz / Offenbach .....	20
3.3 Modellprojekt „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen .....	28
3.4 Modellprojekt „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden.....	30
3.5 Projekt “Sustainable Solar Housing” der Internationalen Energieagentur IEA .....	33
3.6 Schweizer Minergie-Häuser.....	36
3.7 EU-Projekt „Solar Combisystems“ .....	36
3.8 WeberHaus-Projekt .....	37
3.9 Synergie-Haus-Programm .....	38
3.10 Feldstudien über elektrische Wärmepumpen .....	39
3.11 Felduntersuchung Gas-Brennwertkessel.....	41
3.12 Betriebserfahrungen und Kosten .....	42
<b>4 Überblick über die Systemkonfigurationen</b> .....	<b>46</b>
4.1 Schema der Energiebilanz.....	49
4.2 Anhaltswerte und Rechenhilfen .....	50
<b>5 Perspektiven für die Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern</b> .....	<b>70</b>
5.1 Allgemeines .....	70
5.2 Systeme zur Einzelhausversorgung .....	71
5.3 Systeme mit Nahwärmeversorgung.....	76
5.4 Schlussbetrachtung .....	79
<b>6 Literatur</b> .....	<b>81</b>
<b>ANHANG: Anwendung des Rechenschemas – Beispiele für Wärmeversorgungssysteme</b> .....	<b>87</b>



## 1 Einleitung

Im Vergleich zu Heizungsanlagen in schlecht gedämmten Bestandsgebäuden stellen sich bei Niedrigenergiehäusern heute neue Anforderungen. Der stark reduzierte Bedarf an Heizwärme bei verbessertem thermischem Komfort verschiebt die Gewichte bei der Optimierung der Anlagentechnik. Althergebrachte Lösungen für die Wärmeerzeugung, den Wärmeschutz der Komponenten, die Betriebsweise der Anlage müssen unter diesen Randbedingungen neu überdacht werden.

Mittlerweile liegen in Hessen aus verschiedenen Niedrigenergiehaus-Projekten Erfahrungen mit unterschiedlichen Systemen zur Wärmeversorgung vor. Am umfassendsten dokumentiert und ausgewertet wurden der Modellversuch „Elektro-Wärmepumpen und andere Heizungssysteme für Niedrig-Energie-Wohngebäude“<sup>1</sup>, in dem von 1996 bis 2003 verschiedene Elektro-Wärmepumpen und Nahwärmenetze realisiert und praktisch erprobt wurden, sowie das Modellprojekt „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“<sup>1</sup> in Niedernhausen, in dem 1992 ein BHKW-Nahwärmenetz gebaut und von 1993 bis 1997 ein Messprogramm durchgeführt wurde. Auch außerhalb Hessens liegen verschiedene Erfahrungen mit innovativen Versorgungstechniken von Niedrigenergiehäusern vor. Das bekannteste ist das „Synergiehaus-Programm“<sup>1</sup> der PreußenElektra (heute E.ON Energie AG).

Ein systematischer Vergleich der Erfahrungen aus den verschiedenen hessischen und außerhessischen Modellprojekten hat bisher noch nicht stattgefunden. Er wird dadurch erschwert, dass für die Auswertungen jeweils individuelle, auf die Technologie zugeschnittene Schemas verwendet wurden. Das Forschungsprojekt möchte diese Lücke in Form einer übergreifenden und vergleichbaren Darstellung des Erfahrungsstandes mit Wärmeversorgungssystemen in Niedrigenergiehäusern schließen. Diese mündet in einem Bewertungsschema, das für einzelne Gebäude oder Siedlungen eine grobe Einordnung der verschiedenen Heizsysteme abhängig von der Bebauungssituation erlaubt und die für das Erreichen festgelegter Effizienzziele erforderlichen Teileffizienzen deutlich macht.

Schließlich werden offene Fragen und Entwicklungsperspektiven für Niedrigenergiehaus-Heizsysteme diskutiert. Dabei wird auch die Frage nach der Übertragbarkeit auf den Gebäudebestand gestellt.

---

<sup>1</sup> nähere Informationen siehe Kapitel 3.

## 2 Darstellung des Gebäude-Energieverbrauchs

Die Darstellung des Energieverbrauchs<sup>2</sup> von Gebäuden kann nach unterschiedlichen Systemen und auf unterschiedlich differenzierte Weise erfolgen. Im vorliegenden Projekt bestand das Ziel darin, ein Verfahren zu finden, das

- anschaulich und übersichtlich ist und sich nach Möglichkeit ohne großen Aufwand sozusagen „aus dem Gedächtnis auf einem Blatt Papier“ niederschreiben lässt,
- für den Vergleich mit gemessenen Kennwerten aus konkreten Projekten geeignet ist,
- dabei soweit möglich und sinnvoll an bekannte und eingeführte Kenngrößen und Systematiken (insbesondere das EnEV-Verfahren auf Basis DIN V 4701-10) anknüpft.

### 2.1 Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser

Abbildung 1 zeigt die ersten Stufen des gewählten Schemas. Zur Veranschaulichung sind Beispielwerte eingetragen. Als Energiebezugsfläche wird in der vorliegenden Untersuchung in der Regel die beheizte Wohnfläche  $A_W$  verwendet, da diese besser praxisgeeignet ist als die „Gebäudenutzfläche  $A_N$ “ nach EnEV und daher in der Regel auch in den ausgewerteten Demonstrationsprojekten angegeben war. An späterer Stelle werden Hinweise zur alternativen Verwendung von  $A_N$  gegeben.

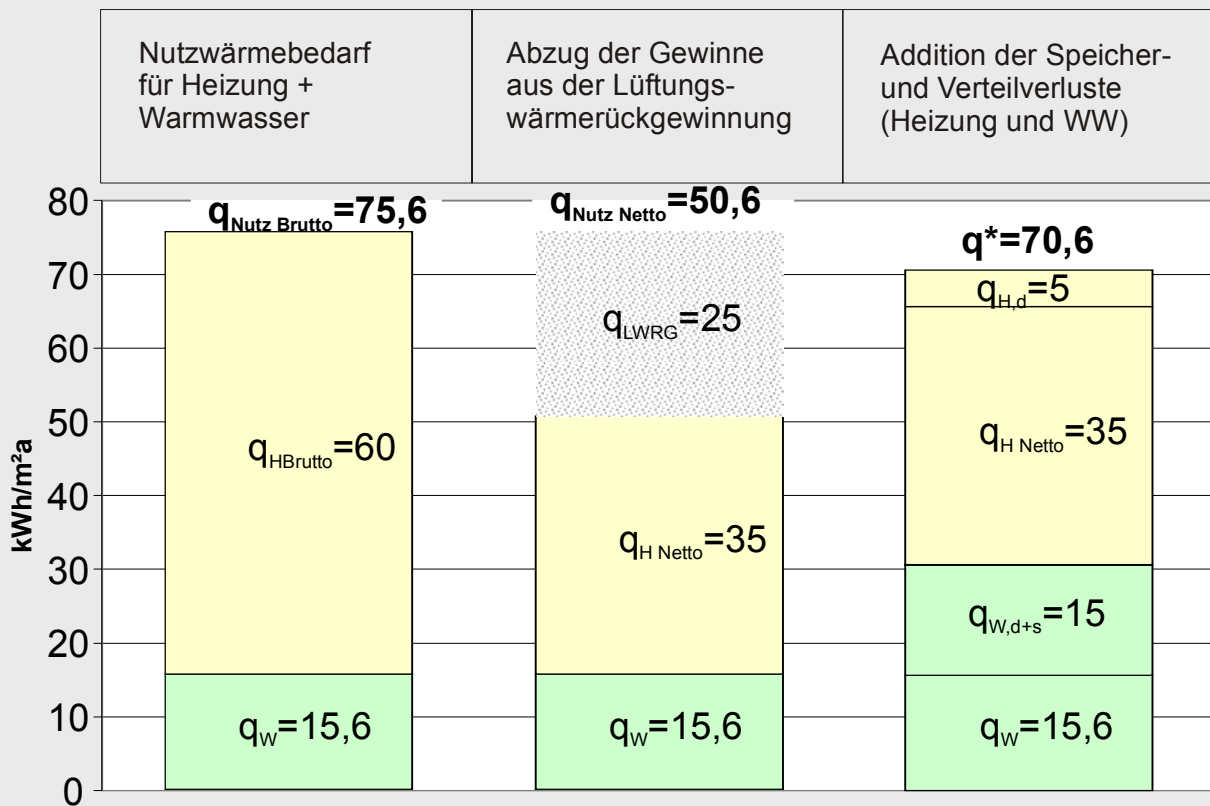
Die Darstellung beginnt links mit dem Nutzwärmebedarf  $q_{\text{Nutz,Brutto}}$  des Gebäudes. Er setzt sich aus dem Heizwärmebedarf  $q_{\text{H,Brutto}}$  und dem Warmwasser-Wärmebedarf  $q_W$  zusammen. Im dargestellten Beispiel beträgt  $q_{\text{H,Brutto}}=60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (typischer Wert für ein Niedrigenergiehaus). Der Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung hängt ausschließlich von den Bedürfnissen der Gebäudenutzer ab. Mit  $q_W=15,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  wird ein typischer Wert angesetzt. In der Größe  $q_{\text{H,Brutto}}$  ist die eventuell vorhandene Wärmerückgewinnung aus einer Lüftungsanlage noch nicht berücksichtigt. Dies ist erst bei der im zweiten Balken dargestellten Größe  $q_{\text{H,Netto}}$  der Fall. Der resultierende gesamte Nutzwärmebedarf wird als  $q_{\text{Nutz,Netto}}$  bezeichnet.

In der DIN 4701-10 wird dem Anwender freigestellt, ob er die aus der Lüftung zurückgewonnene Wärme im Heizwärmebedarf  $q_H$  oder bei der Wärmeversorgungstechnik berücksichtigt. Eine eindeutige Definition ist aber sinnvoll, so dass hier zwischen Brutto- und Netto-Heizwärmebedarf unterschieden wird. Die Bezeichnung „Heizwärmebedarf“ wird dabei stets als Oberbegriff für beide Größen verwendet. Diese Unterscheidung gilt analog auch für den Nutzwärmebedarf  $q_{\text{Nutz}}$ .

---

<sup>2</sup> Üblicherweise wird zwischen „Energieverbrauch“ (= gemessener Wert) und „Energiebedarf“ (= berechneter Wert) unterschieden. Für die hier geführte Diskussion verschiedener Versorgungskonzepte fehlt der deutschen Sprache ein Oberbegriff, der beide Bedeutungen vereint. Daher werden die beiden Begriffe in der vorliegenden Studie meist in einem übergeordneten Sinn verwendet. Ist an einzelnen Punkten der Verbrauch oder Bedarf im engen Sinn gemeint, so wird jeweils explizit von gemessenen oder berechneten Werten gesprochen.

**Abbildung 1:** Beispiel für die Bestimmung des Gesamtwärmebedarfs eines Niedrigenergiehauses<sup>3</sup>



Im rechten Balken der Abbildung 1 wurden zum Nutzwärmebedarf  $q_{\text{Nutz,Netto}}$  die Verluste des Trinkwarmwassersystems und Heizungssystems für Verteilung (d) und Speicherung (s) hinzuaddiert<sup>4</sup>. Es ergibt sich der Gesamtwärmebedarf des Gebäudes  $q^*$ , im vorliegenden Beispiel:  $q^*=70,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ <sup>5</sup>.

Der Gesamtwärmebedarf lässt sich natürlich auch für Heizung und Warmwasserbereitung separat ausweisen:

$$q^*_H = q_H + q_{H,d}$$

$$q^*_W = q_W + q_{W,d+s}$$

Diese Unterscheidung kann manchmal nützlich sein, in der Abbildung wurde sie aus Gründen der Vereinfachung weggelassen.

<sup>3</sup> angegebene Kennwerte jeweils in kWh pro m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche und Jahr

<sup>4</sup> zur Berücksichtigung der in DIN V 4701-10 definierten Wärmeübergabeverluste siehe Abschnitt 4.1. Beim Heizsystem ist nur die Verteilung berücksichtigt, zur Berücksichtigung der Speicherung s. Abschnitt 2.5.2.

<sup>5</sup> Die Größen  $q_{W,d}$ ,  $q_{W,s}$  der DIN 4701 wurden hier vereinfachend zusammengefasst. Die Indizes erklären sich teilweise aus den englischen Bezeichnungen (Verteilung: „d“ für „distribution“). Die Indizes der Norm wurden hier soweit möglich beibehalten. Das Problem einer Mischung deutscher und englischer Bezeichnungen tritt bereits in der Norm selbst auf.

Der Gesamtwärmebedarf  $q^*$  ist eine zentrale Größe, da er im Gegensatz zu den vorher genannten leicht mit Hilfe von Wärmemengenzählern messtechnisch erfasst werden kann. Aus vielen Demonstrationsprojekten liegen die entsprechenden Daten vor.

## 2.2 Wärmeerzeugung

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt auf der Minimierung des Energieaufwands für die Wärmeerzeugung.

Abbildung 2 zeigt eine vollständige Darstellung der verschiedenen Stufen des Gebäude-Energieverbrauchs. Die ersten drei Säulen wurden bereits erläutert. Im nächsten Schritt ist angezeigt, wie sich die Wärmeerzeugung auf ein Basissystem und eine (möglicherweise ergänzend vorhandene) Solaranlage aufteilt<sup>6</sup>. Die Deckungsgrade des Basissystems und der Solaranlage  $D_{\text{Basis}}$  bzw.  $D_{\text{solar}}$  betragen in dem Beispiel 79 % bzw. 21 %. Der Beitrag der Solaranlage zur Gebäudewärmeversorgung ergibt sich gemäß folgender Gleichung:

$$q_{\text{Sol}} = D_{\text{sol}} \cdot q^*$$

Der verbleibende Wärmebedarf ergibt sich zu  $q_{\text{Netto}} = q^* - q_{\text{Sol}}$ . Er entspricht hier der Energie  $q_g$ , die durch das Basissystem bereitgestellt wird:  $q_g = q_{\text{Netto}}$ <sup>7</sup>. Das Basis-Heizsystem weist die Erzeuger-Aufwandszahl  $e_g$  auf. Der Endenergiebedarf der Wärmeerzeugung ergibt sich damit zu:

$$q_{\text{E,g}} = e_g \cdot q_g$$

Im vorliegenden Beispiel gilt:  $q_{\text{E,g}} = 1,2 \cdot 55,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 67 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Die Umrechnung in den Primärenergiebedarf der Wärmeerzeugung erfolgt mit Hilfe des Primärenergiefaktors des verwendeten Endenergieträgers:

$$q_{\text{P,g}} = q_{\text{E,g}} \cdot f_p$$

Es ergeben sich  $q_{\text{P,g}} = 73,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

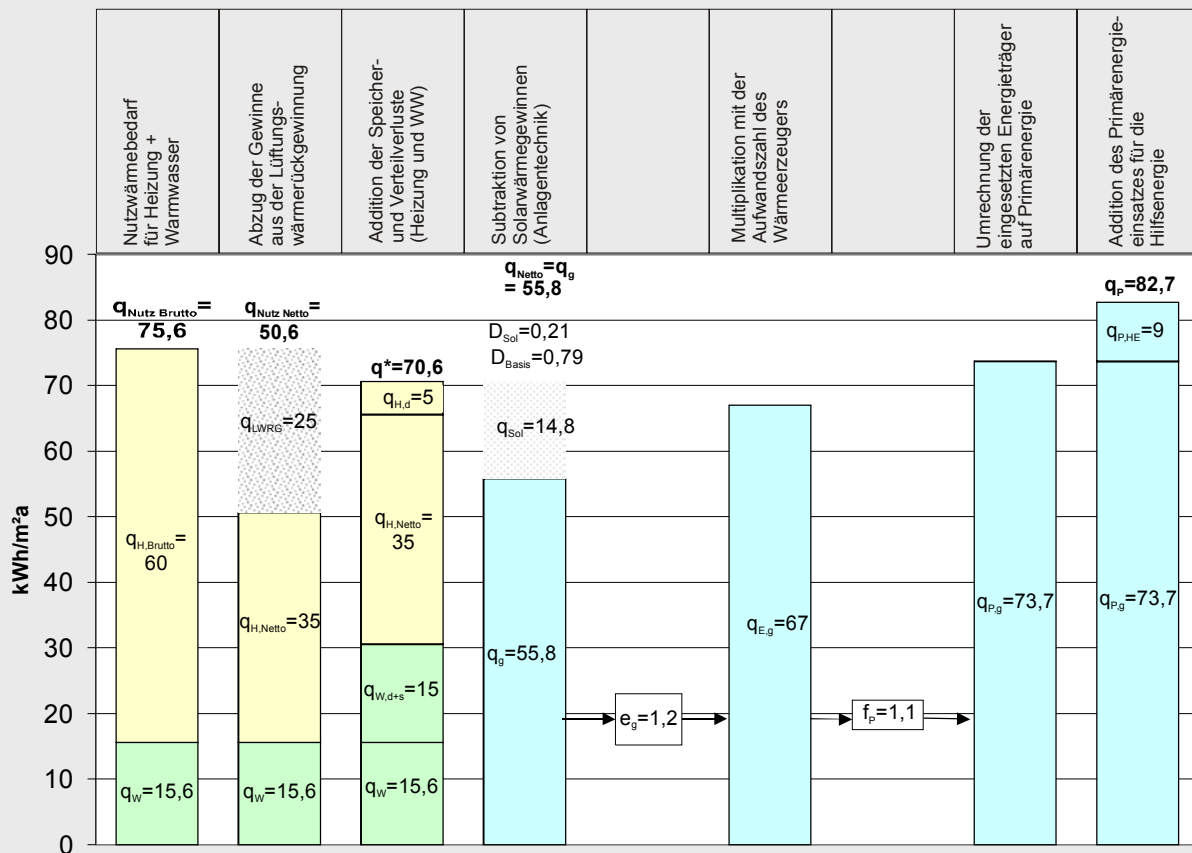
---

<sup>6</sup> Anders als in der DIN 4701-10 wird die Bereitstellung von Heizwärme und Trinkwarmwasser nicht getrennt, sondern gemeinsam betrachtet. Diese vereinfachte Darstellung ist möglich und sinnvoll, da im vorliegenden Bericht fast ausschließlich Basissysteme zur gleichzeitigen Heizwärme und Warmwasserbereitung betrachtet werden und eine getrennte messtechnische Erfassung der jahresdurchschnittlichen Anlageneffizienz für beide Aufgaben praktisch nicht möglich ist.

<sup>7</sup> Index g für Wärmeerzeugung (engl. generation). Im Fall der Nahwärmeversorgung sind  $q_{\text{Netto}}$  und  $q_g$  nicht identisch.



**Abbildung 2:** Beispiel für die Bestimmung des End- und Primärenergiebedarfs eines Niedrigenergiehauses



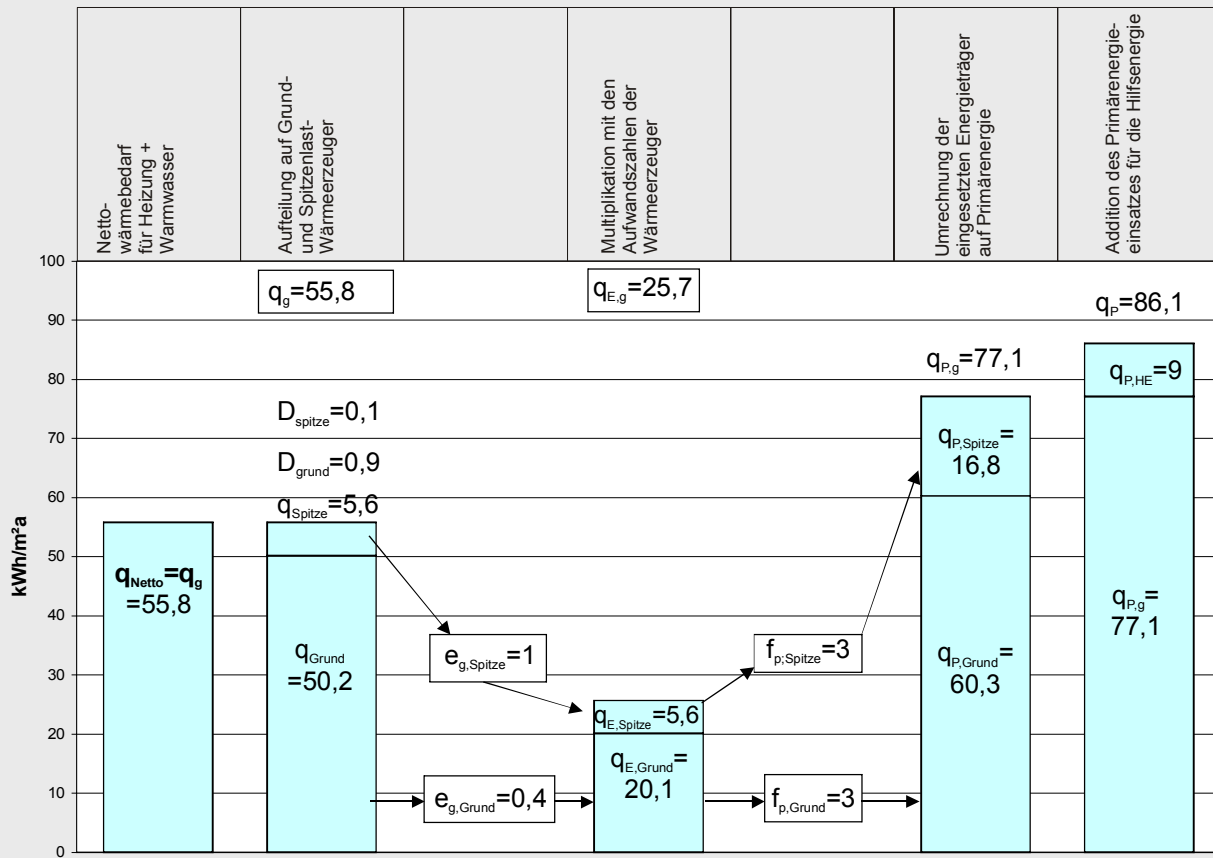
Um den vollständigen Primärenergieverbrauch  $q_P$  für die Heizung und Warmwasserversorgung des Gebäudes zu erhalten, muss am Ende noch der durch den Einsatz elektrischer Hilfsenergie verursachte Primärenergieverbrauch  $q_{P,HE}$  hinzuaddiert werden:

$$q_P = q_{P,g} + q_{P,HE}$$

Im dargestellten Beispiel erhält man:  $q_P = 73,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 82,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

In dem Fall, dass das Basis-Wärmeerzeugungssystem nur aus einem Wärmeerzeuger, beispielsweise einem Heizkessel besteht, ist das dargestellte Schema ausreichend. Es ist aber möglich, dass das Basissystem komplizierter aufgebaut ist. Häufig besteht es aus einem Grundlast-Wärmeerzeuger und einem System zur Spitzenlastdeckung (z.B. Wärmepumpe und elektrische Zusatzheizung). Dieser Fall ist in Abbildung 3 dargestellt.

**Abbildung 3:** Beispiel für ein Basissystem mit Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeuger



Die Deckung des Wärmebedarfs  $q_g$  erfolgt im Beispiel durch einen Grundlast-Wärmeerzeuger mit Deckungsgrad  $D_{\text{Grund}} = 0,9$  und einem Spitzenlast-Wärmeerzeuger mit Deckungsgrad  $D_{\text{Spitze}} = 1 - D_{\text{Grund}} = 0,1$ . Auf Basis der Erzeugeraufwandszahlen  $e_{g,\text{Grund}}$  und  $e_{g,\text{Spitze}}$  lassen sich der Endenergiebedarf der Wärmeerzeugung  $q_{E,g,\text{Grund}}$  und  $q_{E,g,\text{Spitze}}$  der beiden Teilsysteme und deren Summe  $q_{E,g}$  ermitteln. Entsprechend ergibt sich nach Multiplikation mit den Primärenergiefaktoren  $f_{p,\text{Grund}}$  und  $f_{p,\text{Spitze}}$  der jeweiligen Endenergieträger des Grund- und Spitzenlastsystems der Primärenergiebedarf.

Häufig wird, wie im dargestellten Beispiel, der Fall auftreten, dass Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeuger den gleichen Endenergieträger (mit gleichem Primärenergiefaktor  $f_{p,\text{Grund}} = f_{p,\text{Spitze}} = f_p$ ) verwenden. In diesem Fall ist es sinnvoll, die Erzeugeraufwandszahl des Gesamtsystems  $e_g$  zu ermitteln.

Sie errechnet sich zu:

$$e_g = D_{\text{Grund}} \cdot e_{g,\text{Grund}} + D_{\text{Spitze}} \cdot e_{g,\text{Spitze}}$$

Im vorliegenden Beispiel gilt:  $e_g = 0,9 \cdot 0,4 + 0,1 \cdot 1 = 0,46$  („Probe“:  $q_{\text{Basis}} \cdot e_g = 50,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 0,46 = 25,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = q_{E,g}$ ).

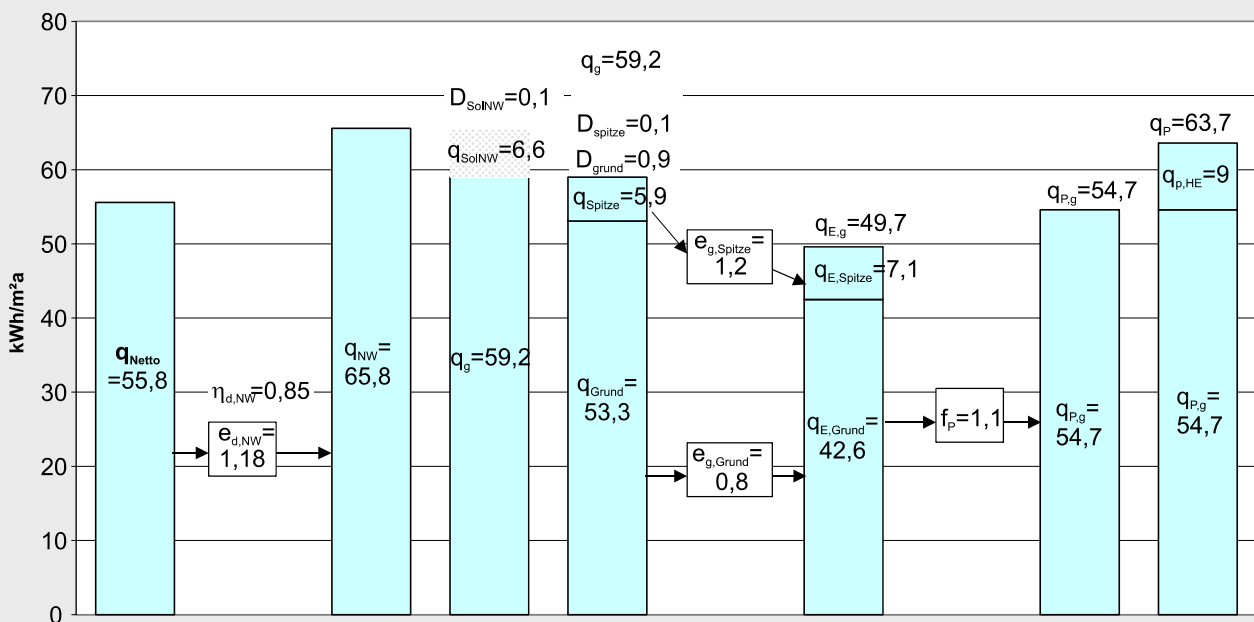
Bei Einsatz des gleichen Endenergieträgers könnte das Ergebnis also auch im vereinfachten Schema der Abbildung 2 (in diesem Beispiel natürlich mit anderen Zahlenwerten) sinnvoll dargestellt werden. In dem (selteneren) Fall der Verwendung verschiedener Energieträger ist die Aussa-

gekräft von  $e_g$  (ebenso wie von  $q_{E,g}$ ) dagegen nicht sehr groß. Erst der Primärenergiebedarf ( $q_{P,g}$  bzw.  $q_P$ ) liefert hier eine sinnvolle Basis für eine zusammenfassende Bewertung, da er die vorge-lagerten Verluste der Bereitstellung unterschiedlicher Energieträger berücksichtigt<sup>8</sup>.

### 2.3 Spezialfall: Nahwärmeversorgung

Die Nahwärme stellt einen Spezialfall der Wärmeversorgung dar. Abbildung 4 zeigt das für diese Systeme erweiterte Schema.

**Abbildung 4:** Beispiel für ein Nahwärmesystem



Das Nahwärmesystem fungiert als Basisheizsystem, die Darstellung beginnt also wiederum links mit  $q_{Netto}$ . Die Größe  $e_{d,NW}$  ist die Aufwandszahl der Wärmeverteilung. Sie errechnet sich als Kehrwert des Verteilungsnutzungsgrades  $\eta_{d,NW}$  des Nahwärmenetzes, der als Zusatzinformation ebenfalls eingetragen ist:

$$e_{d,NW} = 1/\eta_{d,NW}$$

Im vorliegenden Beispiel betragen die Verteilverluste 15 %, d.h.  $\eta_{d,NW} = 0,85$  und  $e_{d,NW} = 1/0,85 = 1,18$ .

<sup>8</sup> Das dargestellte Schema kann natürlich auf andere Fälle, z.B. Systeme mit 3 und mehr Wärmeerzeugern oder Fälle mit getrennten Teilsystemen zur Heizung und Warmwasserbereitung übertragen werden. Im Allgemeinen würde man hier nicht von Grund- und Spitzenlastwärmeerzeugern sprechen, sondern die einzelnen Erzeuger einfach durchnummerieren.

Das Produkt  $q_{\text{Netto}} \cdot e_{d,NW}$  ergibt die Gesamt-Wärmeeinspeisung in das Nahwärmesystem  $q_{NW}$ , die in der Heizzentrale erfolgt. Sie ist im zweiten Balken dargestellt. Die Differenz der Höhe von erstem und zweitem Balken entspricht der Höhe der Verteilungsverluste.

Der Fall, dass eine zentrale Solaranlage in das Nahwärmesystem einspeist, ist analog zur dezentralen Gebäude-Solaranlage (s. Abbildung 2) zu berücksichtigen. Der Deckungsgrad der solaren Nahwärme beträgt im Beispiel  $D_{\text{soiNW}}=0,1$  (d.h. 10 %), die Wärmeeinspeisung der zentralen Solaranlage somit  $q_{\text{soiNW}}=D_{\text{soiNW}} \cdot q_{NW}=6,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Vermindert man  $q_{NW}$  um diesen Betrag, so ergibt sich der Anteil  $q_g$ , der durch das Basis-Erzeugungssystem der Nahwärme-Heizzentrale zu decken ist<sup>9</sup>.

Das Basis-Nahwärmerzeugungssystem spaltet sich wiederum in einen Grundlast- und einen Spitzenlast-Wärmeerzeuger auf (in der Regel: BHKW und Spitzenkessel). Die weitere Darstellung erfolgt nun analog zu Abbildung 3.

## 2.4 Gesamtbewertung des Wärmeversorgungssystems

Die bisher dargestellten Schemata zu Anlagenbewertung sind darauf ausgerichtet, ein relativ detailliertes Bild vom Zusammenspiel der einzelnen Systemkomponenten zu gewinnen. Am Ende stellt sich natürlich die Frage, wie die Effizienz des Wärmeversorgungssystems insgesamt zu bewerten ist. Zwei globale Kenngrößen der Anlagentechnik geben hier Aufschluss:

- Die **Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems**  $e_P$  ist ein Maßstab für die Gesamteffizienz des Wärmeversorgungssystems unter Einschluss aller Komponenten. Sie wird hier wie folgt definiert:

$$e_P = \frac{q_P}{q_{\text{Nutz,Brutto}}} = \frac{q_P}{q_{H,Brutto} + q_W}$$

Die Definition entspricht den Verfahren der EnEV und der DIN V 4701-10 mit dem Unterschied, dass hier klar definiert wird, dass  $q_{\text{Nutz,Brutto}}$  (d.h.  $q_{H,Brutto}$  und nicht  $q_{H,Netto}$ ) als Ausgangspunkt genommen wird, während die Norm sich dabei nicht festlegt. Diese Konkretisierung erscheint sinnvoll, damit sowohl der Nutzen der Lüftungswärmerückgewinnung (Verminderung des Heizwärmebedarfs) als auch deren Aufwand (Hilfsstrom- und daraus resultierender Primärenergiebedarf) in der gleichen Kenngröße  $e_P$  berücksichtigt werden.

- Die **Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung**  $e_{P,g}$  wird hier neu eingeführt als:

$$e_{P,g} = \frac{q_{P,g}}{q^*} = \frac{f_P \cdot q_{E,g}}{q^*}$$

Die Größe  $e_{P,g}$  konzentriert die Bewertung auf den eigentlichen Vorgang der Wärmeerzeugung: Der Endenergiebedarf  $q_{E,g}$  gewichtet mit dem Primärenergiefaktor des eingesetzten Energieträgers  $f_P$  wird zum Gesamt-Wärmebedarf des Gebäudes  $q^*$  in Beziehung gesetzt. Sowohl  $q_{E,g}$  als auch  $q^*$  sind Größen, die sich in Gebäuden leicht messen lassen.

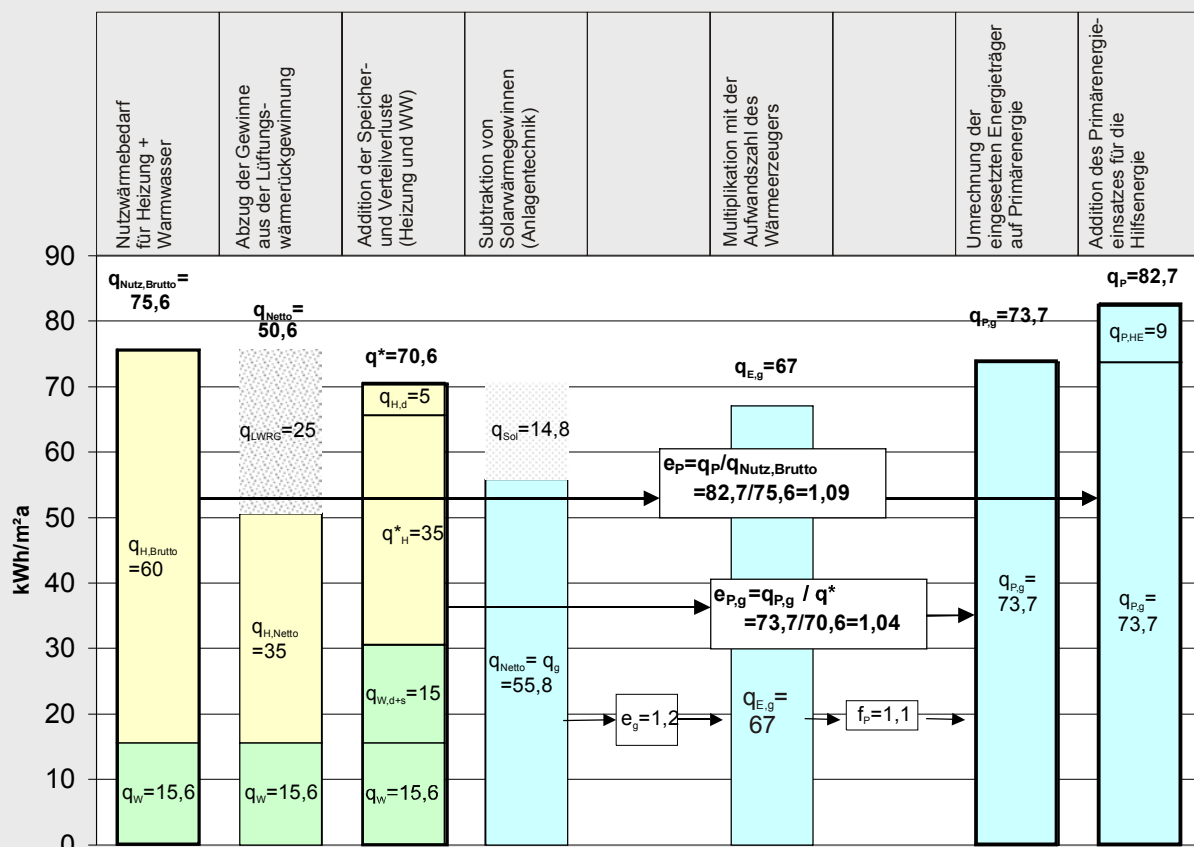
<sup>9</sup> Geht man von dem in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellten Beispielgebäude aus, so würde hier sowohl eine dezentrale Gebäude-Solaranlage als auch eine zentrale Nahwärme-Solaranlage vorliegen. Einen solchen Fall wird es in der Praxis natürlich nicht geben.

Abbildung 5 zeigt anhand des Beispiels aus Abbildung 2 die unterschiedlichen Definitionen von  $e_p$  und  $e_{p,g}$

Die Primärenergie-Aufwandszahl  $e_p$  ist also eine wichtige Kenngröße für die rechnerische Optimierung von Anlagen. Für die Auswertung und den Vergleich von Messergebnissen aus Modellprojekten ist sie jedoch nicht direkt geeignet, da insbesondere der Brutto-Heizwärmebedarf eines Gebäudes  $q_{H,Brutto}$  (also die an den Heizflächen abgegebene Wärmemenge) zumeist nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand erfasst werden kann.

**Die Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung  $e_{p,g}$  kann dagegen – sofern die produzierte Wärmemenge erfasst wird – direkt aus Verbrauchsmessungen ermittelt werden, weshalb sie als Grundlage für die Auswertungen in Kapitel 3 herangezogen wurde.**

**Abbildung 5:** Gesamtbewertung des Wärmeversorgungssystems mit den Aufwandszahlen  $e_p$  bzw.  $e_{p,g}$



Wann kann man nun davon sprechen, dass die Effizienz eines Wärmeversorgungssystems „gut“ oder „zufriedenstellend“ ist, und wann ist das Ergebnis ungünstig? So wie beim Wärmebedarf mit maximal  $q_H = 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ein (ungefährer) Grenzwert für die Niedrigenergiebauweise festgelegt ist (s.u.), wäre auch beim Wärmeversorgungssystem ein Anhaltswert sinnvoll.

Wir wählen einen solchen Anhaltswert auf Grundlage der folgenden Überlegung: Es geht hier vor allem um aufwändigere Heizsysteme mit z.B. Wärmepumpen, Solaranlagen oder Blockheizkraftwerken, die über heutige Standardlösungen hinausgehen, d.h. eine Verbesserung der Energieeffizienz bewirken sollen. Als Standardlösung kann man den Heizkessel ansehen, wobei inzwischen im Fall einer Gasversorgung der Brennwertkessel als Standardlösung angesehen werden kann. Als Vergleichsmaßstab soll daher eine Heizung mit einem sehr guten Erdgas-Brennwertkessel (Jahresnutzungsgrad von 100 %, d.h.  $e_g = 1,0$ ) dienen. Da der Primärenergiefaktor von Gas  $f_p = 1,1$  beträgt, errechnet sich für den Brennwertkessel eine Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung von  $e_{P,g} = e_{g,H} \cdot f_p = 1,1$ .

Minimalziel für die Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung:

Bei ehrgeizigen Wärmeversorgungssystemen, mit denen man eine deutliche Verbesserung gegenüber der heutigen Standardlösung „Brennwertkessel“ erreichen will, sollte die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung nicht höher als  $e_{P,g} = 1,1$  liegen.

## 2.5 Sonderfälle: Systemgrenzen und Bewertungsansätze

### 2.5.1 Primärenergiefaktor von Strom

In der EnEV und DIN V 4701-10 wird der Primärenergiefaktor von Strom zu  $f_p=3,0$  festgelegt. Es handelt sich also um den derzeit gebräuchlichen Ansatz für die Ermittlung des Primärenergiebedarfs. Er wurde bei der Analyse der Modellprojekte in Kapitel 3 zu Grunde gelegt.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Sichtweisen auf die Primärenergie existieren: Es besteht die Möglichkeit, regenerativen Energiequellen entweder einen Primärenergieaufwand zuzurechnen, was im energiewirtschaftlichen Bereich z.B. bei nationalen Energiebilanzen üblich ist<sup>10</sup>, oder ihnen – da sie weder zum Treibhauseffekt noch zum Ressourcenverbrauch beitragen - den Wert Null zuzuordnen. Die zweite Sichtweise ist sinnvoll, wenn es um die Bewertung von Ökologie und Nachhaltigkeit geht. Sie wird auch durchgehend in der EnEV und der DIN V 4701-10 verwendet: So wird z.B. der solaren Wärmeerzeugung kein Primärenergieaufwand zugeordnet.

Beim Faktor  $f_p=3,0$  für Strom wurde allerdings von dieser Systematik abgewichen: regenerative Stromerzeugung (insbesondere Wasserkraft und Windkraft) wird primärenergetisch verbucht. Setzt man den primärenergetischen Aufwand des regenerativen Anteils im deutschen Strommix zu Null, so ergibt sich nach GEMIS ein Wert von  $f_p=2,7$  (= nicht-regenerativer Anteil des kumulierten Energieaufwands). Bei der zukünftigen Neufassung des Normenwertes im Rahmen der DIN 18599 soll dies nach aktuellem Diskussionsstand berücksichtigt werden. In der vorliegenden Studie wird in dem in Kapitel 4 beschriebenen Rechenschema und in den weiterführenden Betrachtungen über die Perspektiven von Wärmeversorgungssystemen der Wert  $f_p=2,7$  in den Mittelpunkt gestellt.

---

<sup>10</sup> Hier sind dann gegebenenfalls noch unterschiedliche Methoden zur Ermittlung des Primärenergieaufwands erneuerbarer Energien zu beachten.

### 2.5.2 Wärmespeicher

Die Verluste von Trinkwarmwasser-Wärmespeichern werden in der Größe  $q_{W,d+s}$  berücksichtigt.

Sonstige Speicher, die bei manchen Anlagenkonfigurationen einen zeitlichen Ausgleich zwischen Erzeugung und Heizenergieverbrauch herstellen, werden zur Vereinfachung nicht separat betrachtet. Die Verluste werden gegebenenfalls dem Wärmeerzeuger zugewiesen, mit dem sie verbunden sind, also in der Erzeugeraufwandszahl berücksichtigt. Wenn also beispielsweise eine elektrische Wärmepumpe einen Pufferspeicher benötigt (was in der Regel nicht notwendig ist), würde als Wärmeproduktion der Wärmepumpe nicht die in den Speicher eingespeiste, sondern die dem Speicher entnommene Wärmemenge angerechnet. Gleiches gilt z.B. auch für Solaranlagen.

Wenn mehrere Erzeuger einspeisen, werden die Wärmeverluste des Speichers dem System zugewiesen, welches den Speicher notwendig macht. Ist also beispielsweise der Pufferspeicher einer Solaranlage mit einem elektrischen Heizstab zur Zusatzwärmeerzeugung ausgestattet, oder speist ein Spitzenlast-Heizkessel in den Speicher ein, so werden die vollen Wärmeverluste der Solaranlage zugerechnet, weil erst diese den Speicher notwendig gemacht hat. Kompliziertere Konfigurationen würden weitere Überlegungen erfordern, sie sind aber sehr selten. Immerhin ist der Fall zu erwähnen, dass eine Solaranlage und eine Wärmepumpe gleichzeitig auf einen Speicher arbeiten. Hier erscheint es plausibel, die Verluste der Solaranlage zuzurechnen, da Wärmepumpen im Allgemeinen auch ohne Speicher auskommen können.

Solaranlagen verwenden häufig einen kombinierten Solar- und Brauchwasserspeicher. In diesem Fall werden, wie in der DIN 4701-10, die Wärmeverluste des Speichers in die Verluste des Brauchwasserteils und des Solarteils unterteilt. Die Verluste des Brauchwasserteils werden in der Größe  $q_{W,d+s}$  berücksichtigt, während die Verluste des Solarteils der Solaranlage zugerechnet werden, d.h. den Deckungsgrad der Anlage reduzieren.

In Modellprojekten sind die Verluste des Solar- und Brauchwasserteils nicht separat messbar. Um hier dennoch eine sinnvolle Quantifizierung des solaren Beitrags vornehmen zu können, wurde als Wärmeverlust des Brauchwasserteils ein für die Brauchwasserspeicherung typischer Wert von 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) (bezogen auf die versorgte Wohnfläche) angesetzt.

### 2.5.3 Hilfsstrom von Wärmepumpen

Da Wärmepumpen denselben Energieträger Strom sowohl zur direkten Wärmeerzeugung (über den Wärmepumpenprozess) als auch als Hilfsstrom benötigen, stellt sich die Frage, wo die Grenze zwischen Wärmeerzeugung und Hilfsstrom gezogen wird. In der vorliegenden Studie gilt in der Regel die Konvention, dass bei Erdreichwärmepumpen der Strombedarf für die Pumpe des Solekreises und bei Luftwärmepumpen der Strombedarf eines Ventilators in der Jahresarbeitszahl und nicht im separat ausgewiesenen Hilfsstrombedarf verrechnet sind.

### 2.5.4 Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Die einzelnen Wärmeerzeuger sind in erster Linie durch ihre jeweilige Erzeugeraufwandszahl, z.B.  $e_{g,Grund}$  charakterisiert. Dabei handelt es sich um den Quotienten aus Energie-„Input“ und Energie-„Output“. Der Kehrwert der Erzeugeraufwandszahl  $e_g$  ist der Jahresnutzungsgrad  $\eta_g$  des Wärmeerzeugers<sup>11</sup>.

$$e_g = \frac{\text{verbrauchte Energie}}{\text{gelieferte Energie}} = 1/\eta_g$$

Diese Definition ist normalerweise unproblematisch. Eine Schwierigkeit ergibt sich aber bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen: Hier wird in einem einzigen Prozess gleichzeitig Wärme und elektrischer Strom produziert. Um einen Jahresnutzungsgrad  $\eta_g$  bzw. eine Erzeugeraufwandszahl  $e_g$  berechnen zu können, muss definiert werden, welcher Anteil der von der KWK-Anlage verbrauchten Primär- bzw. Brennstoffenergie der Wärmeerzeugung und welcher der Stromerzeugung zuzurechnen ist.

Das am häufigsten gewählte Verfahren ist die sogenannte Stromgutschriftmethode, die auch in der DIN V 4701-10 angewendet wird. Hier wird der Primärenergiebedarf der Wärmeerzeugung ermittelt, indem von dem Gesamt-Primärenergiebedarf der Anlage die Primärenergie subtrahiert wird, die zur Stromerzeugung in einem Referenzkraftwerk aufgewendet werden müsste. In der DIN V 4701-10 wird als Referenz der Primärenergiefaktor der deutschen Stromerzeugung von  $f_{p,el}=3$  angesetzt. Abhängig vom elektrischen und thermischen Nutzungsgrad der KWK-Anlage ergibt sich der Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeugung in der KWK-Anlage nach folgender Gleichung (darin ist  $f_p$  der Primärenergiefaktor des in der KWK-Anlage verwendeten Brennstoffs, z.B.  $f_p=1,1$  für Erdgas):

$$\eta_g = \frac{\eta_{th,KWK}}{1 - \eta_{el,KWK} \frac{f_{p,el}}{f_p}} = \frac{\eta_{th,KWK}}{1 - 2,73 \cdot \eta_{el,KWK}}$$

Bei der Gutschriftmethode wird die KWK-Anlage als die Kombination eines durchschnittlichen, d.h. „schlechten“ Kraftwerks (Mittelwert der deutschen Stromerzeugung) und einer in der Regel hervorragenden Wärmeerzeugungsanlage aufgefasst [Diefenbach 2002]. Aus der Gleichung ist zu erkennen, dass bei hohen elektrischen Wirkungsgraden der KWK-Anlage der Jahresnutzungsgrad gegen unendlich gehen kann (was einer Aufwandszahl von Null entspricht, also gleichbedeutend einer Solaranlage ist) bzw. sogar negativ werden kann (negative Aufwandszahl)<sup>12</sup>.

Auf Grund dieses Ungleichgewichts in der Bewertung und der daraus resultierenden Probleme wird in [Diefenbach 2002] ein anderes Verfahren vorgeschlagen, welches den Gesamteffizienzvor-

<sup>11</sup> Bei manchen Systemen werden andere Begriffe und Formelzeichen verwendet. Beispielsweise spricht man bei Wärmepumpen von der Jahresarbeitszahl  $\varepsilon$ . Der Jahresnutzungsgrad  $\eta$  wird hier im Sinne eines Oberbegriffs für diese Größen verwendet.

<sup>12</sup> In der DIN 4701-10 werden negative Primärenergiefaktoren für das Gesamtsystem verhindert, indem der Wert dann auf Null gesetzt wird.



teil der KWK-Anlage gegenüber einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung in einem Referenzkraftwerk und einem Referenz-Heizkessel zur Grundlage nimmt und diesen Effizienzvorteil gleichermaßen bei der Wärme- und Stromerzeugung in der KWK-Anlage berücksichtigt. Das Verfahren wird hier als „Gesamteffizienzmethode“ bezeichnet. Für den Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeugung in der KWK-Anlage ergibt sich die folgende Bewertung<sup>13</sup>:

$$\eta_g = \eta_{th,KWK} + \frac{\eta_{th,Ref}}{\eta_{el,Ref} \eta_{NW,d}} \eta_{el,KWK} = \eta_{th,KWK} + \frac{2,3}{\eta_{NW,d}} \eta_{el,KWK}$$

Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der beiden Bewertungsmethoden.

Betrachtet wird eine KWK-Anlage mit einem Gesamtjahresnutzungsgrad (Summe aus  $\eta_{el}$  und  $\eta_{th}$ ) von 90 %<sup>14</sup>. Dieser Wert lässt sich durch verschiedene Kombinationen von  $\eta_{el}$  und  $\eta_{th}$  erreichen. Die Abbildung zeigt den Einfluss einer Variation von  $\eta_{el}$ . Der Fall ganz links außen ( $\eta_{el}=0$ ) entspricht einem Heizkessel mit 90 % thermischem Nutzungsgrad. In diesem Fall stimmen beide Bewertungsverfahren überein.

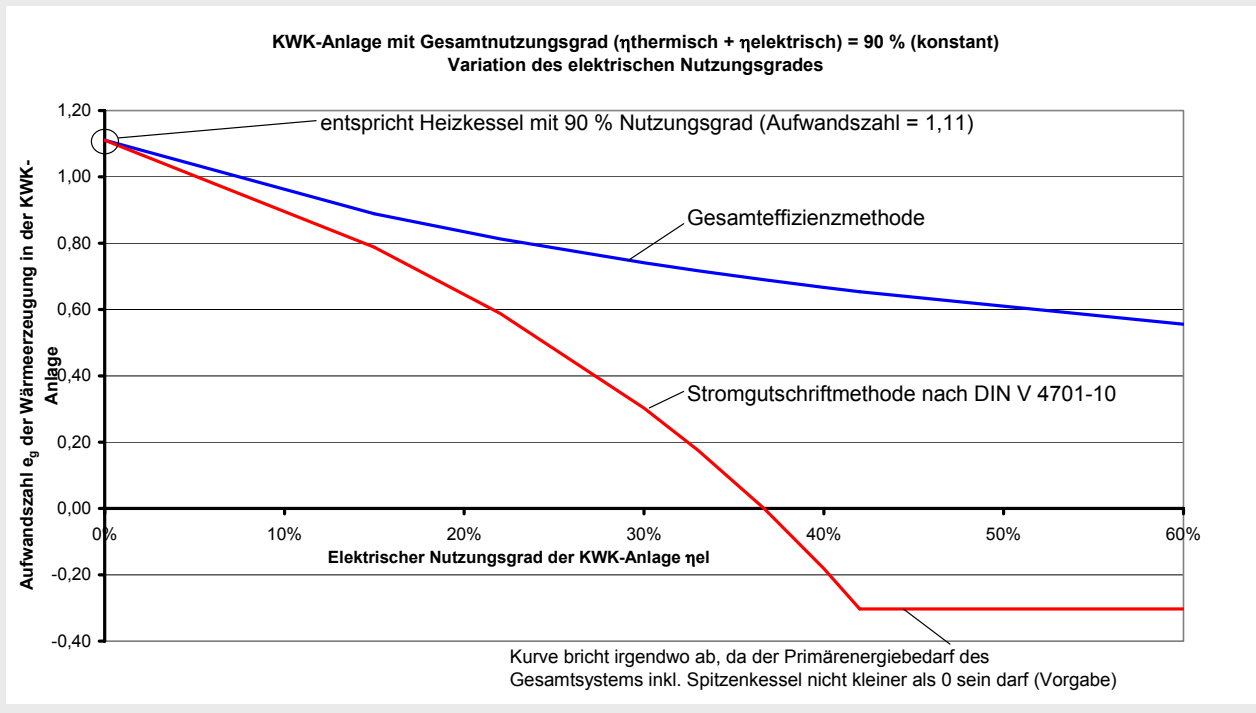
Bei zunehmenden elektrischem Nutzungsgrad sinken in beiden Fällen die zugerechneten Aufwandszahlen  $e_g$ , d.h. die der KWK-Anlage zugerechnete Effizienz der Wärmeerzeugung nimmt zu. Allerdings sinken die Werte bei der Gutschriftmethode viel schneller als bei der Gesamteffizienzmethode. Bei einem elektrischen Wirkungsgrad von knapp 37 % wird  $e_g=0$  erreicht, d.h. die KWK-Anlage wird hier mit einer Solaranlage gleichgesetzt. Danach wird die Aufwandszahl sogar negativ. Dies entspräche einer Anlage, die keine Primärenergie mehr verbraucht, sondern neue Primärenergie erzeugt<sup>15</sup>. Ein solches Ergebnis erscheint nicht als eine angemessene Bewertung der KWK-Technologie, die ja, anders als die Solartechnik, bei ihrer Anwendung immer noch Primärenergie verbraucht und CO<sub>2</sub> erzeugt.

<sup>13</sup> Als Referenznutzungsgrade wurden  $\eta_{el,Ref}=0,35$  und  $\eta_{th,Ref}=0,8$  gewählt ( $0,8/0,35 \approx 2,3$ ).  $\eta_{d,KWK}$  ist der Verteilungsnutzungsgrad des Nahwärmenetzes. Das in [Diefenbach 2002] angewendete Verfahren, die Gleichung durch Wahl eines typischen Wertes  $\eta_{d,KWK} \approx 0,9$  zu vereinfachen, wird hier nicht verfolgt, da, wie sich zeigen wird, bei nahwärmeversorgten Niedrigenergiehaus-Wohngebieten teilweise mit deutlich niedrigeren Verteilungsnutzungsgraden zu rechnen ist.

<sup>14</sup> Bei der Gesamteffizienzmethode muss außerdem der Verteilungsnutzungsgrad des Nahwärmesystems bekannt sein. Hier wurde  $\eta_{d,KWK} = 92$  % angenommen.

<sup>15</sup> Wenn die Gutschriftmethode gemäß ihrer Ausprägung in der DIN V 4701-10 angewendet wird, knickt die Kurve irgendwann ab, da dort definiert wird, dass der Primärenergiefaktor des gesamten Nahwärmesystems (inklusive hier nicht betrachtetem Spitzenkessel und Hilfsenergiebedarf) nicht kleiner als Null sein darf. Andere Varianten der Gutschriftmethode kennen diese Einschränkung nicht.

**Abbildung 6:** Vergleich von Stromgutschrift- und Gesamteffizienzmethode zur Bewertung von KWK-Anlagen



Die Autoren der vorliegenden Untersuchung empfehlen, für die KWK-Bewertung grundsätzlich die Gesamteffizienzmethode zu verwenden. Allerdings ist zu beachten, dass die Gutschriftmethode sehr weit verbreitet ist und der DIN V 4701-10 zu Grunde gelegt wurde. Im vorliegenden Bericht werden daher beide Bewertungsmethoden berücksichtigt.

### 2.5.5 Biomasse

Biomasse verdient als regenerativer Energieträger mit begrenztem Potential eine besondere Aufmerksamkeit. Der optionale Ansatz eines „Biomasse-Budgets“ ist in Abschnitt 4.2.9 näher erläutert.

### 3 Auswertung von Modellprojekten

Eine im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Literaturrecherche diente der Ermittlung von Modellvorhaben, in denen Messwerte über die Anlageneffizienz des Wärmeversorgungssystems von Niedrigenergiehäusern erhoben wurden. Die Ergebnisse der Recherche werden im vorliegenden Kapitel – so weit wie möglich unter Anwendung des oben eingeführten Schemas – zusammenfassend dokumentiert. Da die Angaben in den verwendeten Quellen nicht immer vollständig waren, waren an einigen Stellen zusätzliche Annahmen für die Interpretation der Messergebnisse erforderlich – im Text wird jeweils darauf hingewiesen.

Bevor die Ergebnisse dargestellt werden, soll zunächst der der vorliegenden Studie zu Grunde liegende Begriff des Niedrigenergiehauses erläutert werden.

#### 3.1 Definition des Niedrigenergiehauses

Der Grenzwerte für den Heizwärmebedarf von Niedrigenergiehäusern liegen gemäß [Feist 1989] [LEG] [Feist 1997] [Loga/Imkeller 1997] [IPH] bei folgenden Werten für den wohnflächenbezogenen Heizwärmebedarf:<sup>16 17</sup>

- Einfamilienhäuser  $q_h \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Reihenhäuser  $q_h \leq 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Mehrfamilienhäuser  $q_h \leq 55 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Langfristig ist aus Sicht von Klimaschutz und Ressourcenschonung im Neubau der Passivhaus-Standard einzig vertretbar. Daher stellt ein Heizwärmebedarf von  $q_{H,Netto} = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  den Zielwert für die energetische Optimierung von Niedrigenergiehäusern dar.

Für den Heizwärmebedarf liegen, wie oben erläutert, in der Regel keine separaten Messwerte vor, in der Regel sind die Verteilverluste und häufig auch der Warmwasserbedarf mit allen Verlusten in den Messwerten enthalten. Rechnet man überschlägig ca.  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  für diese Zusatzverluste, so umfasst der Bereich der Niedrigenergiehäuser Werte des Gesamtwärmebedarfs  $q^*$  bis zu ca.  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , mit Solaranlage ca.  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Der Begriff des Niedrigenergiehauses soll allerdings in der folgenden Dokumentation nicht „auf die Goldwaage“ gelegt werden. Bei der Darstellung ausgewerteter Daten werden teilweise auch Fälle berücksichtigt, die nicht dem Niedrigenergiehausniveau entsprechen, aber dennoch interessante

<sup>16</sup> Bei Niedrigenergiehäusern ist nicht festgelegt, ob der Heizwärmebedarf mit oder ohne eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erreicht wird. Das Passivhausziel lässt sich dagegen nur mit einer Lüftungsanlage erreichen, gemäß Kapitel könnte man hier also auch schreiben  $q_{h,Netto} \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

<sup>17</sup> Wie oben erwähnt liegen die Energiekennwerte nach EnEV erheblich niedriger (10 bis 50% - im Mittel ca. 30%), da sie auf eine fiktive „Gebäudenutzfläche“  $A_N$  bezogen sind (vgl. [Loga/Diefenbach 2001]). Sie sind daher mit den hier verwendeten, auf die beheizte Wohnfläche bezogenen Kennwerten nicht direkt vergleichbar.

Erfahrungswerte über die jeweiligen Heizsysteme liefern. Dies gilt insbesondere für die umfangreicheren Feldstudien, die im Bereich der Wärmepumpen und Brennwertkessel vorliegen. Auch Passivhäuser, die eigentlich nicht im Mittelpunkt der Untersuchung standen, wurden von Fall zu Fall mit ausgewertet.

### 3.2 Systemvergleich „Elektro-Wärmepumpen und andere Heizsysteme“ – Modellprojekte in Königstein / Elz / Offenbach

Das hessische Umweltministerium führte gemeinsam mit der hessischen Elektrizitätswirtschaft Modellprojekte zur Untersuchung von Niedrigenergiehaus-Heizsystemen in drei Neubaugebieten durch. In der projektbegleitenden Arbeitsgruppe war auch das IWU beteiligt. Die Ingenieurgesellschaft Gertec dokumentierte die Projektergebnisse einschließlich der von ihr durchgeführten Verbrauchsmessungen in ihren Berichten „Systemvergleich Elektro-Wärmepumpen und andere Heizungssysteme für Niedrig-Energie-Wohngebäude“ aus den Jahren 2001 und 2003 [GERTEC 2001] [GERTEC 2003]. Auf diesen Berichten basieren die folgenden Auswertungen.

#### 3.2.1 Baugebiet Königstein



Fotos: Gertec

Im Baugebiet Heuhohlweg/Seilerbahnweg wurden 28 Einfamilienhäuser (Reihenhäuser und Doppelhäuser) sowie ein Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten und ein Kindergarten errichtet. Das Gebiet wird über ein Nahwärmesystem versorgt. Fünf Gebäude sind allerdings nicht angeschlossen, dort wurden stattdessen Erdreich-Wärmepumpen installiert. Alle Gebäude des Wohngebiets haben eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung sowie eine Abluft-Anlage ohne Wärmerückgewinnung.

### Königstein: Gebäude mit Erdreich-Wärmepumpe + Solaranlage

Vier Gebäude mit Erdreich-Wärmepumpe wurden messtechnisch intensiv untersucht. Abbildung 7 zeigt die mittlere Jahres-Energiebilanz der vier Gebäude über vier Heizperioden.

**Abbildung 7:** Baugebiet Königstein: Gebäude mit Erdreichwärmepumpe + Solaranlage (Mittelwerte). Die mittlere Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung beträgt:  
 $e_{P,g} = 83,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})/89 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 0,94$ .

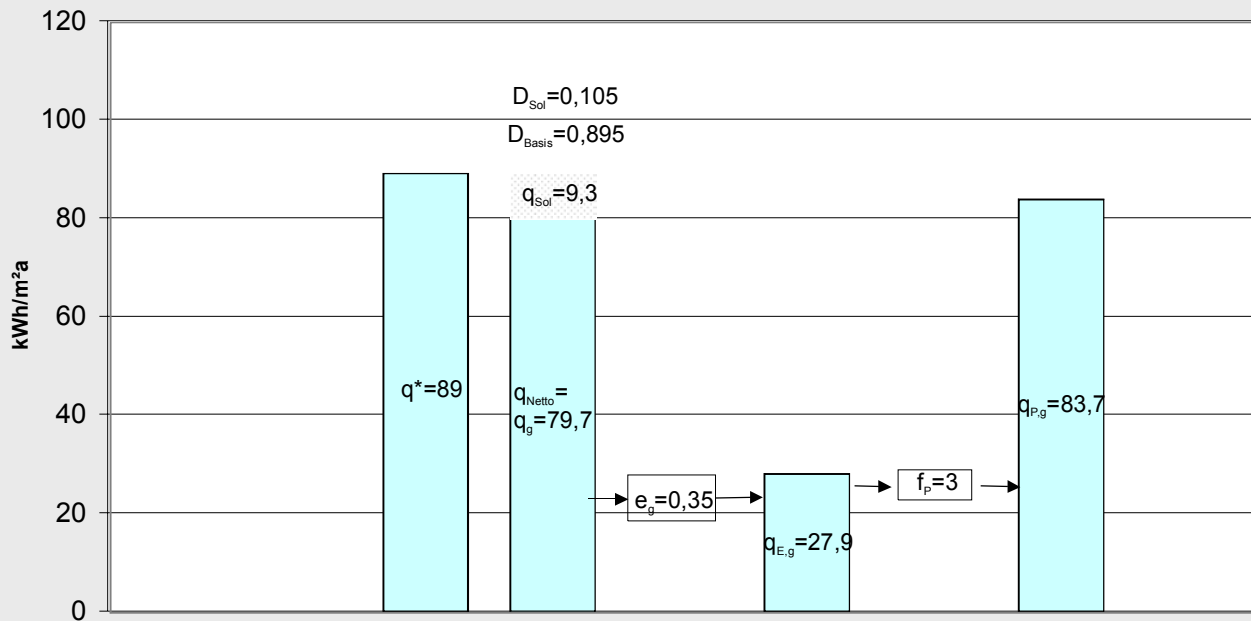


Tabelle 1 zeigt Einzelergebnisse für die vier Gebäude. Der Beitrag der Solaranlagen zur Wärmelieferung  $q_{\text{Sol}}$  lag zwischen 7 und 11 kWh/(m²a), der solare Deckungsgrad  $D_{\text{Sol}}$  dementsprechend zwischen 8 und 12 %. Der Wärmebedarf  $q^*$  der einzelnen Gebäude lag im Bereich von  $q^* = 77 \dots 106 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Von besonderem Interesse ist hier die Erzeugeraufwandszahl der Wärmepumpe, die im Mittel wie gezeigt  $e_g = 0,35$  beträgt. Dies entspricht einer Jahresarbeitszahl<sup>18</sup> von ca.  $\varepsilon = 1/e_g = 2,9$ . Die Einzelwerte der vier Gebäude klaffen weit auseinander, sie schwanken im vierjährigen Mittel in einem Bereich von  $e_g = 0,3 \dots 0,43$  ( $\varepsilon = 2,4 \dots 3,3$ ). Der schlechteste Jahreswert liegt bei  $\varepsilon = 2,1$ , der beste bei  $\varepsilon = 4,1$ . Die Gebäude 26/45 und 61/63 wurden jeweils mit Wärmepumpen gleicher Hersteller versorgt.

<sup>18</sup> Bei der Aufwands- bzw. Jahresarbeitszahl wurden der Stromverbrauch des Verdichters, also des eigentlichen Wärmepumpenaggregats, und des Solekreislaufs berücksichtigt. Dies entspricht der Definition gemäß Kapitel 2.

**Tabelle 1:** Baugebiet Königstein: Gebäude mit Erdreichwärmepumpen, Einzelwerte (Gebäudenummern aus Projektbericht übernommen)

Gebäude-Nr.	q* (mittel) kWh/m <sup>2</sup> a	Dsol (mittel)	Jahresarbeitszahl					e <sub>g</sub>	
			Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Mittelwert	Mittelwert	
26	106	0,104	2,1	2,4	3,5	3,5	2,88	0,35	
45	88	0,08	3,3	2,6		4,1	3,33	0,30	
61	77	0,13	3	3	2,9	2,8	2,93	0,34	
63	84	0,107	2,9	2,3	2,1	2,1	2,35	0,43	
<b>Mittelwert</b>	<b>89</b>	<b>0,105</b>					<b>2,87</b>	<b>0,35</b>	

Bei Gebäude Nr. 26 wurde nach 2 Jahren das System einschließlich Regelung und Verteilung nochmals überprüft und neu eingestellt. Der Erfolg dieser Maßnahme (Anstieg der Jahresarbeitszahl von 2,1...2,4 auf 3,5) unterstreicht offensichtlich die Wichtigkeit einer sorgfältigen Einregulierung des Systems. Dagegen konnte trotz Austausch der Wärmepumpe bei Gebäude 63 keine befriedigender Wert für die Jahresarbeitszahl erreicht werden. Bei Gebäude 45 fiel die Wärmepumpe im 3. Jahr aus (fehlender Messwert) und musste ersetzt werden. Anders als bei den anderen drei Gebäuden lag hier keine Fußbodenheizung, sondern eine großzügig ausgelegte Radiatorenheizung vor. Der Vergleich mit den anderen Gebäuden zeigt, dass dieser Umstand sich hier nicht nachteilig ausgewirkt hat.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das im vorliegenden Bericht formulierte Effizienzziel  $e_{P,g} \leq 1,1$  angesichts einer Erzeugungsaufwandszahl von  $e_{P,g} = 0,94$  sicher erreicht wird. Sowohl die Solaranlage als auch die Wärmepumpen tragen dazu bei. Ohne Solaranlage hätte sich bei gleicher Effizienz der Wärmepumpen  $e_{P,g} = e_g \cdot f_P = 0,35 \cdot 3 = 1,05$  ergeben – auch hier wäre das Ziel gerade erreicht worden.

### Königstein: Nahwärmesystem

Zur Nahwärmeversorgung lassen sich den Berichten die folgenden Informationen entnehmen:

Die Verluste des Nahwärmenetzes betragen im Mittel rund 21 %, d.h.  $\eta_g = 79\%$  und  $e_g = 1,27$ . Bemerkenswert ist der hohe Anstieg der Verluste innerhalb von drei Jahren (2000: ca. 70.000 kWh (14 %), 2001: ca. 115.000 kWh (22%), 2002: ca. 125.000 kWh (25%)). Ein Grund dafür wird nicht angegeben. Die Gesamteinspeisung in das Netz betrug in jedem Jahr mit geringen Abweichungen etwa 500.000 kWh. Versorgt wurden 29 Wohngebäude mit insgesamt 3270 m<sup>2</sup> Wohnfläche und eine Schule.

Die Wärmelieferung aus dem Nahwärmenetz an die Wohngebäude betrug im Mittel ca.  $q_g = 94$  kWh/(m<sup>2</sup>a) (2000: 99 kWh/(m<sup>2</sup>a), 2001: 93 kWh/(m<sup>2</sup>a), 2002: 90 kWh/(m<sup>2</sup>a)).

In fünf Fällen liegen Messwerte zu den thermischen Solaranlagen vor, die auch auf jedem nahwärmeversorgten Gebäude installiert waren. Die solare Wärmelieferung schwankte zwischen 6 und 12 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr, im Durchschnitt waren es  $q_{Sol} = 9$  kWh/(m<sup>2</sup>a). Damit ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf der Gebäude von  $q^* = q_g + q_{Sol} = 94 + 9 = 103$  kWh/(m<sup>2</sup>a) und ein solarer Deckungsgrad von knapp 9 %.

In der Heizzentrale waren zwei BHKW-Module mit einem elektrischen Wirkungsgrad von  $\eta_{el} = 24,3$  % (netto, d.h. nach Abzug des Eigenverbrauchs) und einem thermischen Wirkungsgrad von  $\eta_{th} =$

62,7 % installiert<sup>19</sup>. Gemäß den Bewertungsverfahren für KWK-Anlagen ergeben sich damit folgende Kennwerte für den bewerteten Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeugung und die Erzeugeraufwandszahl:

- Gesamteffizienzmethode:  $\eta_g = 1,33$  ;  $e_g = 0,75$
- Stromgutschriftmethode:  $\eta_g = 1,86$  ;  $e_g = 0,54$

Messwerte über den tatsächlichen Brennstoffverbrauch des BHKW liegen nicht vor, die Aufwandszahl wurde daher aus diesen Auslegungsdaten ermittelt.

Die Volllaststundenzahl der BHKW ließ sich aus in den Projektberichten enthaltenen Messkurven über die elektrische Stromerzeugung annähernd bestimmen. Aufgrund von fehlenden Messwerten beschränken sich die Auswertungen auf die beiden Jahre von der 20. Kalenderwoche 2000 bis zur 19. Kalenderwoche 2002. Im Mittel ergaben sich ca. 5570 jährliche Volllaststunden<sup>20</sup>. Auf Basis der thermischen Leistung von 12,3 kW entspricht dies einer Wärmeproduktion von 68.500 kWh (Direkte Messwerte zur Wärmeproduktion lagen nicht vor). Angesichts einer Jahres-Wärmeproduktion von insgesamt 500.000 kWh ist dies ein Deckungsanteil von knapp 14 %. Die BHKW liefern also nur einen geringen Anteil des Wärmebedarfs. Im Sinne einer einheitlichen Bezeichnung werden sie in der Darstellung unten dennoch als Grund-Heizsystem (und die ergänzenden Heizkessel als Spitzenlast-Wärmeerzeuger) benannt.

Über die Jahresnutzungsgrade der Kessel, die die Hauptlast der Wärmeerzeugung tragen, sind leider keine Messwerte bekannt. In der Darstellung wurde ein typischer Wert (Erzeugeraufwandszahl  $e_{g,Spitze} = 1,11$ ) angenommen.

In Abbildung 8 ist das Ergebnis dargestellt. Der Primärenergiebedarf und die Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung liegen bei  $q_{P,g} = 138,7$  kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw.  $e_{P,g} = 1,35$  und weisen somit vergleichsweise ungünstige Werte auf. Dies ist auf zwei Gründe zurückzuführen:

Der Deckungsgrad der BHKW an der Wärmeerzeugung ist so gering, dass ihre hohe Effizienz praktisch nicht ins Gewicht fällt<sup>21</sup>.

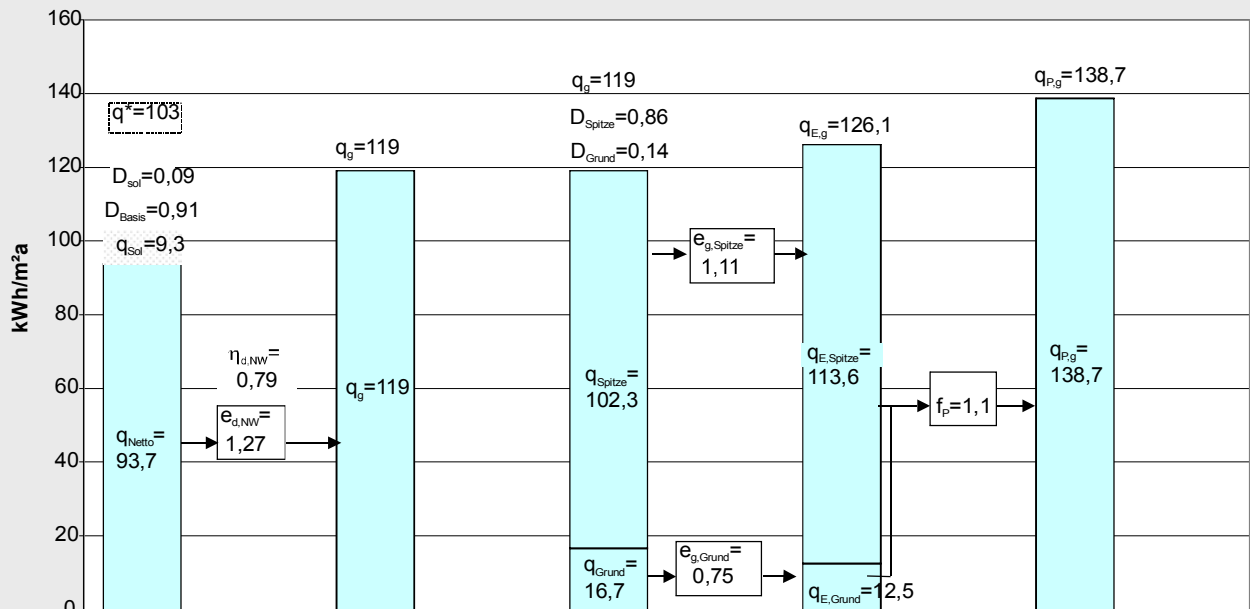
Die hohen prozentualen Wärmeverluste des Nahwärmenetzes sind von erheblicher Bedeutung für die Anlageneffizienz.

<sup>19</sup> Sachs HKA G 5.0 mit Brennstoffleistung: 19,6 kW, thermischer Leistung 12,3 kW und elektrischer Leistung 5 kW. Die gemessene elektrische Netto-Leistung (unter Berücksichtigung des Eigenverbrauchs betrug 4,76 kW<sub>el</sub>). Es ergeben sich  $\eta_{el} = 4,76/19,6 = 0,243$  und  $\eta_{th} = 12,3/19,6 = 0,627$ .

<sup>20</sup> Die Werte unterschieden sich stark: 1. Jahr : elektr. Stromerzeugung ca. 63.000 kWh (6620 Volllaststunden), 2. Jahr: 43000 kWh (4520 Volllaststunden)

<sup>21</sup> Dadurch ergibt sich hier auch kein wesentlicher Unterschied, wenn statt der Gesamteffizienz- die Stromgutschriftmethode angewendet wird. Der Primärenergiebedarf und die Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung betragen dann  $q_{P,g} = 134,9$  kWh/(m<sup>2</sup>a) und  $e_{P,g} = 134,9$  kWh/(m<sup>2</sup>a)/103 kWh/(m<sup>2</sup>a) = 1,31 .

**Abbildung 8:** Baugebiet Königstein, Wohngebäude mit Nahwärmeversorgung, BHKW-Bewertung mit Gesamteffizienzmethode, Aufwandszahl der Kessel ( $e_{g,Spitze} = 1,11$ ): Annahme für typischen Kessel, Aufwandszahl BHKW berechnet aus Auslegungsdaten des BHKW. Die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung beträgt:  $e_{P,g} = 138,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 103 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,35$ .



### 3.2.2 Baugebiet Elz



Foto: Protec, Elz

Im Neubaugebiet Elz-Erbachtal werden 38 freistehende Einfamilienhäuser mit  $5168 \text{ m}^2$  Wohnfläche über ein Nahwärmenetz mit BHKW und Spitzenkessel versorgt. Der Gesamtwärmebedarf der Gebäude liegt bei rund  $91 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , die Wärmeeinspeisung ins Nahwärmenetz bei etwa  $124 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Die Netzverluste betragen also  $33 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bzw.  $27 \%$  ( $\eta_g = 0,73$ ,  $e_g = 1,37$ )

Über das BHKW liegt die Angabe vor, dass eine geringfügig leistungsreduzierte Variante des Typs ASV 18/43 eingesetzt wurde ( $13 \text{ kW}_{el} / 32 \text{ kW}_{th}$ ). Laut technischem Datenblatt weist dieser Typ bei  $14 \text{ kW}_{el}$  folgende Wirkungsgrade auf:  $\eta_{el} = 28\%$   $\eta_{th} = 65 \%$ . Es wird angenommen, dass diese Werte



auch bei der leistungsreduzierten Variante erreicht werden, Messwerte aus dem Projekt liegen nicht vor. Für die Erzeugeraufwandszahl des BHKW errechnen sich damit die folgenden Werte:

- Gesamteffizienzmethode:  $e_{g,Grund} = 0,65$
- Stromgutschriftmethode:  $e_{g,Grund} = 0,36$

Die Wärmeproduktion des BHKW und der daraus folgende Deckungsgrad an der Wärmeproduktion in der Heizzentrale ( $D_{Grund,NW}$ ) lassen sich wie im Gebiet Königstein auf Basis der gemessenen Zahl der Vollbenutzungstunden (6.800 Stunden pro Jahr auf Basis der produzierten elektrischen Energie) und der thermischen Leistung des BHKW abschätzen. Der Deckungsgrad des BHKW ergibt sich damit zu:  $D_{Grund,NW} = 33 \%$ .

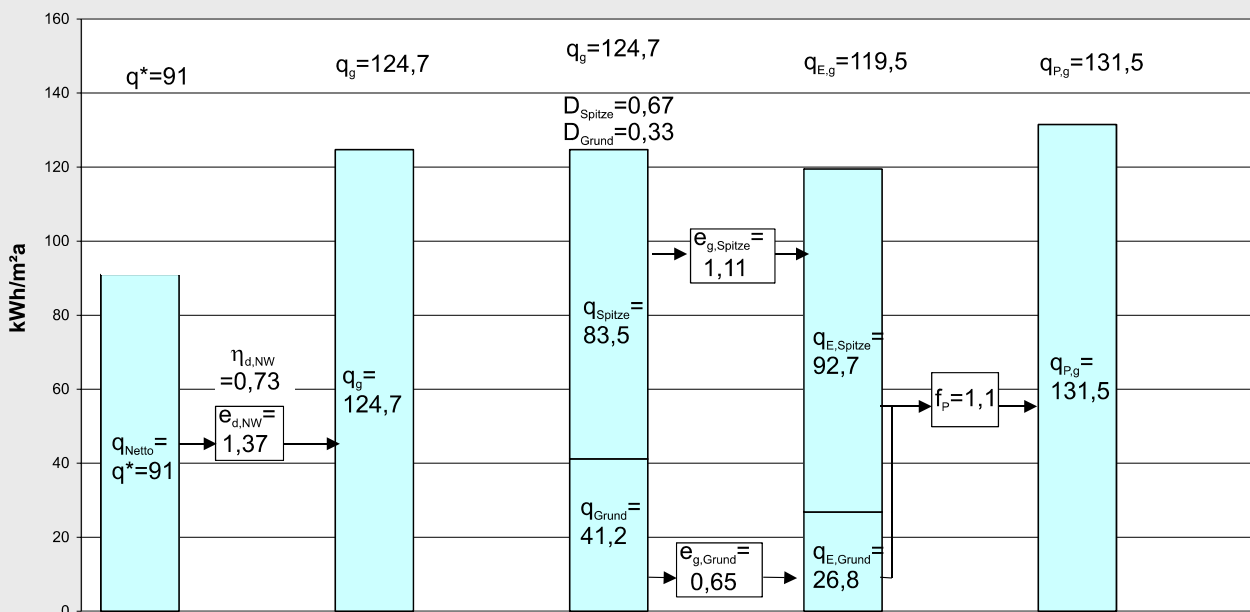
Wie in Königstein liegen über den Heizkesselwirkungsgrad keine Messwerte vor, er wird daher wiederum zu 90 % ( $e_{g,Spitze} = 1,11$ ) abgeschätzt.

Abbildung 9 zeigt die Energiebilanz des Gebiets. Der Primärenergiebedarf der Wärmeerzeugung beträgt  $q_{P,g} = 131,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , wenn man zur KWK-Bewertung die Gesamteffizienzmethode verwendet. Für die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung ergibt sich ein Wert von  $e_{P,g} = 1,45$ .

Setzt man stattdessen die Stromgutschriftmethode an, so erhält man  $q_{P,g} = 118,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und  $e_{P,g} = 1,3$ .

Für das Baugebiet Elz gilt dieselbe Schlussfolgerung wie im Gebiet Königstein: Aufgrund der hohen anteiligen Wärmeverluste des Nahwärmesystems und des geringen Deckungsanteils des BHKW lassen sich, unabhängig von der Bewertungsmethode für die Kraft-Wärme-Kopplung, keine befriedigenden Werte für die Gesamteffizienz der Wärmeversorgung erreichen.

**Abbildung 9** Baugebiet Elz, BHKW-Bewertung mit Gesamteffizienzmethode, Aufwandszahl Kessel ( $e_{q,Spitze} = 1,11$ ): Annahme für typischen Kessel, Aufwandszahl BHKW berechnet aus Auslegungsdaten des BHKW. Die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung beträgt:  $e_{P,g} = 131,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 91 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,45$ .



### 3.2.3 Baugebiet Offenbach



Fotos: Gertec

In dem Wohnprojekt Mainzer Ring in Offenbach wurden acht Reihenhäuser errichtet. Die Wärmeerzeugung erfolgt über Abluft/Wasser-Wärmepumpen, die der Abluft des Gebäudes die Wärme entziehen und einer konventionellen Heizung (Heizkörper, keine Fußbodenheizung) sowie der Warmwasserbereitung zuführen. Die Spitzenlast wird über eine elektrische Zusatzheizung abgedeckt.

Im Rahmen des Messprogramms wurden über ca. 3 Jahre Daten für vier Gebäude ermittelt.

Der gemessene Gesamtwärmebedarf der Heizung  $q_{H}^{*}$  liegt zwischen 41 und 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Mittelwert:  $q_{H}^{*} = 46$  kWh/(m<sup>2</sup>a)). Der Gesamtwärmebedarf der Warmwasserbereitung wurde nicht gemessen. Hier wurden pauschal  $q_{W}^{*} = 24$  kWh/(m<sup>2</sup>a) angesetzt. Der Gesamtwärmebedarf  $q^{*}$  errechnet sich damit zu 70 kWh/(m<sup>2</sup>a)<sup>22</sup>.

Zur Anlageneffizienz werden zwei Werte geliefert: Die Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems (Wärmepumpe inklusive elektrischer Zusatzheizung) und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe allein. Die Werte sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Aus den Angaben lässt sich der Deckungsgrad der Wärmepumpe  $D_{\text{Grund}}=D_{\text{WP}}$  ermitteln (angenommene Effizienz der elektr. Zusatzheizung:  $e_{g,H}=1,0$ ). Im Durchschnitt ergaben sich  $e_{g,\text{Grund}}=0,29$  und  $D_{\text{Grund}}=0,69$ .

---

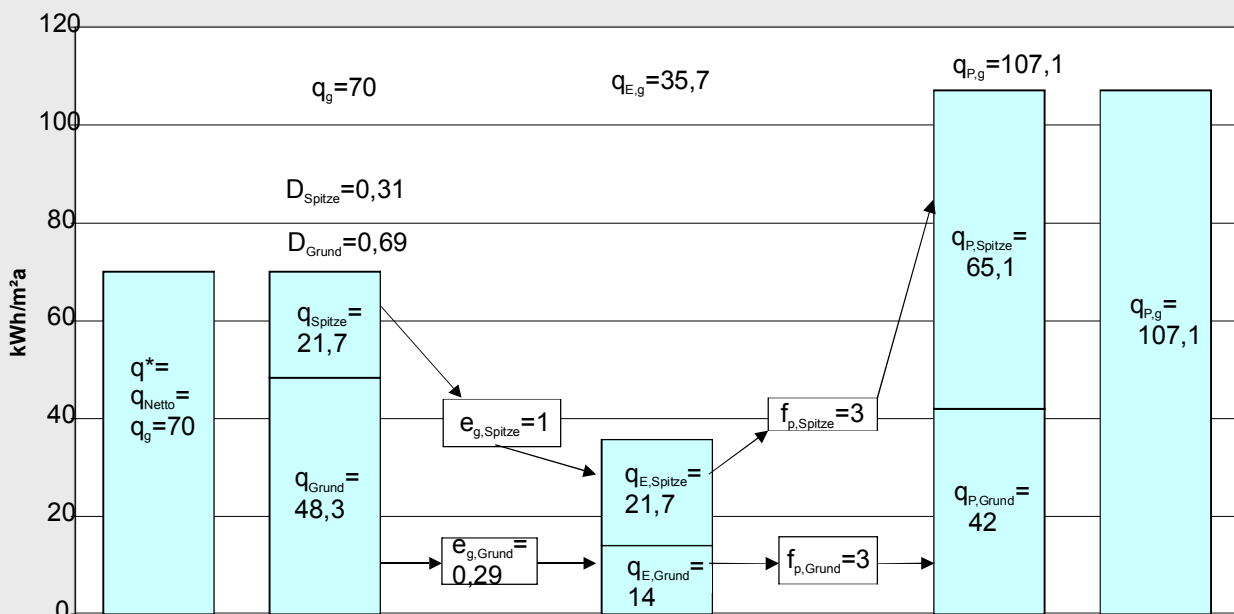
<sup>22</sup> Diese Umrechnung erfolgt entsprechend den Angaben im Projektbericht [GERTEC 2003]. Dort wird an anderer Stelle eine Verbrauchsübersicht geliefert, die mit diesen Werten nicht im Einklang steht (Mittelwert:  $q_{H}^{*} = 63$  kWh/(m<sup>2</sup>a)). Dieser Wert ist hier nicht entscheidend, da die Angaben aufgrund des geschätzten Warmwasserbedarfs ohnehin unsicher sind und hier die Effizienz des Wärmeerzeugungssystems im Mittelpunkt des Interesses steht, für die Messwerte angegeben wurden.

**Tabelle 2:** Baugebiet Offenbach, Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems (Abluftwärmepumpe + Zusatzheizung) sowie der Wärmepumpe alleine und daraus ermittelter Deckungsgrad der Wärmepumpe. Messwerte für 4 Jahre (1999 bis 2003) und Mittelwerte.

	99/00	00/01	01/02	02/03	Mittelwert		
Jahresarbeitszahl der Gesamtanlage							
Haus 4	2,3	2,4	2,2	1,9	2,2		
Haus 6	2,1	2,1	2,1	2,0	2,1		
Haus 7	2,2	2,2	2,1	2,0	2,1		
Haus 8	1,9	1,8	1,4	1,1	1,6		
Mittelwert					<b>2,0</b>		
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ( $\eta_{g,Grund}$ )							
						$e_{g,Grund}=1/\eta_{g,Grund}$	$D_{Grund}$
Haus 4	4,1	4,2	4,0	3,6	4,0	0,25	0,73
Haus 6		3,9	3,8	3,6	3,8	0,27	0,71
Haus 7	3,6	3,4	3,2	3,2	3,4	0,30	0,75
Haus 8	3,3	3,0	2,2	2,5	2,8	0,36	0,56
Mittelwert					<b>3,5</b>	<b>0,29</b>	<b>0,69</b>

Die Effizienz der Wärmeerzeugung ist trotz der guten Effizienz der Wärmepumpe nicht befriedigend. Offensichtlich „verdirbt“ hier die elektrische Zusatzheizung die Energiebilanz. Obwohl ihr Deckungsgrad mit 31 % scheinbar niedrig ist, entfallen auf sie rund 60 % des End- und Primärenergiebedarfs.

**Abbildung 10:** Baugebiet Offenbach, Abluft-Wasserpumpen mit elektrischer Zusatzheizung als Spitzenlastwärmeerzeuger, Mittelwerte über 4 Gebäude (Aufwandszahlen der Wärmepumpen und Wärmebedarf der Heizung gemessen, bei Trinkwarmwasser pauschal 24 kWh/(m²a) angesetzt). Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung:  $e_{p,g} = 107,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,53$ .



### 3.3 Modellprojekt „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen



Foto: Maingas

In der Gemeinde Niedernhausen im Taunus wurde 1991/92 erstmals in Deutschland eine Kombination von Niedrigenergiehaus-Standard und Nahwärmenetz mit BHKW verwirklicht [Menje/Loga 1992] [Loga et al. 1994]. In der Siedlung Distelweg wurden 41 Doppel- und Reihenhäuser errichtet, die über ein Nahwärmesystem versorgt werden. In der Heizzentrale wurde neben dem BHKW ein Brennwärtekessel als ergänzender Wärmeerzeuger installiert. Im Auftrag des hessischen Umweltministeriums wurde von 1993 bis 1995 durch das IWU ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt [Loga et al. 1997].

Es wurden unter anderem der Wärmebezug der Gebäude aus dem Nahwärmenetz, die Wärme- und Stromproduktion des 1994 installierten BHKW, die Wärmeerzeugung des Kessels sowie die Brennstoffverbrauchswerte von BHKW und Kessel für die Jahre 1993-1995 gemessen. Die folgenden Angaben basieren auf den Messwerten nach Einbau des BHKW Mitte 1994, insbesondere auf den Jahreswerten 1995. Aus den Messdaten ließen sich alle relevanten Kenngrößen der Wärmeerzeugung ermitteln.

Der Verteilungsnutzungsgrad des Nahwärmsystems belief sich im Mittel auf  $\eta_{NW,d} = 0,81$  ( $e_{NW,d} = 1,23$ ). Der Jahresnutzungsgrad des Brennwärtekessels betrug 95% ( $e_{g,Spitze} = 1,05$ ). Die gemessenen Nutzungsgrade des BHKW zur Wärme- und Stromerzeugung betragen  $\eta_{el} = 25\%$  und  $\eta_{th} = 66,4\%$ . Damit errechnen sich folgende Werte für die Aufwandszahl der Wärmeerzeugung der KWK-Anlage:

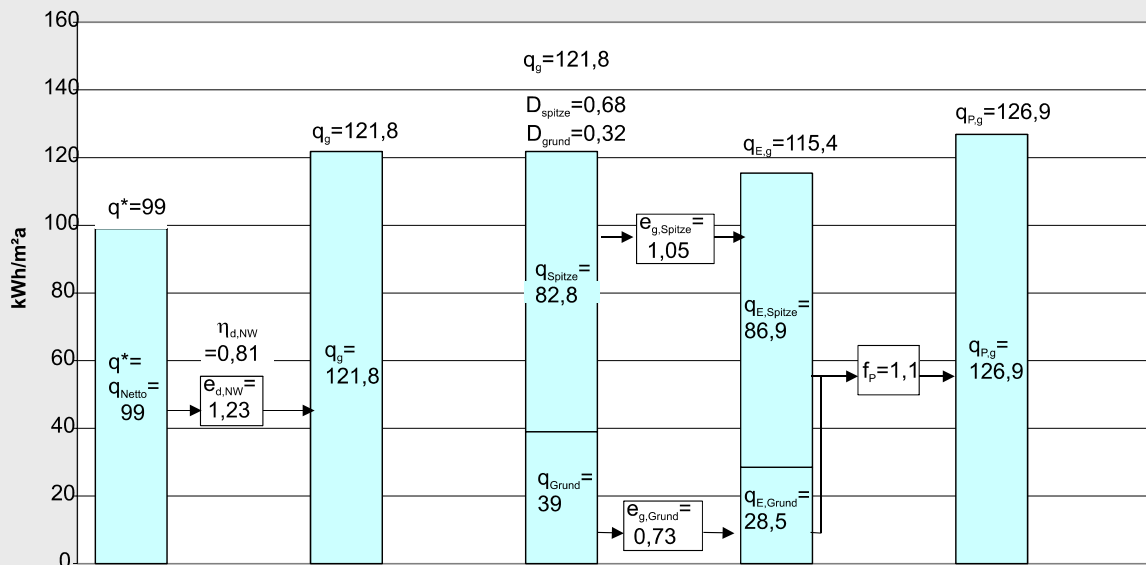
- Gesamteffizienzmethode:  $e_{g,Grund} = 0,73$
- Stromgutschriftmethode:  $e_{g,Grund} = 0,48$

Der Deckungsgrad des BHKW an der Wärmeproduktion in der Heizzentrale betrug 32 %.

Auf drei von 41 Gebäuden war zusätzlich eine Solaranlage installiert. Der durchschnittliche Gesamtwärmebedarf der Gebäude ohne Solaranlage wurde zu  $q^* = q_{\text{Netto}} = 99 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ermittelt. Die drei Gebäude mit Solaranlage wiesen im Mittel folgende Kennwerte auf:  $q^* = 89 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ,  $q_{\text{Sol}} = 6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ( $D_{\text{Sol}} = 6,7 \%$ ) und  $q_{\text{Netto}} = q^* - q_{\text{Sol}} = 82 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen die Wärmeerzeugung in Niedernhausen im Überblick.

**Abbildung 11:** Niedrigenergiesiedlung Distelweg in Niedernhausen, Nahwärmeversorgung mit BHKW und Kessel, Gebäude **ohne Solaranlage**, Bewertung des BHKW mit Gesamteffizienzmethode. Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung:  $e_{P,g} = 126,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 99 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,28$



**Abbildung 12:** Niedrigenergiesiedlung Distelweg in Niedernhausen, Nahwärmeversorgung mit BHKW und Kessel, Gebäude **mit Solaranlage**, Bewertung des BHKW mit Gesamteffizienzmethode. Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung:  $e_{P,g} = 106,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 89 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,20$

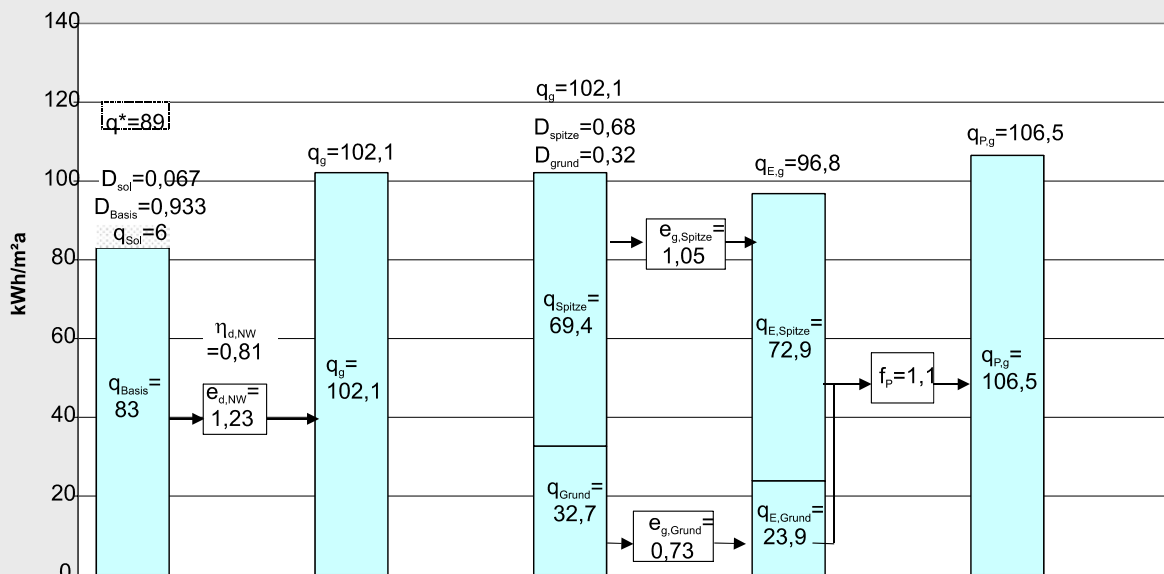


Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Ergebnisse im Überblick.

Die Effizienzwerte  $e_{P,g}$  der Anlagentechnik sind, wie in den in Kapitel 3.2 genannten Gebieten mit Nahwärmeversorgung, nicht befriedigend. Auch bei Anwendung der Gutschriftmethode wird das in Kapitel 2.4 formulierte Minimalziel  $e_{P,g} \leq 1,1$  nur bei den drei Gebäuden mit Solaranlage gerade erreicht.

Die Ursache für den niedrigeren Primärenergieverbrauch  $q_{P,g}$  der Gebäude mit Solaranlage liegt sowohl im geringeren Gesamtwärmebedarf als auch in der besseren Aufwandszahl  $e_{P,g}$ . Die Solaranlage beeinflusst dabei nur den Kennwert  $e_{P,g}$ , während  $q^*$  durch den Dämmstandard, das Nutzerverhalten und die gebäudeinternen Verteilungsverluste bestimmt wird und hier sozusagen „zufällig“ niedriger ist als bei den Gebäuden mit Solaranlage.

**Tabelle 3:** Niedrigenergiesiedlung Niedernhausen Distelweg, Überblick über die wichtigsten Kennwerte

	$q_w$	$e_{P,g}$	$q_{P,g}$
KWK-Bewertung nach Gesamteffizienzmethode			
38 Gebäude ohne Solaranl.	99 kWh/m <sup>2</sup> a	1,28	126,9
3 Gebäude mit Solaranl.	89 kWh/m <sup>2</sup> a	1,20	106,9
KWK-Bewertung nach Stromgutschriftmethode			
38 Gebäude ohne Solaranl.	99 kWh/m <sup>2</sup> a	1,17	116,2
3 Gebäude mit Solaranl.	89 kWh/m <sup>2</sup> a	1,10	97,5

### 3.4 Modellprojekt „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden



Die „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden-Dotzheim umfasst 24 Niedrigenergiehäuser und 22 Passivhäuser. Im Rahmen eines Messprogramms, an dem die Passivhäuser und 8 Niedrigenergiehäuser teilnahmen, wurde das Projekt durch das IWU ausführlich wissenschaftlich begleitet [Ebel et al. 2003].

Die Siedlung wird über ein Nahwärmesystem mit BHKW und Heizkessel versorgt, an das außer der Siedlung noch weitere Gebäude angeschlossen sind. Der Deckungsgrad des BHKW ( $D_{\text{Grund}} = 30$  von 101

0,2) und die Höhe der Verteilverluste der Rohrleitungen bis zur Siedlung (5%) wurden von den Wiesbadener Stadtwerken abgefragt.

Die Wärmeeinspeisung in zwei Gebäudereihen (eine Reihe mit 15 Passivhäusern, die andere mit 7 Passiv- und 8 Niedrigenergiehäusern) wurde gemessen, ebenso die Wärmeabgabe an die Einzelgebäude. Die Differenz ergibt die Verluste der Nahwärmeverteilung innerhalb der Siedlung. In der Auswertung des Projekts wurde berücksichtigt, dass die Verteilleitungen (mit doppelter Dämmstoffstärke gegenüber damaliger Heizungsanlagen-Verordnung versehen) innerhalb der Reihenhausebenen verlaufen, so dass die Wärmeverluste teilweise der Gebäudeheizung zu Gute kommen. Der Anteil der nutzbaren Wärme und der verbleibenden Verluste konnte nicht gemessen werden, sondern wurde rechnerisch abgeschätzt. Der Jahresnutzungsgrad der Wärmeverteilung in der Siedlung ergab sich zu 59 % (Basis: Gesamtverluste) bzw. 73 % (Basis: verbleibende Verluste nach Abzug der nutzbaren Gewinne). Neben den Rohrleitungen sind dabei auch die Verluste in dem Heizhaus der jeweiligen Häuserreihe mit Wärmeübergabestation und Pufferspeicher enthalten. Berücksichtigt man die 5 % vorgelagerten Verluste (s.o.), so ergibt sich der Gesamtnutzungsgrad der Nahwärmeverteilung zu 56 % (Gesamtverluste) bzw. 69 % (verbleibende Verluste). Im folgenden Schema werden die verbleibenden Verluste berücksichtigt ( $\eta_{d,NW} = 0,69$ ,  $e_{d,NW} = 1,45$ ).

Über das BHKW sind die Auslegungsdaten bekannt ( $\eta_{el} = 0,37$ ,  $\eta_{th} = 0,485$ ). Die primärenergetische Bewertung wird hier gemäß den Gleichungen in Kapitel 2.3 gegenüber [Ebel et al. 2003] neu durchgeführt, danach ergibt sich:

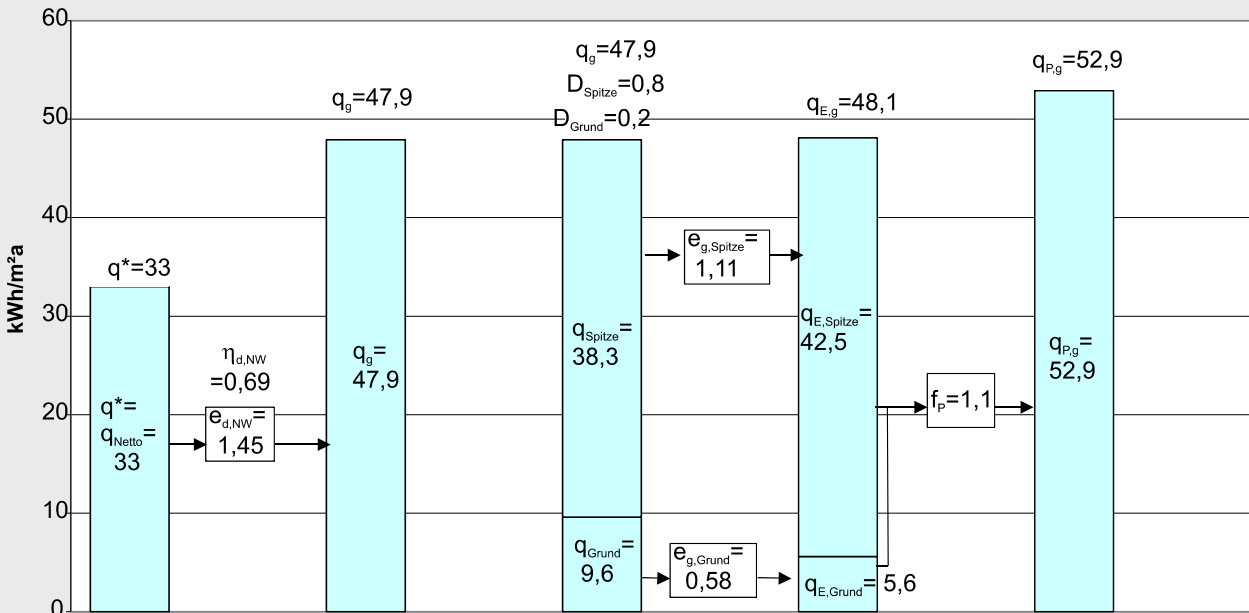
- Gesamteffizienzmethode:  $e_{g,Grund} = 0,58$
- Stromgutschriftmethode:  $e_{g,Grund} = - 0,02$

Über den Wirkungsgrad der in der Nahwärme-Heizzentrale eingesetzten Kessel ist nichts bekannt. Es wird wiederum die pauschale Annahme  $e_{g,Spitze} = 1,11$  getroffen.

Die gemessenen Wärmeverbrauchswerte der einzelnen Gebäude (für Heizung und Warmwasser) betragen im Durchschnitt der Passivhäuser 18 kWh/(m<sup>2</sup>a), bei den Niedrigenergiehäusern sind es 28,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Addiert man dazu den Mittelwert der nutzbaren Wärmeverluste von 4,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) (der ja in  $\eta_{NW,d}$  bzw.  $e_{NW,d}$  nicht bilanziert wird), so erhält man 22,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 33 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die geringen Werte der Niedrigenergiehäuser zeigen, dass diese einen besonders hohen energetischen Qualitätsstandard erreichen. Tatsächlich sind sie bis auf die Fenster baugleich mit den Passivhäusern, weisen aber keine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, sondern eine Abluftanlage auf.

Abbildung 13 zeigt die Energiebilanz für die Niedrigenergiehäuser (BHKW-Bewertung mit Gesamteffizienzmethode). Tabelle 4 gibt einen Überblick über Niedrigenergie- und Passivhäuser nach beiden Bewertungsmethoden.

**Abbildung 13** Baugebiet Wiesbaden Lummerlund, Energiebilanz der Niedrigenergiehäuser, Nahwärmeversorgung mit BHKW und Kessel, Bewertung des BHKW mit Gesamteffizienzmethode, Aufwandszahl des Kessels ( $e_{g,Spitze}$ ) pauschal angesetzt. Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung:  $e_{P,g} = 52,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 33 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,60$



**Tabelle 4** Baugebiet Wiesbaden Lummerlund, Übersicht über die Ergebnisse für Niedrigenergiehäuser (NEH) und Passivhäuser (PH), abhängig von der Bewertungsmethode der Kraft-Wärme-Kopplung.

	$q^*$ kWh/m <sup>2</sup> a	Gesamteffizienzmethode		Stromgutschriftmethode	
		$q_{P,g}$ kWh/m <sup>2</sup> a	$e_{P,g}$	$q_{P,g}$ kWh/m <sup>2</sup> a	$e_{P,g}$
NEH	33	52,9	1,60	46,5	1,41
PH	22,5	36,1	1,60	31,8	1,41

Wie auch in anderen Projekten mit Nahwärmeversorgung erreicht die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung vor allem aufgrund der hohen prozentualen Verteilverluste und des geringen KWK-Anteils keinen befriedigenden Wert<sup>23</sup>. Aufgrund des äußerst niedrigen Wärmebedarfs der Gebäude ist der Primärenergieverbrauch der Wärmeerzeugung aber trotzdem sehr gering.

<sup>23</sup> Hier sollte man allerdings anfügen, dass bei so niedrigen Wärmebedarfswerten auch bei dezentralen Heizkesseln mit einer sinkenden Effizienz zu rechnen ist. Es wäre also die Frage, ob man selbst einem sehr guten und optimal einregulierten Brennwertkessel das in Kapitel 2.4 formulierte Ziel  $e_{P,g} = 1,1$  realistischerweise erreichen könnte.



### 3.5 Projekt “Sustainable Solar Housing” der Internationalen Energieagentur IEA



Fotos: IEA-Report

Im Rahmen eines Vorhabens der Internationalen Energieagentur (International Energy Agency, IEA-Task 28/38) wurden 50 Wohngebäude mit sehr hoher Wärmedämmung und dementsprechend anteilig hoher (bzw. auch architektonisch besonders beachteter) passiver Solarenergienutzung untersucht [Russ et al. 2005]. Die Gebäude wurden zwischen 1993 und 2003 errichtet, es handelt sich nicht um experimentelle Gebäude, sondern um zu vertretbaren Kosten errichtete Wohnhäuser. Es wurde ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt, bei dem außer dem Gebäude auch die Wärmeversorgung berücksichtigt wurde. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme lieferte eine ausführliche Dokumentation der gemessenen Energiebilanz der Heizung und Warmwasserbereitung von 26 Gebäuden. In jedem Fall waren effiziente Technologien verwendet worden, wie sie im vorliegenden Bericht von Interesse sind. Die detaillierten Energieflussbilder erlaubten in 18 Fällen eine Übertragung auf die im vorliegenden Bericht verwendete Systematik, die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt. Nicht immer war eine vollständige Anwendung der Systematik möglich, verbleibende Lücken sind in der Tabelle punktiert (.....), einige Gebäude mussten in der Übersicht weggelassen werden. Von vornherein nicht mitbetrachtet wurden die 3 japanischen Gebäude und die beiden Niedrigenergiehäuser Durbach, die weiter unten im Abschnitt 3.8 behandelt werden.

**Tabelle 5:** Energiebilanzen der Wärmeversorgung im IEA-Projekt „Sustainable Solar Housing“

Nr.	Standort	Grund-WE	Spitzen-WE	Solaranlage	Lüftung	$q_H^*$	$q_W^*$	$q^*$	$q_{Sol}$	$D_{Sol}$	$q_{Netto}$	$D_{Grund}$	$e_{g,Grund}$
						kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a		kWh/m <sup>2</sup> a		
		<b>Heizkessel</b>											
1	Gelsenkirchen, D	BWK		W	Abluft	31,0	18,0	49,0	5,9	12%	43,1	100%	<b>1,08</b>
2	Groenlo, NL	BWK (H)	Abluft-WP (W)		Abluft	51,9	12,9	64,8			64,8	82%	<b>1,03</b>
3	Hilmicke, D	BWK		W+H	LWRG m.E.	24,5	11,3	35,8	9,9	28%	25,9	100%	<b>1,06</b>
4	Celle, D (Shaus)	BWK			LWRG o.E.	32,6	23,4	56,0			56,0	100%	<b>1,22</b>
5	Hohkeppel, D	Fl.gas-K. (H)	elektr. (W)	W+H	LWRG m.E.	9,8	20,5	30,3	5,1	17%	25,2	84%	<b>1,11</b>
		<b>Fortluft-Wärmepumpen</b>											
6	Dornbirn, A	Fortluft-WP		W	LWRG o.E.	34,3	12,6	46,9			46,9	....	....
7	Neuenburg, D	Fortluft-WP	elektr.	W	LWRG m.E.	2,9	13,8	16,7	6,8	41%	9,9	....	....
8	Stuttgart, D	Fortluft-WP	elektr.		LWRG m.E.	11,1	14,7	25,8			25,8	98%	0,26
9	Ulm, D	Fortluft-WP	elektr.	W+H	LWRG o.E.	16,6	9,6	26,2	4,4	17%	21,8	64%	0,5
10	Klagenfurt, A	Fortluft-WP	elektr.	W	LWRG m.E.	20,7	12,9	33,6	3,0	9%	30,6	68%	....
11	Büchenau, D	Fortluft-WP	elektr.	W	LWRG m.E.	20,8	17,7	38,5	12,7	33%	25,8	91%	0,3
12	Celle, D (Svilla)	Fortluft-WP	elektr.		LWRG o.E.	31,2	5,9	37,1			37,1	....	....
		<b>Fernwärme</b>											
13	Freiburg, D (ISIS)	Fernwärme	Fortluft-WP+el.	W+H	LWRG o.E.	14,9	21,9	36,8	5,1	14%	31,7	92%	....
14	Kassel, D	Fernwärme			LWRG o.E.	17,1	28,0	45,1			45,1	100%	....
15	Hannover, D	Fernwärme		W	LWRG o.E.	15,9	22,0	37,9	....	....	....	100%	....
16	Rottweil, D (NEH)	Fernwärme				24,8	16,9	41,7			41,7	100%	....
17	Rottweil, D (Ultra-NEH)	Fernwärme			LWRG m.E.	32,2	23,3	55,5			55,5	100%	....
18	Grundelfingen, D	Fernwärme	Abluft-WP	W+H	Abluft	21,0	23,1	44,1	5,4	12%	38,7	88%	....

Standort	$D_{Spitze}$	$e_{g,Spitze}$	$q_{E,HE}$	$e_{p,g}$	$q_{p,g}$	$q_p$
			kWh/m <sup>2</sup> a		kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a
Gelsenkirchen, D			1,6	<b>1,04</b>	51,0	55,8
Groenlo, NL	18%	....	(7,4 inkl. WP)	....	....	80,8
Hilmicke, D			2,5	<b>0,77</b>	27,6	35,1
Celle, D (Shaus)			5,9	<b>1,34</b>	75,0	92,7
Hohkeppel, D	16%	1,00	....	<b>1,26</b>	38,2	....
Dornbirn, A	....	....	....	....	....	....
Neuenburg, D			5,2	<b>0,57</b>	9,5	25,1
Stuttgart, D	2%	1,00	3,6	<b>0,81</b>	20,9	31,7
Ulm, D	36%	1,00	6,0	<b>1,69</b>	44,3	62,3
Klagenfurt, A	32%	1,00	....	....	....	50,1
Büchenau, D	9%	1,00	3,7	<b>0,74</b>	28,5	39,6
Celle, D (Svilla)			4,6	<b>0,81</b>	30,1	43,9
Freiburg, D (ISIS)	8% (7%WP 1%el)	0,48	6,1	....	....	....
Kassel, D			....	....	....	....
Hannover, D			2,2	....	....	....
Rottweil, D (NEH)			1,2	....	....	....
Rottweil, D (Ultra-NEH)			6,5	....	....	....
Grundelfingen, D	12%	0,60	3,3	....	....	....

Abkürzungen:

BWK: Brennkessel, Fl.gas-K.: Flüssiggas-Kessel, WP: Wärmepumpe, H: Heizung, W: Warmwasser,

bei Solaranlagen: W: solare Brauchwassererwärmung, W+H: solare Brauchwassererwärmung mit Heizungsunterstützung

bei Lüftungsanlagen: Abluft: Abluftanlage, LWRG m.E./o.E.: Kontrollierte Lüftung mit Lüftungswärmerückgewinnung mit/ohne Erdwärmetauscher

Tabelle 5 zeigt anhand der Werte für  $q_H^*$ , dass zumeist sehr gute Niedrigenergiehäuser, häufig auch Passivhäuser untersucht wurden. Bei der Effizienz der Wärmeversorgung gibt es eine große Bandbreite: Die Werte für die primärenergetische Aufwandszahl der Wärmeerzeugung  $e_{p,g}$  schwanken zwischen 0,57 und 1,69, sie liegen damit teilweise deutlich über dem im vorliegenden Projekt formulierten Zielwert von 1,1, teilweise aber auch deutlich darunter. Dementsprechend, aber auch vom Wärmeverbrauch abhängig, liegen die Werte für den Primärenergiebedarf zwischen 25 und 93 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Es ist darauf hinzuweisen, dass zur Erstellung des tabellarischen Schemas gegenüber der Originalquelle einige zusätzliche bzw. abweichende Definitionen vorgenommen wurden. So wurde, wie auch bei den anderen hier dokumentierten Modellprojekten, der Primärenergiefaktor für elektrische Energie in Anlehnung an die EnEV-Berechnung zu  $f_p=3,0$  festgelegt, während im IEA-Projekt in Anlehnung an europäische Mittelwerte  $f_p=2,35$  angesetzt wurde. Im Fall der Fernwärmeversorgung wurde auf eine Effizienzbetrachtung verzichtet, da in der IEA-Studie keine individuelle Analyse der Vor-Ort-Situation stattfand, sondern in der Regel ein ebenfalls auf europäischen Berechnungsansätzen basierender, verallgemeinernder Primärenergiefaktor der Fernwärmeversorgung von 0,77 verwendet wurde. Bei kombinierten Solar-/Warmwasserspeichern wurde folgende Zuordnung ge-

wählt: Von den Speicherverlusten wurden  $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  subtrahiert und als Speicherverluste der Brauchwarmwasserbereitung verbucht. Die verbleibenden Verluste wurden von dem gemessenen Ertrag der Solaranlage abgezogen. Der verbleibende Ertrag ist als  $q_{\text{Sol}}$  in der Tabelle angegeben.

Die Tabelle 5 ist nach den Grund-Wärmeerzeugern sortiert. Im Fall der Brennwertkessel (Gebäude 1-4) werden Erzeugeraufwandszahlen  $e_g$  zwischen 1,03 und 1,22 erreicht. Die Jahresnutzungsgrade liegen somit zwischen 97 % und 82 %. Dies zeigt, dass auch in Gebäuden mit niedrigem Energieverbrauch hohe Nutzungsgrade nahe 100 % erreicht werden können, bestätigt aber andererseits die Erfahrung, dass in diesem Fall vielfach auch mit niedrigeren Effizienzwerten gerechnet werden muss (vgl. Abschnitt 3.11 / [Wolff 2004]).

Eine größere Zahl von Gebäuden (Nr. 6-12), meist mit Passivhaus-Standard oder zumindest in der Nähe davon, verwendet Fortluft-Wärmepumpen, die einem Lüftungswärmetauscher nachgeschaltet sind und sowohl der Nachheizung der Zuluft als auch der Warmwasserbereitung dienen. Diese Konstellation ist typisch für sogenannte Passivhaus-Kompaktgeräte. Nicht immer wurde gemessen, welcher Anteil auf die Wärmepumpe und welcher auf eine ergänzende direkt-elektrische Wärmeerzeugung entfiel. Auch enthielten die Messwerte teilweise Hilfsenergieanteile, so dass in der Tabelle einige Lücken vorhanden sind. Generell bestätigen die Ergebnisse die Erfahrungen, die auch im Baugebiet Offenbach (s. Kap. 3.2.3) – dort für Abluftwärmepumpen – gemacht wurden: Nur wenn es gelingt, den Deckungsanteil der direkt-elektrischen Zusatzheizung zur Spitzenlast-Wärmeerzeugung sehr niedrig zu halten, ergeben sich günstige Primärenergie-Aufwandszahlen für die Wärmeerzeugung: Beim Gebäude Nr. 9 ist dies beispielsweise nicht der Fall.

Die Gebäude mit Fernwärmeversorgung konnten wie gesagt nur eingeschränkt ausgewertet werden. Zwei weitere schweizerische Gebäude (Nr. 19 und 20, Winterthur und Monte Carasso) mit Biomasseheizung und Solaranlage sind nicht in der Tabelle enthalten, da sich die Energiebilanz nicht direkt auf das hier verwendete Schema übertragen ließ. Allerdings können die Erzeugeraufwandszahlen der eingesetzten Holzpelletkessel angegeben werden: Sie betragen  $e_g=1,19$  (Nr. 19) bzw.  $e_g=1,36$  (Nr. 20) und liegen damit trotz der im Vergleich zu anderen Gebäuden niedrigen Wärmeproduktion (Nr. 19: ca.  $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , Nr. 20: ca.  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ) im Bereich dessen, was auch sonst, z.B. in der DIN V 4701-10, für Pelletkessel angesetzt wird.

Die eingesetzten Solaranlagen lieferten sehr unterschiedliche Beiträge: Die Wärmeproduktion  $q_{\text{Sol}}$  lag zwischen  $3$  und  $13 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , die solaren Deckungsgrade  $D_{\text{Sol}}$  zwischen 9 % und 41 %. Damit liegt die Wärmelieferung, insbesondere der Anlagen mit Heizungsunterstützung eher unterhalb dessen, was man bei konventionellen Gebäuden erwarten würde. Es kann hier nicht geklärt werden, ob dies an einer eher kleinen Auslegung der Einzelanlagen liegt, eventuell technische Schwierigkeiten auftraten oder die solare Wärmelieferung bei niedrigen Heizwärmeverbräuchen an enge Grenzen stößt. Trotz der nicht sehr hohen Wärmelieferung konnten, aufgrund des niedrigen Gesamtwärmebedarfs der Gebäude, teilweise sehr hohe Deckungsgrade erzielt werden, die sich bei konventionellen Gebäuden nicht ohne weiteres erreichen ließen.

### 3.6 Schweizer Minergie-Häuser

Der in der Schweiz angewendete Minergie-Standard definiert sich über unterschiedliche, differenziert formulierte Anforderungen an Gebäude und Heizsystem (Teilkomponenten und Gesamt-Energiebedarf), differenziert nach Gebäudetyp, Altbau und Neubau. Insbesondere muss bei Neubau-Wohngebäuden ein Energiebedarf von 42 kWh/(m<sup>2</sup>a) unterschritten werden (Endenergie für Wärme- und Warmwassererzeugung sowie Lüftung. Der Strom wird dabei gegenüber fossilen Energieträgern doppelt gewichtet) [Minergie 2000] [Minergie 2004], siehe auch [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch). Man kann bei diesem Gebäudetyp von einem sehr guten Niedrigenergiehaus-Standard, etwa vergleichbar mit Ultra-Niedrigenergiehaus- bzw. Drei-Liter-Haus-Niveau, ausgehen.

Eine umfangreiche Felduntersuchung von Minergie-Gebäuden liefert eine Übersicht über die eingesetzten Heizsysteme, aber keine Messwerte über deren Effizienz [Minergie 2004]. In einer Veröffentlichung über Einzelprojekte mit Wärmepumpen [Minergie 2000] werden auch Messwerte genannt. Für den vorliegenden Bericht verwendbar ist hier nur das Ergebnis eines Gebäudes mit Erdreich-Wärmepumpe und Solaranlage (inkl. Heizungsunterstützung). Es wurde eine Aufwandszahl der Wärmeerzeugung von  $e_{p,g} = 0,43$  erreicht. Nähere Angaben über die Deckungsbeiträge von Wärmepumpe und Solaranlage können aus den Unterlagen nicht abgeleitet werden.

### 3.7 EU-Projekt „Solar Combisystems“

Als solare Kombisysteme werden Solaranlagen zur gleichzeitigen Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung untersucht. Diese Systeme sind im Zusammenhang mit Niedrigenergiehäusern besonders interessant, da sich hier auf Grund des reduzierten Heizwärmebedarfs im Winter im Vergleich zu konventionell gedämmten Gebäuden ein besonders hoher Jahresdeckungsgrad der Anlage erwarten lässt.

In dem Forschungsvorhaben wurden nicht gezielt Niedrigenergiehäuser untersucht. Es wurde eine große Zahl von 136 Anlagen in 7 europäischen Ländern (Österreich, Deutschland, Frankreich, Deutschland, Italien, Schweden, Niederlande) installiert, an einigen davon wurden Messungen durchgeführt [Ellerhage]. Leider liegen nur von wenigen Anlagen die dokumentierten Ergebnisse vor, und es wurde bei der Auswertung eine spezielle Systematik verwendet, die hier nicht direkt genutzt werden konnte<sup>24</sup>. Allerdings konnte in zwei Fällen mit Niedrigenergiebauweise (einer in Deutschland, einer in Österreich<sup>25</sup>) der solare Deckungsgrad aus den Unterlagen ermittelt werden: Beim deutschen Gebäude wurde ein Gesamtwärmeverbrauch der Heizung (inklusive Verteilverlusten) von etwa 75 kWh/(m<sup>2</sup>a) gemessen, es wurde ein Deckungsgrad von etwa 26 % erreicht. Im österreichischen Niedrigenergiehaus ergeben sich aus den Messwerten ein Gesamtwärmeverbrauch der Heizung von 59 kWh/(m<sup>2</sup>a) und ein solarer Deckungsgrad von 34 %. Aus diesen

---

<sup>24</sup> Angegeben werden die prozentualen Einsparungen gegenüber einem Referenzsystem mit gleicher Wärmeerzeugung, aber ohne Solaranlage, wobei für das Referenzsystem festgelegte Effizienzwerte verwendet werden. Das Ergebnis hängt also stark von diesen Vorgaben ab.

<sup>25</sup> Die Messwerte der österreichischen Systeme beziehen sich leider nur auf 10 Monate (Juni 02- März 03), der Winter ist also enthalten.

zwei Beispielen können keine weitgehenden Schlussfolgerungen gezogen werden, zumal die Ergebnisse natürlich stark von der Anlagendimensionierung abhängen<sup>26</sup>. Immerhin wurde demonstriert, dass solare Deckungsgrade in der Größenordnung von 30 % bei Niedrigenergiehäusern erreichbar sind.

### 3.8 WeberHaus-Projekt



Fotos: IBP / WeberHaus

Der Fertighaus-Hersteller WeberHaus hat, gemeinsam mit weiteren Projektpartnern, ein Modellvorhaben durchgeführt, in dem ein Niedrigenergiehaus, ein Ultra-Niedrigenergiehaus und ein sogenanntes Null-Heizenergiehaus errichtet wurden. Mit der Begleitforschung war durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik betraut [Erhorn et al. 2001].

Beim Null-Heizenergiehaus wird versucht, durch einen sehr niedrigen Heizwärmebedarf und eine sehr groß ausgelegte Solaranlage (40 m<sup>2</sup> Kollektorfeld) mit saisonalem Speicher (Volumen 20 m<sup>3</sup>) einen Verzicht auf jede Zusatzheizung zu erreichen. Das Ziel wurde im Modellvorhaben nicht vollständig erreicht.

Für unsere Studie sind vor allem die Ergebnisse des Niedrigenergie- und des Ultraniedrigenergiehauses von Interesse<sup>27</sup>. Das dreijährige Messprogramm zeigte hier sehr untypische Werte, die deutlich machen, wie sehr Einzelergebnisse vom Verhalten der jeweiligen Gebäudenutzer abhängen können: Das Ultra-Niedrigenergiehaus weist trotz des besseren Wärmeschutzes und einer Lüftungswärmerückgewinnung mit etwa 44 kWh/(m<sup>2</sup>a) einen höheren Verbrauch an Heizwärme auf als das Niedrigenergiehaus, welches bei 36 kWh/(m<sup>2</sup>a) lag<sup>28</sup>. Darüber hinaus beträgt in beiden Gebäuden der Warmwasserverbrauch nur wenig mehr als 5 kWh/(m<sup>2</sup>a), während sonst allgemein mit 12,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) gerechnet wird<sup>29</sup>.

<sup>26</sup> Bei verschiedenen anderen Gebäuden (keine Niedrigenergiebauweise, andere Anlagenkonzepte) wurden auch Deckungsgrade von nur 10 % erreicht.

<sup>27</sup> Zum Null-Heizenergiehaus s. auch Kapitel 3.12.4.

<sup>28</sup> Die Werte im vorliegenden Abschnitt beziehen sich auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV.

<sup>29</sup> Der flächenbezogene Warmwasserverbrauch hängt natürlich nicht nur vom Nutzerverhalten, sondern auch von der Gebäudegröße ab: Je größer das Gebäude (bei gleichem Warmwasserbedarf der Bewohner), desto

Durch diese ungewöhnlichen Verbrauchswerte wurde auch die Anlagentechnik entsprechend beeinflusst: Während im Niedrigenergiehaus eine Brauchwassersolaranlage eingesetzt war, mit der ein durchaus typischer solarer Deckungsgrad von etwa 11 % an der Gesamt-Wärmebereitstellung erreicht werden konnte, beträgt der Deckungsgrad im Fall des Ultra-Niedrigenergiehauses ebenfalls nur 11 %, obwohl hier eine deutlich größer dimensionierte Solaranlage mit Heizungsunterstützung eingesetzt wurde. Der niedrige Warmwasserverbrauch und der hohe Heizwärmeverbrauch dürften für dieses Ergebnis eine wesentliche Rolle gespielt haben.

Als Basis-Heizsysteme wurden im Niedrigenergiehaus ein Gas-Umlaufwasserheizer (gemessener Jahresnutzungsgrad: 83 %, d.h.  $e_g = 1,20$ ) und im Ultra-Niedrigenergiehaus ein Brennwärtekessel (91 % Nutzungsgrad,  $e_g = 1,10$ ) eingesetzt. Damit ergibt sich für das Gesamtsystem eine Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung von  $e_{P,g} = 1,18$  im Niedrigenergie- und von  $e_{P,g} = 1,08$  im Ultra-Niedrigenergiehaus.

### 3.9 Synergie-Haus-Programm

In den Jahren 1995-1997 wurden im Rahmen des Synergie-Haus-Programms des Energieversorgungsunternehmens PreussenElektra und weiterer Projektpartner mehr als 300 Neubauten mit unterschiedlichen Heizsystemen gefördert, die einen Heizwärmebedarf unter 30 % der damals gültigen Wärmeschutzverordnung 1995 erreichen und eine mechanische Lüftungsanlage aufweisen mussten. Angesichts dieser Kriterien kann man von typischen Niedrigenergiehäusern sprechen.

Im Rahmen dieses Projekts wurde von der Universität-Gesamthochschule Kassel ein Messprogramm durchgeführt [Kaiser et al. 2000]. Leider können die Ergebnisse hier nicht genutzt werden, da eine abweichende Systematik verwendet wurde: Zwar wurde der Endenergieverbrauch gemessen, und es sind für mehr als 100 Gebäude endenergie- und primärenergiebezogene Aufwandszahlen angegeben. Diese wurden aber auf Basis des berechneten (!) Wärmebedarfs ermittelt und geben daher keinen direkten Aufschluss über die tatsächlich erreichten Aufwandszahlen. Die Wärmeproduktion der Wärmeerzeuger steht als Messwert leider nicht zur Verfügung, so dass keine  $e_{P,g}$ -Werte ermittelt werden können und damit auch keine Beurteilung der tatsächlich erreichten Anlageneffizienz möglich ist.<sup>30</sup>

---

niedriger ist der flächenspezifische Wert. Angesichts einer Nutzfläche  $A_N$  der Gebäude von ca. 185 m<sup>2</sup> kann man hier von größeren (aber nicht von ungewöhnlich großen) Einfamilienhäusern sprechen.

<sup>30</sup> Dass diese umfassende Untersuchung für eine vergleichende Auswertung der tatsächlichen Systemeffizienzen nicht verwertet werden kann, unterstreicht den Bedarf nach einem einheitlichen Mess- und Bewertungsschema für zukünftige Modellvorhaben, wie es in Kapitel 4 hergeleitet wird.

### 3.10 Feldstudien über elektrische Wärmepumpen

In der Schweiz und in Deutschland wurden Feldstudien durchgeführt, um die Effizienz elektrischer Wärmepumpen zu dokumentieren. Diese Untersuchungen wurden nicht speziell auf Niedrigenergiehäuser zugeschnitten, sind hier aber dennoch sehr interessant, da durch die große Zahl untersuchter Fälle eine gute Datengrundlage zur Bewertung der Technologien geschaffen wird.

#### 3.10.1 Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen (FAWA), Schweiz

Das Projekt wurde vom Schweizer Bundesamt für Energie initiiert und in den Jahren 1996-2003 durchgeführt. Im Endbericht (FAWA 2004) wurden Messwerte von 221 Anlagen ausgewertet, überwiegend (ca. je 45 % der Anlagen) wurden Außenluft- und Erdreich(Sole/Wasser)-Wärmepumpen verwendet. 40 % der untersuchten Anlagen befinden sich im Gebäudebestand, in der Regel handelt es sich dabei um nachträglich gedämmte Gebäude.

Insbesondere wurde die Jahresarbeitszahl ausgewertet. Diese ist in der FAWA-Auswertung so definiert, dass die Wärmeverluste eines gegebenenfalls vorhandenen Pufferspeichers der Wärmepumpe und die unmittelbaren Hilfsenergieverbräuche der Wärmepumpe (Ventilator bzw. Solewärmepumpe, Speicherladepumpen) mitberücksichtigt sind, während eine eventuell vorhandene elektrische Zusatzheizung und die Hilfsstromverbräuche der Pumpen der Heizungs- und Warmwasserverteilung nicht mitgerechnet werden. Diese Wahl der Systemgrenzen entspricht der Definition, die in der vorliegenden Studie verwendet wird (s. Kap. 2.5.3).

Im Mittel wurde bei den Luft-Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von 2,7, bei den Erdreich-Wärmepumpen (Sole/Wasser) eine Jahresarbeitszahl von 3,5 erreicht. Der Kehrwert entspricht der Erzeugeraufwandszahl, es ergeben sich  $e_g = 0,37$  bei den Luft- und  $e_g=0,29$  bei den Erdreichwärmepumpen.

Bei bivalent bzw. monoenergetisch betriebenen Anlagen (Wärmepumpe als Grundlast-, Kessel bzw. elektrischer Zusatzheizung als Spitzenlast-Wärmeerzeuger) liegen keine differenzierte Angaben zu den jeweiligen Deckungsgraden vor. Allerdings wird die Aussage getroffen, dass die Sole-/Wasser-Wärmepumpen zum überwiegenden Teil (88%) von vornherein für einen rein monovalenten Betrieb (ohne Spitzenlast-Wärmeerzeuger) ausgelegt wurden, und auch die Luftwärmepumpen zu 75 % monovalent betrieben wurden, obwohl hier sehr häufig auch ein Zusatz-Wärmeerzeuger vorhanden war.

Interessant ist auch die Aussage, dass eine relevante Abnahme der Jahresarbeitszahl über mehrere Betriebsjahre nicht gemessen werden konnte, was insbesondere bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen überraschend ist, da hier eigentlich gerade in den ersten Jahren eine Abkühlung des Erdreichs und somit eine Absenkung der Wärmequellentemperatur zu erwarten ist<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> Die Autoren der schweizer Studie geben als eine denkbare Ursache eine gleichzeitige Verbesserung des Wärmeübergangs zwischen den Erdsonden und dem umgebenden Erdreich durch Einspülprozesse an.

### 3.10.2 Feldversuch der E.ON

Der Feldtest wurde von dem Energieversorger E.ON Energie und Partnerunternehmen durchgeführt [Ewert 2005a]. Die 29 beteiligten Anlagen wurden über 2 Heizperioden vermessen. Für 18 Anlagen werden Messergebnisse über die Jahresarbeitszahlen angegeben, darunter 14 Solewärmepumpen (Wärmequelle Erdreich). Diese werden hier näher betrachtet. Bei den Gebäuden handelt es sich um Neubauten (Ein-/Zweifamilien- bzw. Reihenhäuser), zumeist mit Fußbodenheizung (teilweise in Kombination mit Heizkörpern). Die Wärmepumpen wurden (mit einer Ausnahme) sowohl zur Heizung als auch zur Warmwasserbereitung eingesetzt.

Die Jahresarbeitszahlen wurden mit und ohne elektrischer Spitzenheizung dokumentiert. Aus diesen Angaben folgt, dass die elektrische Zusatzheizung, soweit sie im Einzelfall überhaupt installiert war, entweder überhaupt keinen Beitrag leistete oder höchstens einen Deckungsgrad von deutlich unter 1 % aufwies. Bei einem so geringen Anteil an der Wärmelieferung ist der negative Einfluss der elektrischen Direktheizung auf die Gesamteffizienz des Systems sehr klein.

Die Jahresarbeitszahlen der Solewärmepumpen (ohne Zusatzheizung) lagen im Mittel bei 3,6. In der Feldstudie wurde auch der gemessene Gesamtwärmeverbrauch der Heizung angegeben. Es konnten daher 6 Gebäude mit Solewärmepumpen identifiziert werden, deren Verbrauch im Bereich der Niedrigenergiebauweise lag. Die mittlere Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen betrug hier 3,5. Sie unterscheidet sich also nicht wesentlich vom Mittelwert aller Gebäude.

Bei diesen Angaben ist allerdings zu beachten, dass der gesamte Hilfsstrom der Heizung (insbesondere Umwälzpumpen zur Verteilung der Heizwärme im Gebäude) mit eingerechnet wurde. Würde man die Definition der Jahresarbeitszahl ansetzen, wie sie im vorliegenden Bericht bzw. in der Schweizer Studie verwendet wird (d.h. ohne Hilfsstrom von Umwälzpumpen), würden die Arbeitszahlen noch etwas höher liegen. Leider liegen hierzu keine Messergebnisse vor. Es kann hier lediglich eine Abschätzung gemacht werden: Wenn man annimmt, dass der Hilfsstrombedarf der Umwälzpumpen zwischen 1 und 2,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt, so erreichen die Jahresarbeitszahlen im Mittel Werte zwischen 3,7 und 4,0. Die Erzeugeraufwandszahl  $e_g$  liegt damit bei 0,25 bis 0,27.

Leider liegen über einen erheblichen Anteil der Feldversuchsteilnehmer, nämlich über 11 von 29 Gebäuden, keine Angaben vor. Als Grund werden einerseits Fehler bei der Datenerfassung, andererseits aber auch Fehler bei der Installation der Systeme genannt. Es ist also möglich, dass, wie in anderen Modellprojekten (vgl. Kap. 3.2.1), in manchen Fällen auch ungünstige Betriebsergebnisse vorlagen. Als Ergebnis bleibt aber festzuhalten, dass bei geeigneten Randbedingungen mit Solewärmepumpen offenbar sehr gute Jahresarbeitszahlen (besser als 3,5) erreicht werden können.

### 3.10.3 Förderprogramm „Wärmeerzeugung im Passivhaus“ der EnBW

Die Energie Baden-Württemberg AG EnBW förderte bis Ende 2001 80 Passivhäuser, die mit Wärmepumpen in Kombination mit Solaranlagen beheizt wurden. Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme führte ein Messprogramm und die Auswertung durch. Insbesondere wurden die Systemkombinationen Erdwärmepumpen/separate Lüftungsanlage (13 untersuchte Gebäude) und Lüftungs-Kompaktgerät mit Fortluft-Wärmepumpe (18 Gebäude) verglichen. Es stellte sich heraus, dass die Gebäude mit Erd-Wärmepumpen im Mittel einen Stromverbrauch zur Wärmeerzeugung von 26,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) aufwiesen, während der Wert bei den Lüftungs-Kompaktgeräten nur bei 14



kWh/(m<sup>2</sup>a) lag. Als Ursache für den deutlich höheren mittleren Verbrauch der Gebäude mit Erd-Wärmepumpen werden eine schlechte Abstimmung der Komponenten und Fehler in der Regelung genannt, welche zu einem verstärkten Einsatz des Heizstabs führten. Leider lassen sich aus der Dokumentation [ISE 2002] keine Anlagenkennwerte (z.B. Jahresarbeitszahlen, Erzeugeraufwandszahlen) ableiten.

### 3.11 Felduntersuchung Gas-Brennwertkessel

In den Jahren 1999 bis 2002 wurde von der Fachhochschule Braunschweig Wolfenbüttel mit Förderung der DBU eine umfangreiche Felduntersuchung zur energetischen Effizienz von Brennwertkesseln durchgeführt [Wolff et al. 2004]. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die unter realen Randbedingungen erreichten Nutzungsgrade im Mittel deutlich tiefer liegen als der auf Prüfständen gemessene Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8. Für die ca. 60 Brennwertkessel lag der Jahresnutzungsgrad bei 96,4%.<sup>32</sup> Wie Abbildung 14 zeigt, nimmt der Nutzungsgrad mit sinkendem Wärmeverbrauch ab, wobei allerdings die absoluten Kesselverluste geringer werden. Insgesamt zeigt sich eine starke Streuung.

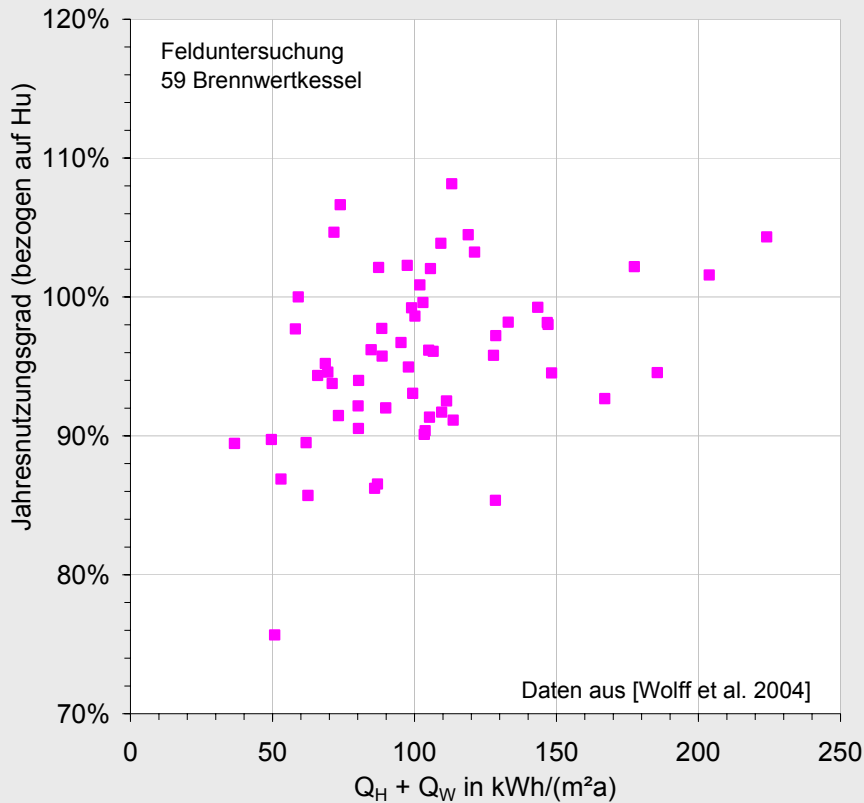
Die Ursache für die systematische Abweichung gegenüber der Norm-Messung wird vor allem darin gesehen, dass die Kesselauslastung im praktischen Betrieb sehr viel geringer ist als im Normbetrieb. Der Grund hierfür ist, dass bei gutem Wärmeschutz der Gebäude die Kesselleistung eher durch den Leistungsbedarf für die Warmwasserbereitung bestimmt wird. Insbesondere bei Einfamilienhäusern ist dieser sehr viel größer als die Gebäudeheizlast.

Als weitere Ursachen für geringe Effizienzen sowie für die starke Streuung der Werte werden vor allem der Einfluss des Nutzerverhaltens, die Reglereinstellung und die hydraulische Einbindung gesehen.

---

<sup>32</sup> Die als Referenz mit untersuchten 7 Niedertemperatur-Kessel erreichten 83,4%. Dies ist ein Indiz dafür, dass Brennwertkessel konstruktionsbedingt gegenüber NT-Kesseln eine deutliche Energieeinsparung erzielen.

**Abbildung 14:** Ergebnisse der Felduntersuchung an 59 Brennwertkesseln [Wolff et al. 2004] (eigene Darstellung)



## 3.12 Betriebserfahrungen und Kosten

### 3.12.1 Wärmepumpen

Generell wurde deutlich, dass die Jahresarbeitszahl entschieden von niedrigen Rücklaufemperaturen abhängt. Dazu tragen möglichst große Heizflächen, der Verzicht auf räumliche Teilbeheizung und ein Regelungskonzept mit Raumtemperaturaufschaltung bei. Dadurch wird bei solaren und internen Wärmegewinnen im Gebäude die Systemtemperaturen der Heizanlage abgesenkt. [FA-WA 2004]

#### Sole/Wasser-Wärmepumpen (Erdspieß)

Die Felduntersuchungen des Schweizer Bundesamtes für Energie ergab eine große Streuung der gelieferten Wärmeleistung der niedergebrachten Bohrungen. Die Verfasser der Studie sprechen von einem „beträchtlichen Unsicherheitspotential“ insbesondere dann, wenn keine gesicherten

Informationen über die geologischen Verhältnisse vorliegen. Des Weiteren wurde bemängelt, dass zu groß ausgelegte Solepumpen die Effizienzwerte der Anlagen unnötig verschlechtert haben.

Auch im Baugebiet Königstein wurde bei einem mit Wärmepumpe versorgten Haus auch nach Austausch des Wärmepumpenaggregates keine befriedigende Arbeitzahl erreicht. Es blieb unklar, ob auch hier Unwägbarkeiten der Geologie oder ein zu hoher Wärmeverbrauch des Gebäudes die Ursache war [GERTEC 2003]. Auch bei den anderen Gebäuden war in den ersten Monaten nach der Inbetriebnahme eine mehrfache Nachregulierung der Anlagen nötig. Die Investitionskosten für die Anlagen in Königstein lagen bei 81€ bezogen auf den m<sup>2</sup> Wohnfläche bzw. 848€ bezogen auf die kW installierter Leistung. [FAWA 2004]

### **Luft/Wasser Wärmepumpen (Außenluft)**

Die Felduntersuchungen des Schweizer Bundesamtes für Energie ergab für Luft/Wasser-Wärmepumpen eine insgesamt schlechtere Leistungsziffer als für Anlagen mit Erdspieß. Im Mittel wurde eine Jahresarbeitszahl von 2,6 gemessen. Dafür waren die Ergebnisse mit einer geringeren Streuung behaftet. D.h. dieser Anlagentyp ist zuverlässiger planbar. [FAWA 2004]

### **Abluftwärmepumpen**

Ein Bewohner im Baugebiet Offenbach hat, um von den Abschaltzeiten des EVU unabhängig zu sein, sein Aggregat auf Versorgung mit normalem Haushaltstrom umgeschaltet. Zu Beginn der vierten untersuchten Heizperiode ist ein Verdichter ausgefallen. Die Investitionskosten für die Anlagen in Offenbach lagen bei 46 € bezogen auf den m<sup>2</sup> Wohnfläche bzw. 460 € bezogen auf die kW installierter Leistung. [GERTEC 2001] [GERTEC 2003]

### **Wärmepumpen-Kompakt-Aggregate (Lüftungsgerät + Kleinstwärmepumpe + Warmwasserspeicher)**

Diese Technik ist speziell für Passivhäuser, die eine extrem niedrige Heizlast von ca. 10 W/m<sup>2</sup> aufweisen und liefert unter diesen Bedingungen gute Effizienzwerte. Für den alleinigen Einsatz in Gebäuden mit höherem Energiebedarf sind die Geräte nicht geeignet. Stellenweise gab es noch Probleme mit der Schallisolierung (Übertragung von Geräuschen über die Lüftungsanlage) und bei der gezielten Verteilung der Wärme in bestimmte Räume (die Heizleistung verteilt sich auf den gesamten Luftstrom). [9. Passivhaustagung]

### **3.12.2 Nahwärmenetze**

Auffällig war im Gebiet Niedernhausen die starke Abweichung zwischen den rechnerisch zu erwartenden Netzverlusten von 13 kWh pro m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche und dem Messwert von 22 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bei der Bestimmung der Netzverluste ist dabei allerdings grundsätzlich die Messunsicherheit zu beachten, da hier die Summe aller Messwerte der in die Einzelgebäude eingebauten Wärmemengenzähler (in Niedernhausen: 41) mit der mit Hilfe eines einzigen Wärmemengenzäh-

lers erfassten Einspeisung in der Heizzentrale verglichen wird. Dies kann einen nicht unerheblichen systematischen Fehler verursachen [Loga et al. 1997].

Die Kosten der Netze betragen in Niederhausen 74€ und in Königstein 71€ je Meter Trassenlänge [Loga et al. 1994, GERTEC 2001]. Die Kosten aus Sicht der Bewohner liegen nach Angaben der SÜWAG (früher Mainkraftwerke) bei 5,08 Cent je kWh bezogene Wärme sowie einer Grundgebühr von 350,-- €/a je Haus. [GERTEC 2001]

### 3.12.3 BHKW-Anlagen

BHKWs werden in der Regel vom Energieversorger betrieben und gewartet. Auf Grund des in den Modellprojekten realisierten geringen Leistungsanteils ergaben sich lange Laufzeiten (siehe auch Bewertung in Abschnitt 5.3). Aus Sicht der Versorgungssicherheit sind Störungen der KWK-Anlagen unkritisch, weil die Leistung der Spitzenlastkessel auf den Maximalwert der Wärmenachfrage ausgelegt sind.

### 3.12.4 Gebäude-Solaranlagen mit Lanzeit-Wärmespeicher

Für das „Null-Heizenergiehaus“ der Firma WeberHaus war eine Deckung des Restheizwärmebedarfs durch die groß dimensionierte Solaranlage mit saisonalem Speicher geplant (vgl. Abschnitt 3.8). Das System brachte jedoch nicht die erwartete Deckung. Dies lag zum einen an Fehlern in der Hydraulik und der Regelung, die erst behoben werden mussten, wesentlich aber auch an hohen Speicherverlusten, die über den projektierten Werten lagen. Das System aus Tages- und Langzeitspeicher hatte im Mittel eine Verlustleistung von 626 Watt. Weil diese Verluste im unbeheizten Bereich entstanden, waren sie kaum für die Erwärmung des Gebäudes nutzbar. Die Autoren fordern die Entwicklung von besseren Dämmmaterialien für Speicher und Armaturen. [Erhorn et al. 2001]

Schon Anfang der 90er Jahre war ein ähnliches Modellprojekt, das „Null-Heizenergiehaus Dörpe“ aus ähnlichen Gründen gescheitert. Auch hier waren die Wärmeverluste des Speichers deutlich höher als erwartet, die Be- und Entladevorgänge waren schwer kontrollierbar, die Speicherschichtung war zu gering. Da der Speicher sich innerhalb der thermischen Hülle befand, waren die Verluste zwar im Prinzip nutzbar – führten jedoch auf Grund der hervorragend gedämmten Gebäudehülle zu zeitweise unerträglichen Raumtemperaturen in den angrenzenden Räumen. Im Kernwinter stand die so verloren gegangene Wärme dann nicht mehr zur Verfügung. [Hinz/Werner 1994]

### 3.12.5 Zusammenstellung der Kosten

In Tabelle 6 sind noch einmal die erhobenen Kosten in vergleichbarer Form gegenübergestellt. Zusätzlich zu den in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Projekten wurden zum Vergleich die Quellen [BGW 2003] und [IER 2004] herangezogen. Der Kostenvergleich dient hier vor allem der Dokumentation der hessischen Modellprojekte, eine Verallgemeinerung dürfte nicht ohne weiteres möglich sein.

**Tabelle 6:** Übersicht über die erhobenen Kosten der verschiedenen Versorgungstechniken

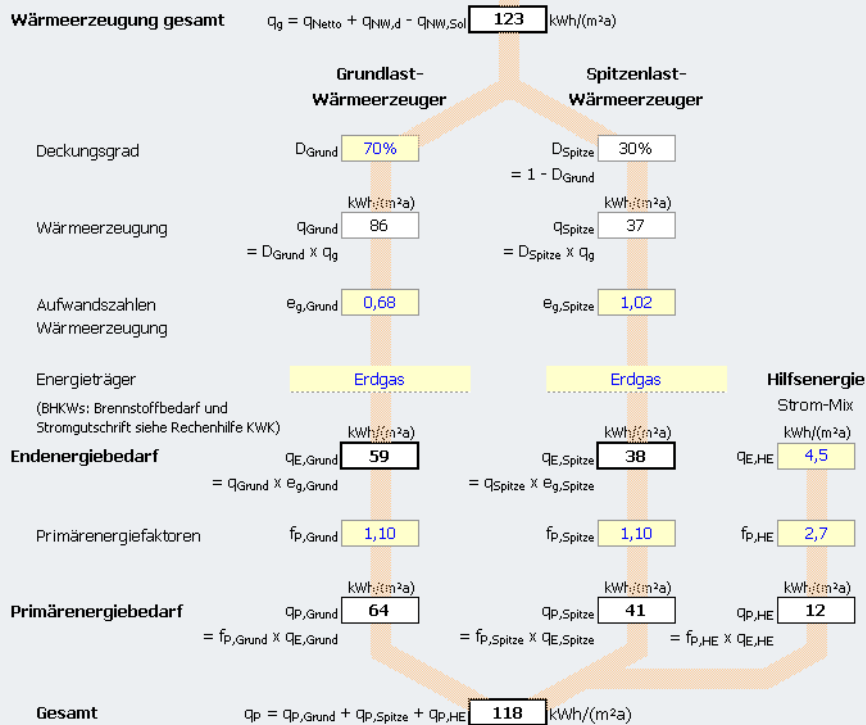
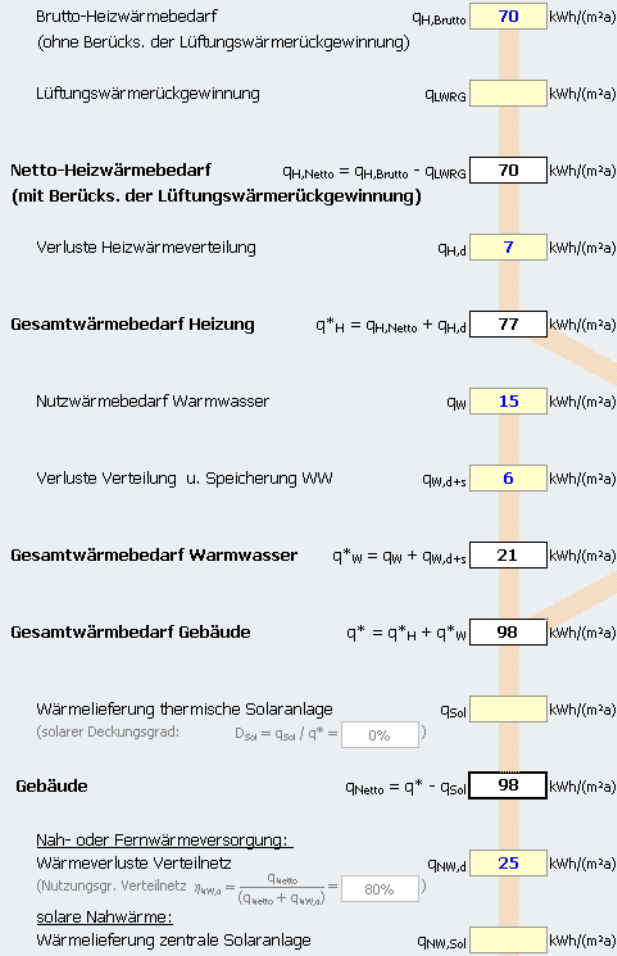
Technik		Gas-Brennwertkessel dezentral	Öl-Brennwertkessel dezentral	Wärmepumpe Erdspeiß	Wärmepumpe Abluft	Pellets dezentral	Nahwärme mit BHKW	Nahwärme mit BHKW	Solaranlage
Varianten/Projekte		BGW	BGW	Königstein	Offenbach	Vergleichsrechnung IER 2004	Niedernhausen	Königstein	BGW
erforderliche Heizleistung je WE	kW	11 kW	11 kW	14 kW	13 kW	20 kW	9 kW		4 kW
durchschnittliche Wohnfläche der WE	m <sup>2</sup>	110 m <sup>2</sup>	110 m <sup>2</sup>	150 m <sup>2</sup>	127 m <sup>2</sup>	150 m <sup>2</sup>	138 m <sup>2</sup>		110 m <sup>2</sup>
<b>Kostendaten</b>									
Investition je WE	€/WE	5750	8488	12210	5816	10050	848	857	3300
Investition Zentrale	€/WE						4677	3836	
spez. Investition Versorgungsnetz	€/m	k.A.					74	71	
Investition Versorgungsnetz	€/WE	1800					1970	1546	

## 4 Überblick über die Systemkonfigurationen

In diesem Kapitel wird ein zusammenfassender Überblick über die verschiedenen Anlagenkonzepte zur Wärmeerzeugung in Niedrigenergiehäusern gegeben. Dabei besteht das Ziel, eine einfach handhabbare, praxisgeeignete Darstellung zu finden. Diese Aufgabe stößt auf das Problem, dass die Rahmenbedingungen in den einzelnen Anwendungsfällen sehr unterschiedlich sein können: Das Spektrum der Niedrigenergiehäuser reicht beim Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) bis 70 kWh/(m<sup>2</sup>a) (siehe Abschnitt 3.1). Die Verteilverluste der Heizung und Warmwasserbereitung spielen bei einem so geringen Nutzwärmebedarf eine wichtige Rolle. Nicht zuletzt gibt es eine schwer überschaubare Vielfalt unterschiedlicher Systemkombinationen, die angewendet werden können.

Vor diesem Hintergrund würde es schwer fallen, durch einen Katalog mit Beispielberechnungen alle für die Praxis relevanten Fälle abzudecken. Aus diesem Grunde wird hier ein anderer Weg gewählt: Es werden Einzelkennwerte für die verschiedenen Systemkomponenten angegeben, die in einem überschaubaren Energiebilanzschema zusammengefasst werden. Damit ergibt sich ein flexibles Verfahren zur Abschätzung, welches an die jeweilige Vor-Ort-Situation angepasst werden kann. Dieses Verfahren orientiert sich soweit wie möglich an bestehenden Bilanzmethoden – insbesondere der an der EnEV und den von ihr in Bezug genommenen Normen, vor allem der DIN V 4701-10. Dabei ist die Zielsetzung jedoch anders: Hier geht es nicht um den verbindlichen gesetzlichen Nachweis von energetischen Kenngrößen in einem Energiebedarfsausweis. Vielmehr soll eine Methode zur Abschätzung der Energiebilanz der Wärmeversorgung geliefert werden, die das Gesamtsystem in möglichst einfacher und übersichtlicher Weise darstellt, so dass eine transparente Diskussion über das System und seine Einzelkomponenten möglich wird. Insbesondere können so auf einfache Weise unterschiedliche Systemvarianten durchgespielt und kritische Komponenten identifiziert werden. Das Verfahren soll vor allem aber auch zur Darstellung und zur vergleichenden Bewertung der Ergebnisse von vermessenen Demonstrationsprojekten geeignet sein.

Dementsprechend sind die genannten Anhaltswerte für Systemgrenzen keine verbindlichen Vorgaben, sondern Vorschläge für einen ersten Berechnungsansatz. Für die genannten Werte werden Bandbreiten angegeben, die aber ebenfalls nicht strikt gelten, sondern im Einzelfall auch über- oder unterschritten werden können. Wenn, z.B. aufgrund einer detaillierteren Systemplanung, genauere Kennwerte bekannt sind, können diese in dem Verfahren verwendet werden. Genauso können im Rahmen eines Optimierungsprozesses Zielwerte für Einzelkomponenten ermittelt werden. Eine typische Fragestellung könnte lauten: Welcher solare Deckungsgrad bzw. welche Aufwandszahl des Wärmeerzeugers müssen erreicht werden, wenn ein bestimmter Gesamt-Primärenergiebedarf eingehalten werden soll?



**Abbildung 15:** Schema zur Berechnung und Bewertung von Systemen zur Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern

	Passivhaus	Niedrigenergiehaus		
<b>q<sub>H,Brutto</sub></b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	ohne Lüftungswärmerückgew.	
<b>q<sub>L,WRG</sub></b>	20 ... 30	15 ... 30	0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus		
<b>q<sub>H,Netto</sub></b>	< 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert		
<b>q<sub>H,d</sub></b>	2 ... 20	10	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert		
<b>q<sub>w</sub></b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert		
<b>q<sub>w,d+s</sub></b>	5 ... 15	10	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	<b>q<sub>Sol</sub> in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>			
*) bei Ansatz der Anhaltswerte von q <sub>w</sub> und q <sub>w,d+s</sub> Für andere Ansätze siehe Rechenhilfe Solaranlage	je nach Auslegung		Anhaltswert*	
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15		12	
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30		20	
	<b>q<sub>NW,d</sub> in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>			
Siedlungstyp	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard		Anhaltswert	
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45		35	
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30		25	
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15		10	
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10		6	
	<b>D<sub>Grund</sub></b>			
*) Näheres siehe Rechenhilfe	je nach Auslegung		Anhaltswert*	
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%		100%	
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%		95% / 90%	
Abluft-Wärmepumpen q <sub>H,0</sub> = 40 kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%		90%	
q <sub>H,0</sub> = 55 kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%		60%	
q <sub>H,0</sub> = 70 kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%		40%	
BHKW	30% ... 95%		-	
	<b>e<sub>g</sub></b>			
*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode	je nach Bauart und Betriebsweise		Anhaltswert	
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20		1,10	
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10		1,02	
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36		0,29	
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42		0,37	
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36		0,30	
BHKW*	0,00 ... 0,80		0,70	
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90		0,80	
elektrischer Heizstab	1,00		1,00	
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50		1,40	
	<b>f<sub>p</sub></b>			
*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10: f <sub>p</sub> = 3,0	Standardwert			
***) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets f <sub>p</sub> = 0,20 ... 1,20				
Erdgas	1,10			
Flüssiggas	1,10			
Heizöl	1,10			
Strom	2,70*			
Biomasse **	0,20			

**Abbildung 16:**  
Anhaltswerte für die einzelnen Kenngrößen



## 4.1 Schema der Energiebilanz

Abbildung 15 zeigt das auf dieser Grundlage erarbeitete Energiebilanzschema. Es orientiert sich an der Systematik, die bereits in Kapitel 2 dargestellt wurde. Bei der Entwicklung wurden folgende Grundsätze beachtet:

- Das Schema soll einen Überblick über die Effizienz verschiedener Versorgungssysteme ermöglichen.
- Anhaltswerte sind aus verschiedenen Quellen abgeleitet und orientieren sich an heute in der Praxis erzielbaren Werten.
- Weiterhin wird eine Spanne für die jeweiligen Größen angegeben, die verdeutlicht, wie stark die Effizienz der jeweiligen Komponente von der Auslegung bzw. von ihren technischen Eigenschaften abhängt. Um Bestwerte in der Praxis tatsächlich erreichen zu können, sollte eine planungs- und ausführungsbegleitende Qualitätssicherung stattfinden.
- Das Schema liefert die Schnittstellen, an denen die Energieströme auch gemessen werden können. Damit wird gewährleistet, dass die angestrebten Effizienzwerte in der Praxis auch überprüfbar sind.

Das Schema ist im großen und ganzen konform mit der für die anlagentechnische Bewertung nach EnEV maßgeblichen DIN V 4701-10 sowie auch mit dem hessischen Berechnungsverfahren „Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung“ [LEG]. Aufgrund der oben genannten Anforderungen ergeben sich von der Systematik her folgende Besonderheiten:

- Im Sinne einer kurzen und übersichtlichen Darstellung wird die Energiebilanz der Heizwärme- und Warmwassererzeugung bei der Anlagentechnik zusammengefasst.
- Die Wärmeübergabe wird nicht explizit in Form eines Verlustterms berücksichtigt.<sup>33</sup> Dieses Konzept folgt dem methodischen Ansatz des [LEG].
- Ein evtl. vorhandenes Nahwärmenetz wird explizit in die Energiebilanz mit einbezogen. Die Netzverluste umfassen neben den Wärmeverlusten des Verteilnetzes auch die der Übergabestationen. Gegenüber DIN V 4701-10 sind die Bilanzebenen verschoben. Während die Norm die Übergabestationen mit Erzeugeraufwandzahlen bewertet und die Wärmeerzeuger der Heizzentrale mit Primärenergiefaktoren, sind im vorliegenden Ansatz die Wärmeverluste der Übergabestationen in den Netzverlusten enthalten, die Wärmeerzeuger in der Heizzentrale, insbesondere auch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, werden wie andere Wärmeerzeuger mit Erzeugeraufwandzahlen bewertet.
- Die Solaranlagen mindern den Gesamtwärmebedarf des Gebäudes um einen absoluten Betrag. Somit werden sie nicht wie andere Wärmeerzeuger behandelt, für die jeweils ein Deckungsgrad und eine Erzeugeraufwandzahl angesetzt werden. Dies dient zum Einen der Übersichtlichkeit, da die Deckungsbeiträge von Grund- und Spitzenlastwärmeerzeuger nun separat von der Wärmelieferung der Solaranlage diskutiert werden können. Zum Anderen erlaubt der Ansatz eines absoluten solaren Beitrags, auch im Fall einer Solaranlage mit Heizungsunterstützung einfache tabellarische Werte anzugeben.

---

<sup>33</sup> zur Problematik der Wärmeübergabeverluste vgl. [Feist 2004]

## 4.2 Anhaltswerte und Rechenhilfen

Um eine einfache Anwendung des Berechnungsverfahrens zu ermöglichen, werden in Abbildung 16 tabellierte Anhaltswerte für die einzelnen Größen angegeben. Bei der Erstellung dieser Tabellen wurden insbesondere die Erfahrungen aus den in Kapitel 3 dokumentierten Modellprojekten berücksichtigt.

Die angegebenen Anhaltswerte und Wertebereiche sollen das heute typische Effizienzspektrum repräsentieren. Als Grundlagen für ihre Ermittlung wurden insbesondere herangezogen:

- Messwerte der im Kapitel 3 behandelten Projekte
- DIN V 4701-10 (im Folgenden kurz mit DIN bezeichnet): flächenbezogene Kennwerte für Speicherung und Verteilung; Aufwandszahlen für Erzeugung; Primärenergie-Faktoren. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass sich dort alle flächenbezogenen Verlustkennwerte auf die „Gebäudenutzfläche“  $A_N$  nach EnEV beziehen, während in der vorliegenden Studie generell die reale (beheizte) Wohnfläche in Bezug genommen wird. Da  $A_N$  im Mittel etwa 25 % größer ist als die beheizte Wohnfläche, müssen flächenbezogene Werte aus DIN V 4701-10 für einen Vergleich stets mit dem Faktor 1,25 multipliziert werden.
- „Kurzverfahren Energieprofil“ [Loga et al. 2005]: wohnflächenbezogene Kennwerte für Speicherung und Verteilung; Aufwandszahlen für Erzeugung
- Arbeitshilfe Energiepass der dena [Loga et al. 2004]: speziell für die Hilfsenergie-Kennwerte

Die folgenden Abschnitte enthalten Anmerkungen zur Herleitung der Einzelwerte und – wo möglich – einen Vergleich mit den Werten nach DIN V 4701-10.

### 4.2.1 Nutzwärme: Heizwärmebedarf $q_{H,0}$ / $q_{H,1}$ und Warmwasserbedarf $q_w$

- **Netto-Heizwärmebedarf** (mit Berücksichtigung der Lüftungswärmerückgewinnung)  $q_{H,Netto}$ : Die Grenze für den Niedrigenergiehaus-Standard liegt bei einem wohnflächenbezogenen Heizwärmebedarf von 70 kWh/(m<sup>2</sup>a) (EFH) bzw. 55 kWh/(m<sup>2</sup>a) (MFH), die für den Passivhaus-Standard bei 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) (vgl. Abschnitt 3.1).
- **Brutto-Heizwärmebedarf** (ohne Berücksichtigung der Lüftungswärmerückgewinnung)  $q_{H,Brutto}$ : Aus den Grenzwerten für  $q_{H,Netto}$  und den Ansätzen für  $q_{L,WRG}$  lässt sich die entsprechende Spanne für  $q_{H,Brutto}$  ableiten. Sie liegt für Niedrigenergiehäuser (Lüftungsanlage mit oder ohne WRG) bei 40 bis 70, für Passivhäuser bei 35 bis 45 kWh/(m<sup>2</sup>a)<sup>34</sup>.
- **Nutzwärmebedarf Warmwasser  $q_w$** : Der Standardwert nach DIN V 4701-10 liegt  $A_N$ -bezogen bei 12,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Wohnflächenbezogen ergibt sich daraus ein Anhaltswert von ca. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Abhängig von der Belegungsdichte und dem Komfortniveau liegt die entsprechende Spanne bei 10 bis 20 kWh/(m<sup>2</sup>a).

<sup>34</sup> Dabei wurde angenommen, dass Niedrigenergiehäuser im oberen Verbrauchsbereich (nahe 70 kWh/m<sup>2</sup>a) in der Regel keine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung aufweisen. Sonst wären auch noch höhere Brutto-Heizwärmebedarfswerte möglich.

#### 4.2.2 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung: Heizwärmebeitrag $q_{L,WRG}$

- **Heizwärmebeitrag WRG:** Bei Ansatz eines Anlagenluftwechsels von 0,4 1/h, einer lichten Raumhöhe von 2,5 m und einem  $F_{GT}$  von 84 kWh/a liegt der Lüftungswärmeverlust der Lüftungsanlage bei ca. 30 kWh pro  $m^2$  Wohnfläche. Für Temperaturbereitstellungsgrade des Wärmeübertragers zwischen 60 und 80 % ergibt sich ein Heizwärmebeitrag zwischen 18 bis 24 kWh/( $m^2a$ ), bei einem zusätzlichen Erdreichwärmetauscher 27 kWh/( $m^2a$ ). Beachtet man darüber hinaus die Abhängigkeit des Anlagenluftwechsels von Wohnungsgröße und Auslegung so ergibt sich eine Variationsbreite von 15 bis 25 kWh/( $m^2a$ ) in konventionellen Niedrigenergiehäusern und von 20 bis 30 kWh/( $m^2a$ ) bei energetisch optimierten Lüftungsanlagen in Passivhäusern. Ohne Lüftungswärmerückgewinnung ist der Wert 0.

#### 4.2.3 Verteilung und Speicherung

- **Wärmeverluste Heizungsverteilung  $q_{H,d}$ :** Wärmeverluste nach DIN V 4701-10 hängen von der Systemtemperatur, von der Gebäudegröße und von der Anordnung der Leitungen ab. Die Werte liegen ( $A_N$ -bezogen) insgesamt in einem Bereich zwischen 0,7 kWh/( $m^2a$ ) (35/28°C, großes MFH, vertikale Stränge innenliegend) und 8,6 (70/55°C, EFH, vertikale Stränge außenliegend). Verlaufen alle Rohrleitungen innerhalb der thermischen Hülle, liegt die Spanne bei 0,4 bis 2,7 kWh/( $m^2a$ ). Allerdings gehen diese Werte von einer optimal eingestellten Heizkurve aus. In der Praxis findet man dies selten, weshalb die Wärmeverluste typischerweise um 20 bis 30% höher liegen dürften (vgl. [Diefenbach et al. 2002]).

Wird generell eine gegenüber der EnEV verdoppelte Dämmstärke verwendet, lassen sich die Verteilungsverluste etwa um 25% reduzieren.

Für neue Verteilleitungen liegt der realistische Bereich also wohnflächenbezogen etwa zwischen 2 und 12 kWh/( $m^2a$ ). Vorhandene Verteilleitungen in Bestandsgebäuden, deren zugängliche Abschnitte nach HeizAnIV bzw. EnEV gedämmt wurden, liegen realistischerweise zwischen 10 und 20 kWh/( $m^2a$ ) [Loga et al. 2005].

Sind Informationen über Leitungsführung und -dämmung nicht bekannt, kann als Anhaltswert ein Wert von 10 kWh/( $m^2a$ ) verwendet werden.

- **Wärmeverluste Warmwasserverteilung und –speicherung  $q_{W,d+s}$ :** In dem vorliegenden vereinfachten Rechenschema wird die Heizwärmegutschrift nicht gesondert ausgewiesen. Dementsprechend werden hier effektive Wärmeverluste betrachtet – also die Differenz zwischen Wärmeverlust und Heizwärmegutschrift. Die ( $A_N$ -bezogenen) effektiven Wärmeverluste nach DIN V 4701-10 hängen von der Gebäudegröße und von der Anordnung der Leitungen ab. Für EFH ergeben sich etwa 2 bis 4 kWh/( $m^2a$ ) für Systeme ohne Zirkulation und 5 bis 10 kWh/( $m^2a$ ) für Systeme mit Zirkulation. Für MFH mit Zirkulation liegen die Werte etwa bei 4 kWh/( $m^2a$ ) bei Verteilung innerhalb der thermischen Hülle. Liegen die horizontalen Stränge unter der Kellerdecke, ergeben sich 7 kWh/( $m^2a$ ).

Hinzu kommen effektive Speicherwärmeverluste, die je nach Gebäudegröße und Aufstellungs-ort zwischen 0,2 und 4,0 kWh/( $m^2a$ ) liegen.

Insgesamt ergibt sich daraus eine Spanne (wohnflächenbezogen) von etwa 5 bis 15 kWh/( $m^2a$ ), wobei für EFH ohne Zirkulation und für Mehrfamilienhäuser mit Zirkulation die Werte eher bei 5 bis 10 kWh/( $m^2a$ ), für EFH mit Zirkulation eher bei 10 bis 15 kWh/( $m^2a$ ) liegen.

Sind Informationen über Leitungsführung und -dämmung nicht bekannt, kann als Anhaltswert ein Wert von 10 kWh/( $m^2a$ ) verwendet werden.

## Wärmeverluste $q_{NW,d}$ und Hilfsenergie $q_{E,HE}$ von Nahwärmesystemen

Die für verschiedene Siedlungstypen genannten Werte wurden auf Grundlage von Angaben in der Arbeit [Boese 2001] abgeschätzt.

### Hilfsenergie $q_{E,HE}$

Die Bereiche und Anhaltswerte für den Hilfsstrombedarf basieren weitgehend auf [Loga et al. 2004].

## 4.2.4 Thermische Solaranlage zur Versorgung von Einzelgebäuden: Wärmebeitrag $q_{Sol}$ bzw. $D_{Sol}$

Die Wärmelieferung von Solaranlagen ist generell sehr stark von der gewählten Auslegung abhängig: Hier wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Möglichkeiten der Solartechnik im Bereich des praktisch Sinnvollen ausgeschöpft werden.

### Solaranlagen zur Warmwasserbereitung

Die DIN V 4701-10 nennt in Anhang C Werte für den solaren Deckungsgrad an der Warmwasserbereitung  $D_{Sol,W}$ , die im Bereich von 40 % bis 60 % liegen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass bei einer normalen Auslegung ein Deckungsgrad von ca. 50 % erreicht werden kann. Die Wärmelieferung der Solaranlage berechnet sich dann zu:  $q_{Sol} = D_{Sol,W} \times q^*_W$

Bei üblichen Werten für  $q^*_W$  zwischen 20 und 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) sollte  $q_{Sol}$  im Bereich von 10 bis 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegen, als Anhaltswert wird 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) gewählt.

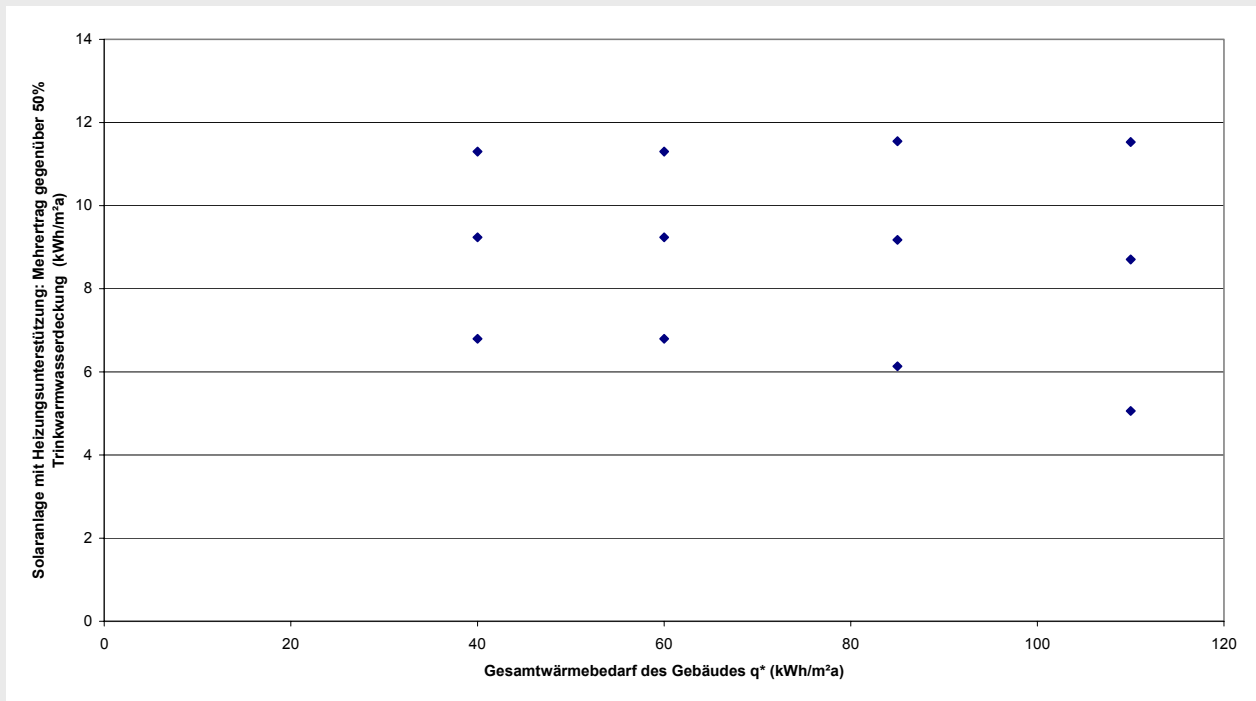
Wenn  $q^*_W$  stärker vom Standardwert abweicht oder variabel ist, sollte die Berechnung eher mit dem Deckungsanteil  $D_{Sol,W}$  durchgeführt werden (siehe Rechenhilfe in Abbildung 18).

### Solaranlagen zur Heizungsunterstützung

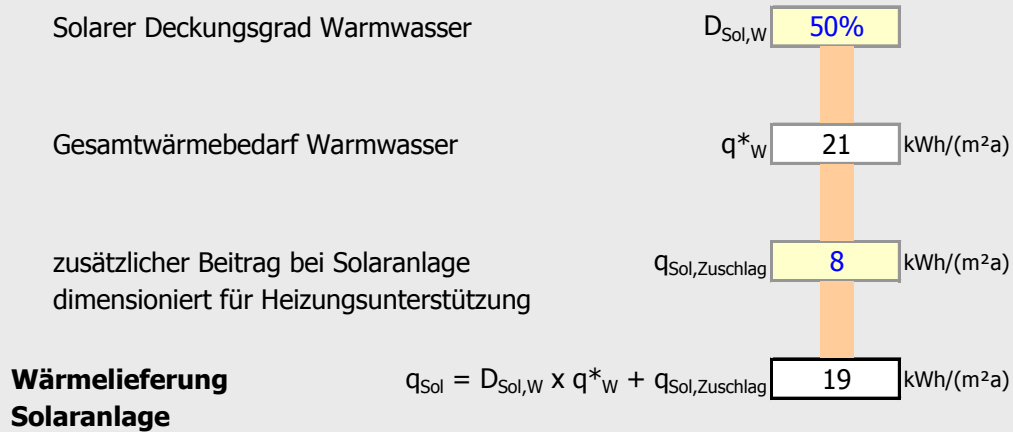
Diese Anlagen sind größer dimensioniert als reine Brauchwasseranlagen. Im Sinne einer vereinfachten Betrachtung kann man davon ausgehen, dass sie im Sommerhalbjahr den Warmwasserbedarf rechnerisch vollständig abdecken können, die entsprechende Wärmelieferung beträgt  $0,5 \times q^*_W$ . Der zusätzliche Ertrag im Winter lässt sich, wie Auswertungen mit dem auf Simulationsrechnungen beruhenden Berechnungsschema aus [Boese 2001] zeigen, recht gut durch einen festen Zuschlag abschätzen. Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse der Berechnung. Die drei Werte übereinander entsprechen jeweils einer Anlagenauslegung von 0,06 / 0,08 bzw. 0,1 m<sup>2</sup> Kollektorfläche pro m<sup>2</sup> Wohnfläche. Für den Wärmebedarf wurden folgende Paarungen  $q^*_W/q^*_H$  angenommen: 20/20, 20/40, 25/60, 30/80 (jeweils in kWh/(m<sup>2</sup>a)).

Abhängig von der Anlagengröße ist der Zuschlag einigermaßen konstant. Bei entsprechender Anlagenauslegung sind 6 bis 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreichbar. Als Anhaltswert werden 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) angesetzt. Nach den Auswertungen des Projekts „Sustainable Solar Housing“ (Kap. 3.5) ist bei Gebäuden mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf eventuell eine vorsichtigere Abschätzung angebracht.

**Abbildung 17:** Beispielberechnungen zur Wärmelieferung von Solaranlagen mit Heizungsunterstützung



**Abbildung 18:** Rechenhilfe – Wärmelieferung thermische Solaranlage (Beispielberechnung)



	je nach Auslegung	Anhaltswert
$D_{Sol,W}^*$	40% ... 60%	50%

\*) bei Solaranlagen mit Heizungsunterstützung Festwert 50%

	je nach Auslegung	Anhaltswert
$q_{Sol,Zuschlag}$	6 ... 12	8 kWh/(m²a)

#### 4.2.5 Solare Nahwärme: Wärmeeinspeisung $D_{NW,Sol}$ bzw. $q_{NW,Sol}$

##### Nahwärme-Solaranlagen zur Warmwasserbereitung

Wenn eine Kollektoranlage mit Einspeisung in ein Nahwärmenetz allein der Brauchwassererzeugung dient, ist wie bei den Gebäude-Solaranlagen die Annahme eines Deckungsgrades von 50 % plausibel. Dabei ist davon auszugehen, dass die Wärmeverluste des Nahwärmesystems im Sommer mit abgedeckt werden.

$$q_{NW,Sol} = D_{Sol,W} \times (q^*_W + q_{NW,d})$$

( $D_{Sol,W}$  zwischen 40 und 60%, Anhaltswert 50%)

##### Nahwärme-Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung

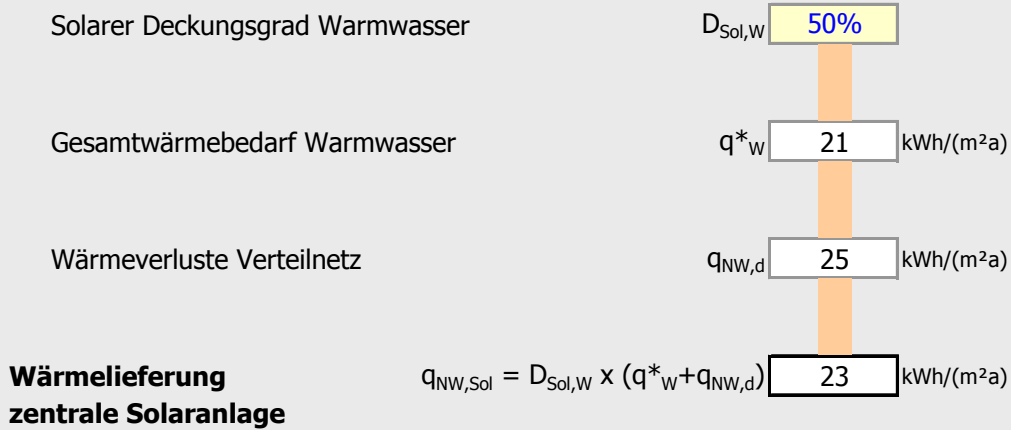
Die Höhe der Wärmelieferung ist stark von der Auslegung im Einzelfall abhängig, es können keine Anhaltswerte gegeben werden. Als vorläufige Obergrenze für den solaren Deckungsgrad am Gesamtwärmebedarf (inklusive Nahwärme-Verteilungsverlusten) kann bei Einsatz eines saisonalen Wärmespeichers ein Wert von ca. 50 % gelten. In dieser Größenordnung lagen die mit Messungen nachgewiesenen Maximalwerte entsprechender Modellvorhaben zur solaren Nahwärme [Fisch 2001, Schmidt et al. 2004].

$$q_{NW,Sol} = D_{Sol} \times (q^* + q_{NW,d})$$

Maximalwert bei Einsatz eines saisonalen Großwärmespeichers:  $D_{Sol} = 50\%$ .

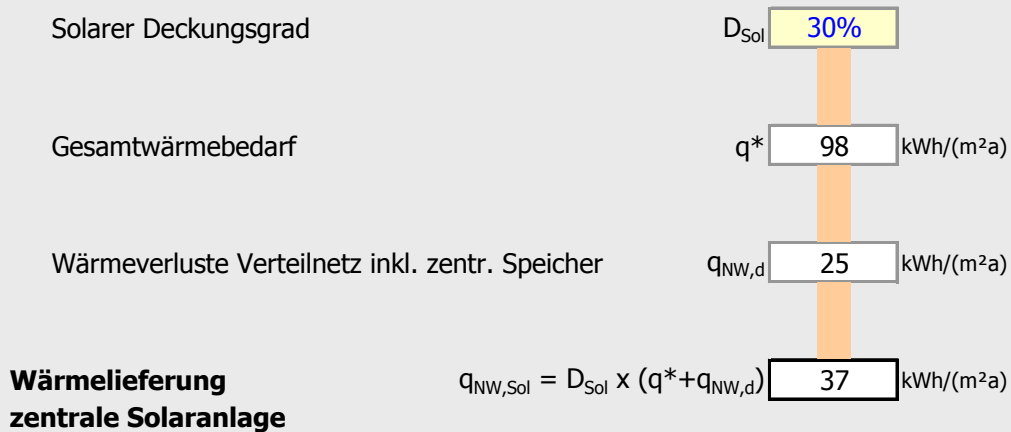
**Abbildung 19: Rechenhilfe – solare Nahwärme (Beispielberechnung)**

**Nahwärme-Solaranlagen zur Warmwasserbereitung**



	je nach Auslegung	Anhaltswert
<b><math>D_{Sol,W}</math></b>	40% ... 60%	50%

**Nahwärme-Solaranlagen zur WW-Bereitung und Heizungsunterstützung**



	je nach Auslegung*
<b><math>D_{Sol}</math></b>	bis 50%

\*) stark von Auslegung im Einzelfall abhängig => detailliertere Berechnung erforderlich

#### 4.2.6 Aufwandszahlen der Wärmeerzeugung $e_g$

Es wurden, nicht zuletzt auf Grund der in Kapitel 3 dokumentierten Erfahrungen, größere Bandbreiten angegeben. Diese, wie auch die genannten Anhaltswerte, spiegeln nicht unbedingt einen mittleren Bereich bzw. den Mittelwert der ausgewerteten Messungen wider, sondern liegen in der Regel etwas darüber. Es wird davon ausgegangen, dass einige sehr ungünstige Messwerte durch defekte, fehlerhaft installierte oder aus sonstigen, vermeidbaren Gründen ineffizient arbeitende Anlagen hervorgerufen wurden. Die Anhaltswerte und Bandbreiten sollen aber demgegenüber die bei sorgfältiger Planung und Installation und Betrieb erreichbaren Effizienzwerte der Technologien angeben.

Die für Heizkessel gewählten Werte liegen zwischen den Angaben der DIN V 4701-10 und den Messwerten des Feldtests. Bei den Erdreich- und Außenluftwärmepumpen wurden insbesondere die Ergebnisse des sehr umfangreichen und ausführlich dokumentierten schweizerischen Feldtests berücksichtigt. Im Fall der Abluftwärmepumpen wurden ungefähr die Werte des Baugebiets Offenbach angesetzt. Auf die der Wärmeerzeugung zuzurechnende Erzeugeraufwandszahl von Blockheizkraftwerken wird in Abschnitt 4.2.8 näher eingegangen. Für die selten eingesetzten Gasmotor-Wärmepumpen wurden keine Modellprojekte ausgewertet, die angegebene Bandbreite der Aufwandszahlen liegt im unteren Bereich ( $e_g \cong 0,7$ ) in der Nähe der in [Boese/Diefenbach 2000] für größere Aggregate (mehrere 100 kW) angegebenen Werte, bei kleineren Leistungen ist tendenziell mit höheren Aufwandszahlen zu rechnen.

#### 4.2.7 Deckungsgrade der Wärmeerzeuger $D_{\text{Grund}}$ und $D_{\text{Spitze}}$

Die Höhe der erreichbaren Deckungsgrade effizienter Wärmeerzeuger ist von entscheidender Bedeutung für die Effizienz des Gesamtsystems. Dies zeigen insbesondere die Beispiele Abluft-Wärmepumpen und BHKW in den ausgewerteten Modellprojekten: Wenn deren Beiträge zu niedrig sind und der Hauptanteil der Wärme über weniger effiziente Spitzenlast-Wärmeerzeuger bereitgestellt wird, lassen sich kaum befriedigende Werte für die primärenergetischen Aufwandszahlen des Gesamtsystems erreichen.

Im vorliegenden Zusammenhang ist also ein einfaches Schema gefragt, welches dem Anwender in Abhängigkeit von der gewählten Anlagenkonfiguration (z.B. von der Leistung des effizienten Grundlast-Wärmeerzeugers) einen Anhaltswert für den zu erwartenden Deckungsgrad liefert.

Bei der Durchsicht existierender Verfahren (insbesondere der Ansätze in der DIN V 4701-10) wurde festgestellt, dass die vorhandenen Algorithmen nur teilweise auf die vorliegende Fragestellung anwendbar waren. Es war daher notwendig, ein eigenständiges Schema zur Abschätzung von Deckungsgraden zu entwickeln. Dieses Schema ist im Folgenden kurz dargestellt. Für die angestrebte sehr einfache Anwendung ist es noch zu umfangreich, deshalb werden jeweils auch Anhaltswerte für das praxistaugliche Schema angegeben (Abbildung 16).



## Ausführlicher Berechnungsansatz

Das Verfahren wird hier für den Fall der Wärmeerzeugung im Gebäude beschrieben.

Das eigentliche Heizsystem des Gebäudes, das durch die Solaranlage in der Regel nur ergänzt wird, kann als Basisheizsystem bezeichnet werden. Es muss die Energie  $q_{\text{Netto}}$  bereitstellen ( $q_{\text{Netto}} = q^* - q_{\text{Sol}}$ , s. Berechnungsblatt).

Im Fall eines monovalenten Basisheizsystems wird diese Wärmemenge von dem einzigen Wärmeerzeuger bereitgestellt. Es gilt  $q_{\text{Grund}} = q_{\text{Netto}}$ ,  $D_{\text{Grund}}=1$ . Hier ist keine weitere Betrachtung notwendig

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf ein bivalentes Basisheizsystem, d.h. das Basis-Heizsystem besteht aus Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeuger insbesondere Wärmepumpe + Kessel, Wärmepumpe + elektrischer Heizstab, Mini-BHKW + Kessel.

Die Wärmelieferung des Grundlast-Wärmeerzeuger hängt insbesondere von seiner Leistung ab<sup>35</sup>.

$p_{\text{Grund,th}}$  : thermische Leistung des Grundlast-Wärmeerzeugers (d.h. der Wärmepumpe oder des BHKW) in Watt pro m<sup>2</sup> Wohnfläche (W/m<sup>2</sup>)

Die Leistung ist in der Regel innerhalb eines größeren Bereichs wählbar, bei Abluft-Wärmepumpen ist die Wärmeproduktion aber vom eingestellten Luftwechsel des Gebäudes abhängig, der sich in relativ engen Grenzen bewegt. In Anlehnung an die DIN V 4701-10 kann daher bei Abluftwärmepumpen der folgende Anhaltswert angesetzt werden:  $p_{\text{Grund,th}} = 9 \text{ W/m}^2$ .

Die Wärmeerzeugung des Grundlast-Systems hängt auch davon ab, ob gleichzeitig auch eine Solaranlage zur Wärmeproduktion beiträgt. Es werden vier Fälle unterschieden:

Fall 1: Keine Solaranlage vorhanden ( $q_{\text{Sol}} = 0$ )

Fall 2:  $q_{\text{Sol}} \leq \frac{1}{2} q^*_w$

Fall 3:  $\frac{1}{2} q^*_w < q_{\text{Sol}} \leq q^*_w$

Fall 4:  $q_{\text{Sol}} > q^*_w$

Die Fälle „Winter“ (=Heizperiode) und „Sommer“ (=Rest des Jahres) werden separat betrachtet. Auch hier wird angenommen, dass bei den betrachteten Niedrigenergiehäusern Sommer und Winter gleich lang sind, d.h.  $\frac{1}{2}$  Jahr betragen ( $t_{\text{Winter}} = t_{\text{Sommer}} = 182,5$  Tage pro Jahr = 4380 h/a „Stunden pro Jahr“ = 4,38 kh/a „Kilo-Stunden pro Jahr“)

<sup>35</sup> Es ist hier noch einmal darauf hinzuweisen, dass der Deckungsgrad der Wärmepumpe hier im Sinne einer plausiblen Energiebilanz grob abgeschätzt wird. Das Verfahren ist nicht dazu geeignet zu entscheiden, ob eine monovalente Anlage vorliegt, d.h. auf den Einbau einer Zusatzheizung verzichtet werden kann.

**Sommerfall:**

Der Wärmebedarf des Gebäudes im Sommer wird nur durch die Warmwasserbereitung verursacht:  $q^*_{\text{Sommer}} = q^*_{\text{W,Sommer}} = \frac{1}{2} q^*_W$

Es wird angenommen, dass die evtl. vorhandene Solaranlage ihre Energie vorrangig im Sommer bereitstellt. Damit ergeben sich für die Wärme, die durch das Basis-Heizsystem erzeugt werden muss, die folgenden Gleichungen:

$$\begin{aligned} q_{\text{Basis,Sommer}} &= \frac{1}{2} q^*_W && \text{(Fall 1)} \\ & \frac{1}{2} q^*_W - q_{\text{Sol}} && \text{(Fall 2)} \\ & 0 && \text{(Fall 3 oder Fall 4)} \end{aligned}$$

Die Wärme des Basis-Heizsystems wird vom Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeuger gedeckt. Der Grundlast-Wärmeerzeuger liefert bei ausreichender Leistung die vollständige Wärmemenge. Bei zu geringer Leistung liefert er den maximal möglichen Betrag, d.h. er läuft während der ganzen Zeit unter Vollast:

$$q_{\text{Grund,Sommer}} = \begin{cases} q_{\text{Basis,Sommer}} & \text{falls: } q_{\text{Basis,Sommer}} \leq p_{\text{Grund,th}} \times t_{\text{Sommer}} \\ p_{\text{Grund,th}} \times t_{\text{Sommer}} & \text{sonst} \end{cases}$$

Den Rest deckt der Spitzenlast-Wärmeerzeuger:  $q_{\text{Spitze,Sommer}} = q_{\text{Basis,Sommer}} - q_{\text{Grund,Sommer}}$

**Winterfall (Heizperiode HP):****Trinkwarmwasser im Winter:**

Wärmebedarf des Gebäudes für Trinkwarmwasser im Winter:

$$q^*_{\text{W,Winter}} = \frac{1}{2} q^*_W$$

Der Beitrag des Basis-Heizsystems zur Warmwasserbereitung beträgt:

$$\begin{aligned} q_{\text{W,Basis,Winter}} &= \frac{1}{2} q^*_W && \text{(Fall 1, Fall 2)} \\ & q^*_W - q_{\text{Sol}} && \text{(Fall 3)} \\ & 0 && \text{(Fall 4)} \end{aligned}$$

Dabei wurde zur Vereinfachung der Berechnung angenommen, dass die Solaranlage auch im Winter vorrangig der Warmwasserbereitung dient. Dies ist bei Anlagen zur Heizungsunterstützung im Allgemeinen nicht der Fall, für das vorliegende Abschätzungsverfahren ist es aber nicht entscheidend, ob die Solarwärme bei der Heizung oder bei der Warmwasserbereitung verbucht wird.

Davon trägt der Grundlast-Wärmeerzeuger:

$$q_{\text{W,Grund,Winter}} = q_{\text{W,Basis,Winter}} \text{ falls } q_{\text{W,Basis,Winter}} \leq p_{\text{Grund,th}} \cdot t_{\text{Winter}}$$

$$p_{\text{Grund,th}} \cdot t_{\text{Winter}} \quad \text{sonst}$$

### Heizung im Winter:

Für die weitere Berechnung sind zwei Definitionen notwendig:

Leistung des Grundlast-Wärmeerzeugers zur Heizung:

$$p_{\text{Grund,th,H}} = p_{\text{Grund,th}} - q_{\text{W,Grund,Winter}}/t_{\text{Winter}}$$

Leistungskenngröße:

$$a_H = p_{\text{Grund,th,H}} / q^*_{\text{H}} \quad [\text{W/m}^2] / [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] = [\text{a/kh}] \quad ^{36}$$

Der Beitrag des Basis-Heizsystems zur Warmwasserbereitung beträgt:

$$q_{\text{H,Basis,Winter}} = \begin{array}{ll} q^*_{\text{H}} & \text{(Fall 1, Fall 2, Fall 3)} \\ q^*_{\text{H}} + q^*_{\text{W}} - q_{\text{Sol}} & \text{(Fall 4)} \end{array}$$

Davon trägt der Grundlast-Wärmeerzeuger:

$$q_{\text{H,Grund,Winter}} = \begin{array}{ll} p_{\text{Grund,th,H}} \times t_{\text{Winter}} & \text{falls } a_H \leq 0,18 \text{ a/kh} \\ D_{\text{Grund,H}} \times q_{\text{H,Basis,Winter}} & \text{falls } 0,18 \text{ a/kh} < a_H \leq 0,3 \text{ a/kh} \\ q_{\text{H,Basis,Winter}} & \text{falls } a_H > 0,3 \text{ a/kh} \end{array}$$

Der Deckungsgrad des Grundlast-Wärmeerzeugers an der Heizwärmeerzeugung des Basissystems beträgt im Bereich  $0,18 \text{ a/kh} < a_H < 0,3 \text{ a/kh}$ .

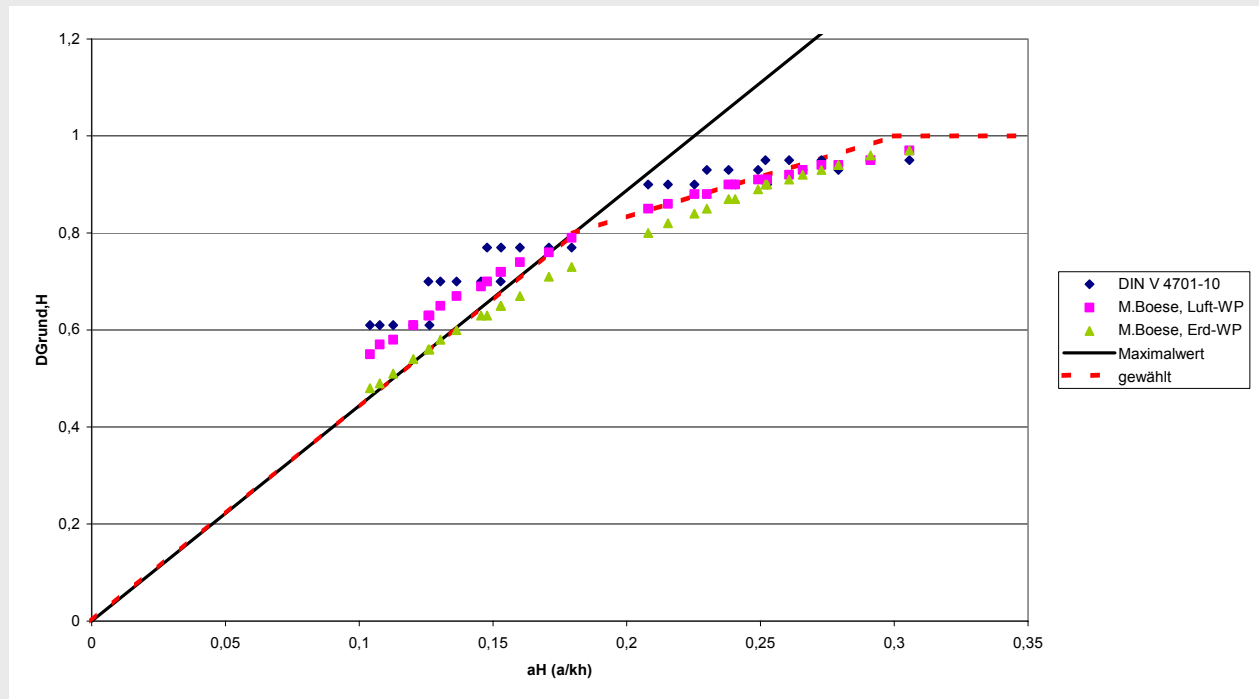
$$D_{\text{Grund,H}} = 5/3 \text{ kh/a} \cdot a_H + 0,5$$

Die Begründung für den gewählten Ansatz ist in der folgenden Abbildung gegeben. Ausgewertet wurden die Angaben der DIN V 4701 (im Prinzip für alle denkbaren Grundlast-Wärmeerzeuger anwendbar) und die Untersuchungen von M. Boese zu Luft- und Wasser-Wärmepumpe [Boese 2001]. Die dort verwendeten Leistungskenngrößen  $\mu$  (DIN V 4701-10) bzw.  $\alpha$  (M.Boese) wurden in den hier verwendeten Kennwert  $a_H$  umgerechnet<sup>37</sup>.

<sup>36</sup> Anmerkung: a/kh bedeutet Jahre pro Kilostunden, da ein Jahr 8760 Stunden (8,76 kh) hat, könnte man  $a_H$  daher auch als dimensionslose Zahl schreiben.

<sup>37</sup> Im Fall der Norm wurde dabei die Nennleistung des Wärmeerzeugers zur Deckung der Grundlast  $q_{\text{GB}}$  gleich  $p_{\text{th,H}}$  gesetzt und es wurde die Formel zu Umrechnung von  $q_H$  in die Nennleistung verwendet.

**Abbildung 20 Auswertungen zum Deckungsgrad des Grundlast-Wärmeerzeugers zur Heizwärmeerzeugung (nach Abzug eines solaren Beitrags)**



Die durchgezogene schwarze Linie entspricht der maximalen Wärmeproduktion aufgrund der zur Verfügung stehenden Heizleistung bei bekannter Länge der Heizperiode<sup>38</sup>. Eine Überschreitung ist grundsätzlich nicht möglich. Im Fall der Werte von M.Boese war die Länge der Heizperiode nicht vorgegeben. Im Fall der DIN V 4701-10 wird dagegen von 185 Tagen ausgegangen. Die dort angegebenen Werte zur Ermittlung des Deckungsgrads korrespondieren offensichtlich nicht mit diesem Ansatz, sondern liegen teilweise (im Bereich  $a_H = 0,1..0,2$  a/kh) zu hoch.

Im vorliegenden Fall wurde die gestrichelte Linie angesetzt: Bei kleiner Leistungsauslegung sind gestrichelte und durchgezogene Linie identisch, der Grundlastwärmeerzeuger läuft durchgehend mit maximal möglicher Leistung, bei  $a_H=0,18$  a/kh wird so ein Deckungsgrad von 80 % erreicht. Oberhalb von  $a_H=0,3$  a/kh beträgt der Deckungsgrad 1. Im Zwischenbereich wird linear interpoliert.

*Zusammenfassung: Gesamtes Jahr:*

Wärmeproduktion des Grundlast-Wärmeerzeugers:

$$q_{\text{Grund}} = q_{\text{Grund,Sommer}} + q_{\text{W,Grund,Winter}} + q_{\text{H,Grund,Winter}}$$

Wärmeproduktion des Spitzenlast-Wärmeerzeugers:

$$q_{\text{Spitze}} = q_{\text{netto}} - q_{\text{Grund}}$$

<sup>38</sup>  $q_{\text{Grund,H,Winter}} = p_{\text{th,H}} \times t_{\text{Winter}}$ , bei der Auswertung wurde wie in DIN V 4701-10 angesetzt:  $t_{\text{winter}} = t_{\text{HP}} = 185$  Tage, die Darstellung gilt also in sehr guter Näherung auch für  $t_{\text{Winter}}=182,5$  Tage.

Deckungsgrade von Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeuger:

$$D_{\text{Grund}} = q_{\text{Grund}}/q_{\text{netto}}$$

$$D_{\text{Spitze}} = 1 - D_{\text{Grund}}$$

*Übertragung auf andere Fälle:*

Hier soll noch auf zwei Fälle hingewiesen werden, die sich im Prinzip nach den gleichen Prinzipien behandeln lassen, hier aber nicht ausführlich dargestellt werden:

- Beim beschriebenen Verfahren wurde davon ausgegangen, dass der Grundlast-Wärmeerzeuger sowohl zur Heizung als auch zur Warmwasserbereitung beiträgt. Der Fall getrennter Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser ist entsprechend einfacher: Heizung und Warmwassererzeugung können unabhängig voneinander behandelt werden<sup>39</sup>.
- Im Fall eines Nahwärmesystems sind die zusätzlichen Verluste des Nahwärmenetzes zu beachten. Sie wären in der Berechnung weitgehend ähnlich zu behandeln wie das Trinkwarmwasser inklusive Verteilverlusten  $q^*_w$ , d.h. im Winterfall wären sie bei der Energiebilanz im Abschnitt Warmwasserbereitung zu berücksichtigen. Eine besondere Aufmerksamkeit ist bei Gebäude-Solaranlagen geboten: Hier ist zu entscheiden, ob diese im Sommer die Warmwasserbereitung alleine übernehmen können, so dass dann das Nahwärmesystem ausgeschaltet werden könnte (Halbierung der Jahresverluste, die dann nur in der Heizperiode aufträten).

---

<sup>39</sup> Das Verfahren beinhaltet eine Vereinfachung, da ja bei den Verteilverlusten des Warmwassersystems die Heizwärmegutschrift subtrahiert wurde. Auf diese Weise wird die Wärmeproduktion des Warmwasser-Wärmeerzeugers etwas unterschätzt und die des Heizwärmesystems etwas überschätzt.

## Vereinfachtes Schema

Mit dem dargestellten Berechnungsverfahren wurden Beispielanalysen durchgeführt, um einfach handhabbare Anhaltswerte für den Deckungsgrad zu erhalten.

Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse für BHKW und Außenluft/Erdreich-Wärmepumpen einerseits und Abluftwärmepumpen andererseits.

Beim BHKW und den größeren Wärmepumpen wird der Deckungsgrad abhängig von einer dimensionslosen Kenngröße  $b$  angegeben:

$$b = p_{\text{th,Grund}} \cdot 8,76 \text{ kh/a} / (q^* + q_{\text{d,NW}}) \quad (p_{\text{th,Grund}}: \text{W/m}^2, q^*: \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}), b: \text{dimensionslos})$$

Der Zähler des Bruchs gibt die Energie an, die das Grundlastsystem erzeugen könnte, wenn es über das ganze Jahr ( $8760 \text{ h} = 8,76 \text{ kh}$ ) unter Volllast laufen würde, im Nenner steht der Gesamtwärmebedarf (unter Berücksichtigung aller Verteilungsverluste, aber ohne etwaige solare Beiträge).

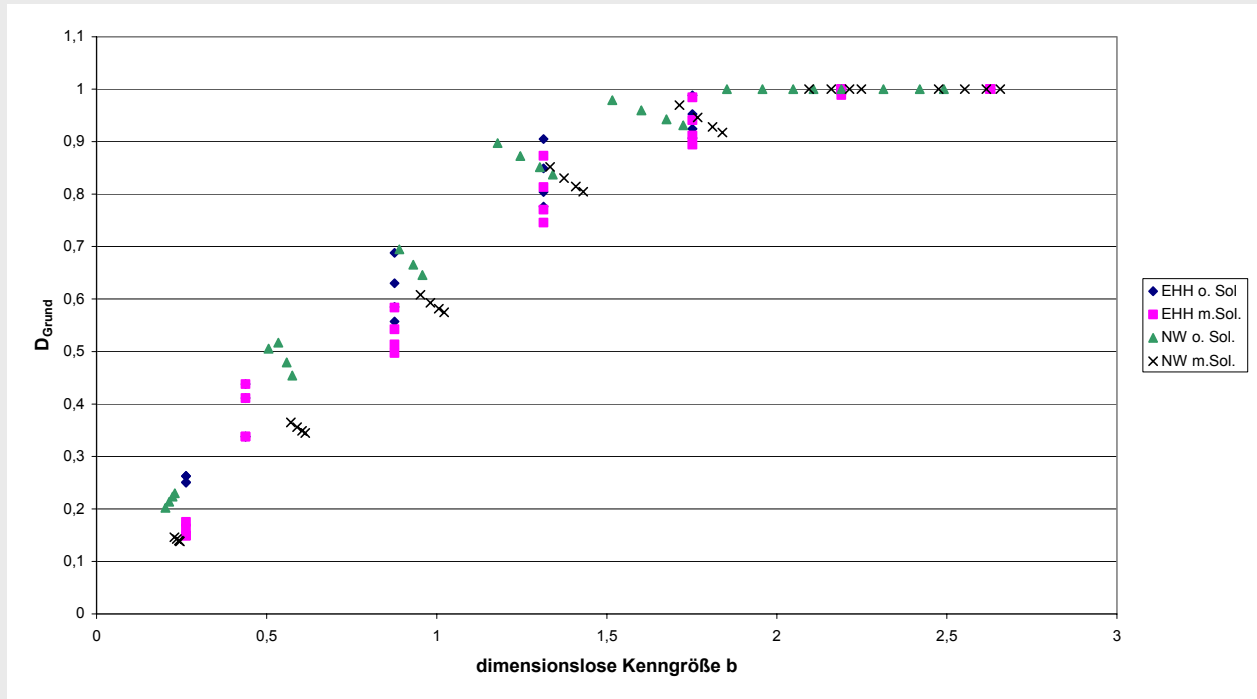
Bei der in ihrer Leistung von vornherein begrenzten Abluftwärmepumpe<sup>40</sup> hängt das Ergebnis vor allem vom Heizwärmebedarf des Gebäudes ab.

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Berechnungen, die den tabellierten Werten zu Grunde liegen. Es wurden jeweils Fälle mit einem Netto-Heizwärmebedarf von 70, 50, 30 und 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) (bei der Abluftwärmepumpe: Netto- = Brutto-Heizwärmebedarf von 35, 40 50 und 60 kWh/(m<sup>2</sup>a)) mit und ohne Solaranlage zur Warmwasserbereitung betrachtet. Im Fall mit Nahwärme wurden Verteilungsverluste des Nahwärmesystems von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) angesetzt. Für die Wärmeverteilung und -speicherung im Gebäude wurden für Heizung und Warmwasser je 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) angesetzt.

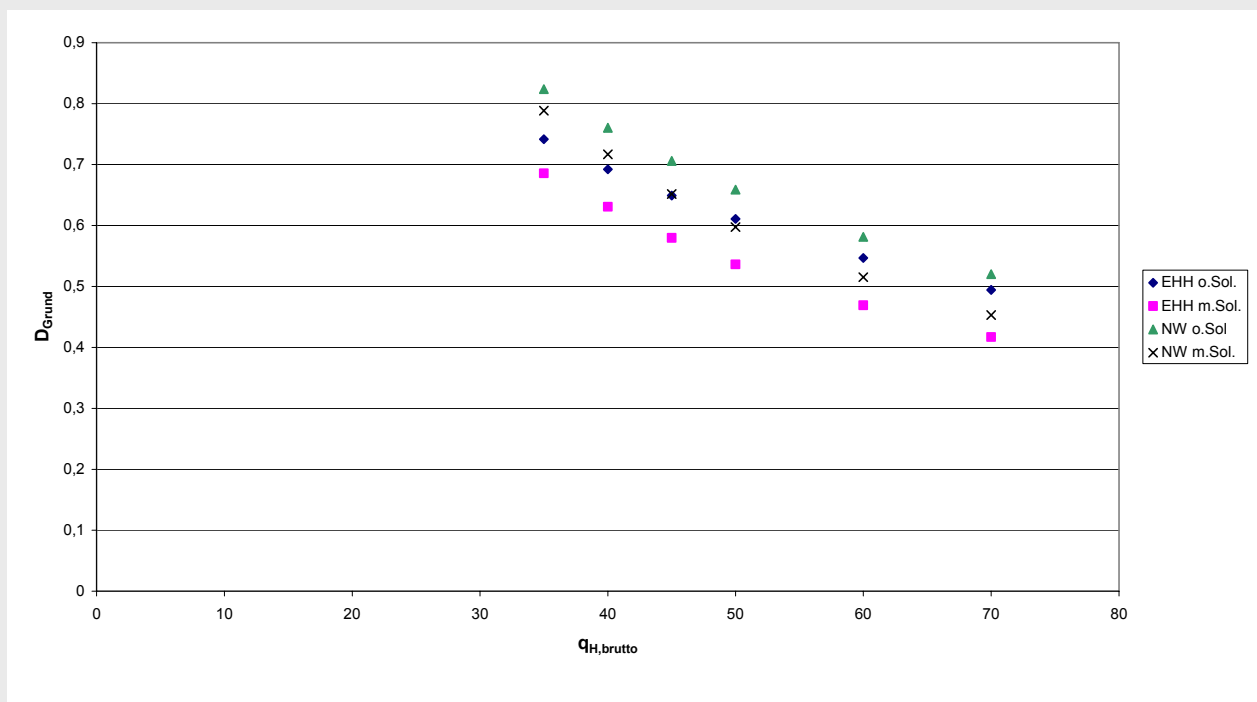
---

<sup>40</sup> Insbesondere in Passivhäusern werden häufig auch im Zusammenhang mit kontrollierten Lüftungsanlagen Wärmepumpen eingesetzt, um der bereits durch einen Wärmetauscher abgekühlten Abluft noch einmal Wärme zu entziehen. Diese Anlagen werden als „Fortluftwärmepumpen“ bezeichnet und hier nicht näher behandelt.

**Abbildung 21 Berechnungen zur Auslegung von BHKW und Wärmepumpen (EHH: Einzelhausheizung, NW: Nahwärme, o./m. Sol.: ohne/mit Solaranlage zur Warmwasserbereitung)**

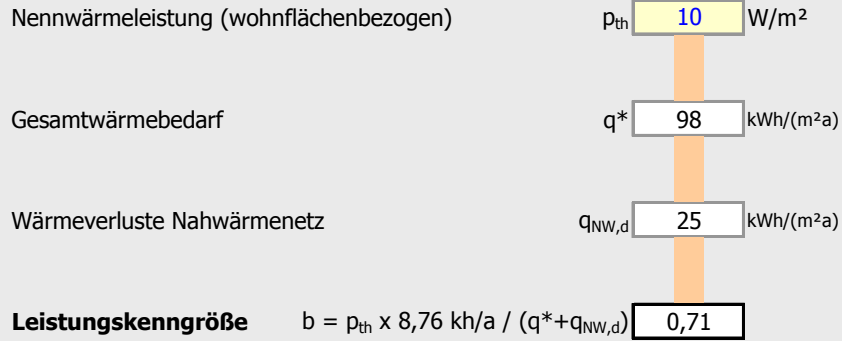


**Abbildung 22 Berechnungen zur Auslegung von Abluft-Wärmepumpen (EHH: Einzelhausheizung, NW: Nahwärme, o./m. Sol.: ohne/mit Solaranlage zur Warmwasserbereitung)**



**Abbildung 23:** Rechenhilfe – Deckungsanteil von Grundlast-Wärmeerzeugern (Beispielberechnung)

**BHKWs und bivalente Wärmepumpen**



**Deckungsanteil Grundlast**  $D_{Grund}$  (aus Tabelle) **51%** *ohne Solaranlage*

b	$D_{Grund}$	
	ohne Solaranlage	mit Solaranlage
0,30	25%	20%
0,50	40%	30%
1,00	65%	55%
1,50	85%	85%
1,75	95%	95%
2,00 und mehr	100%	100%

**Abluft-Wärmepumpen**

Heizwärmebedarf  $q_{H,Brutto}$  **70** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Deckungsanteil Grundlast**  $D_{Grund}$  (aus Tabelle) **50%** *ohne Solaranlage*

$q_{H,Brutto}$ = $q_{H,Netto}$ *	$D_{Grund}$	
	ohne Solaranlage	mit Solaranlage
35 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,75	0,70
40 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,70	0,65
50 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,65	0,60
60 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,55	0,50
70 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,50	0,45

\*) Werte gelten nur für Abluft-Wärmepumpen ohne LWRG



#### 4.2.8 Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (insbesondere BHKW): (Äquivalente) Aufwandszahl der Wärmeerzeugung $e_g$

Eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage erzeugt gleichzeitig Wärme und elektrischen Strom. Für die Bilanzierung von Wärmeversorgungssystemen muss die Aufwandszahl der Wärmeerzeugung ermittelt werden. Dafür muss ein Teil des in der Anlage eingesetzten Brennstoffs der Wärmeproduktion zugeordnet werden. Wie diese Zuordnung vorgenommen wird, ist ein Bewertungsproblem, es sind verschiedene Ansätze denkbar. In der Rechenhilfe werden die Ergebnisse von zwei Bewertungsmethoden verwendet, die bereits im Abschnitt 2.5.4 kurz dargestellt wurden<sup>41</sup>. In jedem Fall hängt die Aufwandszahl der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage vom elektrischen und thermischen Nutzungsgrad  $\eta_{el,KWK}$  und  $\eta_{th,KWK}$  ab<sup>42</sup>.

#### Gesamteffizienzmethode

Der Gesamt-Effizienzvorteil der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage gegenüber der getrennten Wärme- und Stromerzeugung wird hier sowohl bei der Wärme- als auch bei der Stromerzeugung berücksichtigt. Die KWK-Anlage wird als die Kombination eines effizienten Kraftwerks und einer effizienten Wärmeerzeugungsanlage interpretiert. Für die Aufwandszahl der Wärmeerzeugung ergibt sich folgende Gleichung:

$$e_{g,Grund} = \frac{1}{\eta_{th,KWK} + \frac{2,3}{\eta_{NW,d}} \eta_{el,KWK}}$$

dabei ist  $\eta_{NW,d}$  der Verteilungsnutzungsgrad des Nahwärmesystems<sup>43</sup>:

$$\eta_{NW,d} = \frac{q_{Brutto,0}}{q_{NW,ges}}$$

<sup>41</sup> Näheres s. [Diefenbach 2002]

<sup>42</sup> Bei Blockheizkraftwerken kann der vom Hersteller angegebene elektrische und thermische Wirkungsgrad angesetzt werden. Dabei sollte der elektrische Netto-Wirkungsgrad verwendet werden, der den Eigenstromverbrauch der Anlage berücksichtigt und daher niedriger liegt als der Brutto-Wirkungsgrad.

<sup>43</sup> Der Faktor 2,3 gibt das Verhältnis der thermischen und elektrischen Nutzungsgrade der für das Verfahren angesetzten Referenzsysteme (Referenz-Heizkessel und Referenz-Kraftwerk) an.

## Stromgutschriftmethode

Der Brennstoffeinsatz der Wärmeproduktion wird ermittelt, indem von dem Gesamt-Brennstoffeinsatz der KWK-Anlage die Brennstoffmenge subtrahiert wird, die in einem Referenzkraftwerk benötigt würde, wenn dort die gleiche Menge elektrischer Energie wie in der KWK-Anlage produziert würde. Die Stromgutschriftmethode ist weit verbreitet, hat aber den Nachteil, dass ein Ungleichgewicht zwischen der Bewertung der Wärme- und Stromerzeugung besteht: Die KWK-Anlage wird als Kombination eines mittelmäßig effizienten Referenzkraftwerks und einer dementsprechend sehr effizienten Wärmeerzeugungsanlage aufgefasst. Je nach Verhältnis der elektrischen Nutzungsgrade der KWK-Anlage und des Referenzkraftwerks kann der Fall eintreten, dass die Aufwandszahl der Wärmeerzeugung in der KWK-Anlage zu Null berechnet wird (wie eine Solaranlage), oder sogar negative Werte annimmt, obwohl es sich ja immer noch um eine mit fossiler Energie betriebene Energieerzeugungsanlage handelt.

Die Aufwandszahl der Wärmeerzeugung berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$e_{g,Grund} = \frac{1 - \eta_{el,KWK} \frac{f_{p,el}}{f_p}}{\eta_{th,KWK}}$$

dabei sind:

$f_p$ : Primärenergiefaktor des in der KWK-Anlage eingesetzten Brennstoffs (z.B.  $f_p = 1,1$  bei Erdgas)

$f_{p,el}$ : Primärenergiefaktor der Referenz-Stromerzeugung (Durchschnittswert der Stromerzeugung:  $f_{p,el} = 2,7$ , Ansatz nach DIN V 4701-10 bzw. EnEV:  $f_{p,el} = 3,0$ )

**Abbildung 24:** Rechenhilfe KWK – Aufwandszahl der Wärmeerzeugung (Beispielberechnung)

Gesamtnutzungsgrad KWK-Modul

$\eta_{Ges,KWK}$  90%

elektrischer Nutzungsgrad KWK-Modul

$\eta_{el,KWK}$  30%

thermischer Nutzungsgrad KWK-Modul

$\eta_{th,KWK}$  60%

$= \eta_{Ges,KWK} - \eta_{el,KWK}$

**Gesamteffizienzmethode**

(Effizienzgewinn verbucht in den Sektoren Wärme und Strom)

Nutzungsgrad Nahwärmeverteilung

$\eta_{NW,d}$  0,80

(Äquivalente)

**Aufwandszahl Wärmeerzeugung**

$= 1 / (\eta_{th,KWK} + 2,3 / \eta_{NW,d+s} * \eta_{el,KWK})$

$e_{g,Grund}$  0,68

**Stromgutschriftmethode**

(Effizienzgewinn nur verbucht im Sektor Wärme)

Primärenergiefaktor Brennstoff (KWK-Anlage)

$f_p$  1,1

Primärenergiefaktor Strom (Referenz-Stromerz.)

$f_{p,el}$  2,7

(Äquivalente)

**Aufwandszahl Wärmeerzeugung**

$= (1 - \eta_{el,KWK} \times f_{p,el} / f_p) / \eta_{th,KWK}$

$e_{g,Grund}$  0,44

$P_{el}$ / $P_{th}$	$\eta_{el,KWK}$ Anhaltswert	$\eta_{th,KWK}$ Anhaltswert	$\eta_{Ges,KWK}$ Anhaltswert
4 kW / 10 kW	25%	65%	90%
9 kW / 20 kW	28%	62%	90%
25 kW / 50 kW	30%	60%	90%
55 kW / 100 kW	32%	58%	90%
120 kW / 200 kW	33%	57%	90%
300 kW / 500 kW	35%	55%	90%
700 kW / 1000 kW	37%	53%	90%
1000 kW / 1500 kW	38%	52%	90%

#### 4.2.9 Biomasse: Primärenergiefaktor $f_p$

Der in der Tabelle des Hauptrechenblatts angegebene Wert  $f_p=0,2$  berücksichtigt nur den Anteil nicht-erneuerbarer Energien, der zur Bereitstellung der Biomasse benötigt wird<sup>44</sup>. Wenn man davon ausgeht, dass die Biomasse aus nachhaltigem Anbau kommt, d.h. durch Verbrennen nur soviel Energie verbraucht wird, wie durch Nachwachsen wieder entsteht, ist dieser Ansatz formal gesehen korrekt.

Er führt allerdings dazu, dass auch schlecht wärmegeämmte Gebäude mit Biomasse-Heizung sehr niedrige Primärenergiebedarfswerte  $q_p$  erreichen. Problematisch ist dies, abgesehen von der auch bei Biomasseheizungen auftretenden Luftbelastung durch Schadstoffe, vor allem auf Grund des insgesamt begrenzten Potenzials der Biomasse: Es ist bei weitem zu gering, als dass jeder in Deutschland mit Biomasse heizen könnte. Ein sparsamer Umgang mit dieser Ressource ist also anzustreben. Eine Möglichkeit, dies bei der Ermittlung von  $q_p$  zu berücksichtigen, besteht darin, ein Budget für die Biomasse vorzugeben ( $q_{\text{BioBudget}}$  in kWh pro m<sup>2</sup> versorgter Wohnfläche und Jahr). Bis zur Ausschöpfung des Potenzials wird  $f_p=0,2$  angesetzt. Für den darüber hinaus gehenden Verbrauch an Biomasse wird auch der nachwachsende Energieanteil im Primärenergiefaktor berücksichtigt, d.h.  $f_p=1,2$ .

Die Höhe des Budgets hängt von den Annahmen zur künftigen Biomasseverwendung in Deutschland ab und kann daher nicht eindeutig vorgegeben werden. In [Diefenbach 2002] wird auf Basis einer Abschätzung des durchschnittlichen Biomassepotentials ein Anhaltswert von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben, aus Praktikabilitätsgründen erscheinen aber durchaus auch höhere Werte sinnvoll. Wir empfehlen, abhängig vom Kontext der Anwendung unseres Verfahrens im Einzelfall darüber zu entscheiden, ob und wie hoch ein Biomasse-Budget angesetzt wird.

Der Primärenergiefaktor der Biomasse ergibt sich dann nach folgender Gleichung:

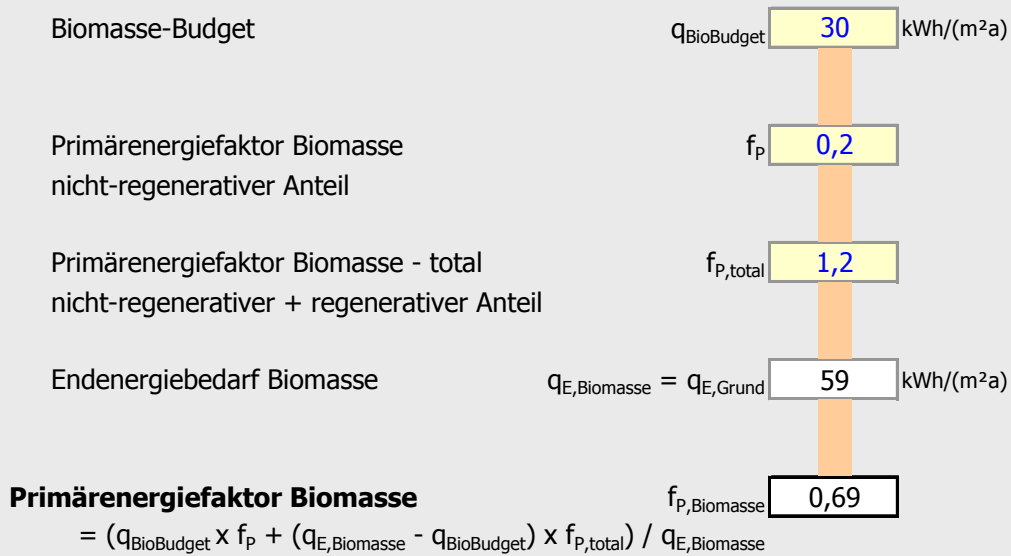
$$f_{P,Biomasse} = \frac{q_{\text{BioBudget}} \cdot 0,2 + (q_{E,Biomasse} - q_{\text{BioBudget}}) \cdot 1,2}{q_{E,Biomasse}}$$

Dabei ist  $q_{E,Biomasse}$  der Gesamt-Endenergiebedarf an Biomasse (im Rechenschema entspricht dies in der Regel – bei Einsatz eines Biomassensystems als Grundlast-Wärmeerzeuger – der Größe  $q_{E,Grund}$ ).

---

<sup>44</sup> Der Zahlenwert entspricht dem Ansatz für den Energieträger „Holz“ in der DIN V 4701-10.

**Abbildung 25:** Rechenhilfe Biomasse – Primärenergiefaktor bei Ansatz eines Biomasse-Budgets (Beispielberechnung)



## 5 Perspektiven für die Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern

### 5.1 Allgemeines

Im dem vorliegenden Bericht wurden Praxiserfahrungen aus Modellvorhaben mit verschiedenen Wärmeversorgungsanlagen für Niedrigenergiehäuser ausgewertet. Dabei handelte es sich in der Regel um aufwändigere Systeme mit dem Anspruch, im Einklang mit dem verbesserten Wärmeschutzstandard der Gebäude auch bei der Wärmeerzeugung einen Effizienzfortschritt zu erreichen. Die Ergebnisse zeigen, dass das im vorliegenden Projekt nachträglich formulierte Ziel einer Primärenergie-Aufwandszahl der Wärmeerzeugung von  $e_{p,g}=1,1$  (entsprechend einem sehr guten Brennwertkessel mit einem Erzeugeraufwandszahl  $e_g=1,0$  und dem Erdgas-Primärenergiefaktor  $f_p=1,1$ ), teilweise erreicht und deutlich überschritten, teilweise aber auch sehr deutlich unterschritten wurde. Häufig wiesen gleichartige Systeme in einigen Anwendungsfällen positive, in anderen negative Ergebnisse auf. Dies zeigt, dass – aus Anwendersicht gesprochen – das positive Image eines energiesparenden Wärmeerzeugungssystems allein noch keine Garantie für erfolgreiche Ergebnisse in der Praxis darstellt. In Zukunft sollte Folgendes beachtet werden:

- Bevor die Entscheidung für den Einsatz eines bestimmten Systems getroffen wird, sollte eine grobe Energiebilanz des Gebäudes (bzw. Wohngebiets) inklusive Wärmeversorgungssystem aufgestellt werden, um zu klären, ob in der vorliegenden Situation mit dem in Erwägung gezogenen Versorgungskonzept überhaupt eine gute Energieeffizienz erwartet werden kann. Auf diese Weise könnten Fälle vermieden werden, in denen schon aus der Anlagenkonfiguration klar hervorgeht, dass selbst bei störungsfreiem Betrieb z.B. die Verteilverluste und der Hilfsstrombedarf eines Nahwärmesystems den Effizienzfortschritt einer Heizzentrale mit BHKW gravierend verschlechtern oder die günstige Energiebilanz einer Abluftwärmepumpe durch eine elektrische Zusatzheizung zunichte gemacht wird. Es geht also darum Wege zu finden, solche grundsätzlichen Vorüberlegungen, die eigentlich eine Selbstverständlichkeit darstellen, noch stärker in der Praxis zu verankern. Mit dem einfachen Schema, welches im vorliegenden Forschungsvorhaben entwickelt wurde, soll hierzu ein Beitrag geleistet werden.
- Auch im Falle einer eigentlich ausgewogenen Systemkonfiguration können negative Effizienz-ergebnisse erzielt werden, wenn die einzelnen Komponenten fehlerhaft installiert wurden oder aufgrund einer mangelhaften Regelung nicht richtig zusammenarbeiten. In vielen der untersuchten Modellprojekte werden ungünstige Effizienz-ergebnisse auf derartige Schwierigkeiten zurückgeführt. Eine Lösung dieses Problems erfordert eine detaillierte Erprobung und Analyse der einzelnen Systeme und darauf aufbauend die Erstellung verbesserter Planungsunterlagen und eine verbesserte Information bzw. Schulung der Installateure. Dies wäre nicht zuletzt Aufgabe der Systemhersteller, und sicherlich finden hier auch entsprechende Aktivitäten statt. Allerdings ist zu beachten, dass komplexere Systeme häufig nicht aus einer Hand kommen, sondern der jeweilige Fachplaner Anlagen und regeltechnische Komponenten unterschiedlicher Hersteller zusammenstellt. Angesichts dieser Konstellation ist es fraglich, ob die „marktwirtschaftliche Praxis“ allein in der Lage ist, den erwünschten Prozess der Anlagenoptimierung und Qualitätssicherung zu organisieren. Gezielte Modellprojekte und Feldtests, bei denen die unterschiedlichen Akteure (Hersteller, Planer, Installateure) an einen Tisch gebracht werden und eine wissenschaftlich begleitete Erprobung und Analyse der jeweiligen Systeme stattfindet, sind weiterhin wünschenswert.

- Der Anreiz für die Marktakteure, die Optimierung und Qualitätssicherung selbst noch stärker als bisher in die Hand zu nehmen, könnte möglicherweise erhöht werden, wenn die Transparenz über die tatsächliche Anlageneffizienz aus Kundensicht verbessert würde. Ob eine Wärmeerzeugungsanlage effizient arbeitet oder nicht, kann der Verbraucher nur sehr schwer feststellen: Wenn der Energieverbrauch höher ist als erwartet, muss dies nicht am Heizsystem liegen, als Ursachen kommen gleichermaßen die Qualität des Gebäude-Wärmeschutzes und das eigene Verhalten (Warmwasserverbrauch, Lüftung, Raumtemperaturen) in Betracht. Die Installation von zusätzlichen Energieverbrauchsmessgeräten, insbesondere von Wärmemengenzählern zur Erfassung der Wärmeproduktion der eingesetzten Systeme, könnte hier Aufschluss über die erreichte Aufwandszahl der Wärmeerzeugung geben. Fehlerhaft arbeitende Systeme könnten gegebenenfalls identifiziert und repariert werden. Es stellt sich natürlich die Frage, wie eine solche verbesserte, aber auch mit Kosten verbundene Qualitätskontrolle in die Praxis eingeführt werden könnte. Ein denkbarer Weg könnte über innovative Anbieter führen, die ihren Kunden die Effizienzkontrolle als Serviceleistung anbieten oder sogar gegebenenfalls bereit sind, von vornherein Erfolgsgarantien für die Effizienz bzw. den Ertrag der von ihnen installierten Systeme abzugeben<sup>45</sup>.

Im Folgenden werden die Perspektiven verschiedener Energieversorgungssysteme für Niedrigenergiehäuser näher diskutiert. Dabei wird insbesondere auch auf die Anwendung im Gebäudebestand eingegangen: Während man im Neubau bei optimistischer Betrachtung auf lange Sicht davon ausgehen kann, dass sich – nicht zuletzt unter dem Druck der notwendigen Maßnahmen zum Klimaschutz – der bereits heute mit tragbaren Mehrkosten erreichbare Passivhausstandard durchsetzen wird, kann man im Gebäudebestand nach bisherigem Kenntnisstand nicht davon ausgehen (oder wenigstens nicht sicher sein), dass dies dort ebenfalls gelingen kann. Der Niedrigenergiehausstandard sollte aber auch im Altbau im Allgemeinen erreichbar sein. Die Frage der Weiterentwicklung von effizienten Heizsystemen für Niedrigenergiehäuser ist also auf längere Sicht womöglich vor allem für den Gebäudebestand relevant. Bei besonders niedrigem Gebäude-Wärmebedarf gibt es einen fließenden Übergang zur Problemstellung der Optimierung der Passivhaus-Wärmeversorgung, die sicherlich ebenso wichtig ist, aber im vorliegenden Forschungsvorhaben nicht im Mittelpunkt stand.

## 5.2 Systeme zur Einzelhausversorgung

### Zentralheizung mit Heizkessel

Beim heutigen Standardsystem der Wärmeversorgung, der Zentralheizung mit Öl- oder Gaskessel, sind die zukünftigen Optimierungspotentiale begrenzt. Beim Gaskessel hat die Brennwerttechnik inzwischen große Marktanteile erobert, beim Ölkessel, wo die Mehrkosten noch erheblich sind und der Effizienzgewinn aufgrund der niedrigeren Wasserdampfanteile im Abgas geringer ausfällt,

---

<sup>45</sup> Entsprechende Initiativen und Projekte gibt es beispielsweise schon zum Thema garantierter Erträge von Solaranlagen (z.B. „Solar-Siegel“, [www.dgs-berlin.de](http://www.dgs-berlin.de))

steht diese Entwicklung noch aus. Insgesamt geht es hier aber um Effizienzfortschritte im Bereich weniger Prozentpunkte, die in der Heizkesseltechnik noch erreichbar erscheinen. Wenn man davon ausgeht, dass die Wärmeversorgungstechnik in Zukunft noch einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten hat, muss unsere heutige Standard-Wärmeversorgungslösung durch andere Technologien ergänzt bzw. ersetzt werden.

## Solaranlagen

Thermische Solaranlagen korrespondieren sehr gut mit der Niedrigenergiehausbauweise: Aufgrund des besser ausgeglichenen Wärmebedarfsprofils (reduzierter Wärmebedarf im Winter) lassen sich – im Vergleich zu schlechter gedämmten Gebäuden – höhere solare Deckungsgrade erzielen. Eine solare Wärmelieferung von 10 bis über 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) sollte erreichbar sein (Anlagen mit/ohne Heizungsunterstützung). Bei üblichen Niedrigenergiehäusern dürfte der solare Deckungsgrad zwischen 15 % und 30 % liegen, bei sehr guten Niedrigenergiehäusern/Passivhäusern sind Deckungsgrade deutlich über 30 % möglich. Weitere Erfahrungen aus Projekten, die noch konkretere Hinweise über die Möglichkeiten der solaren Wärmeerzeugung bei Verzicht auf saisonale Speicherung geben würden, wären hilfreich.

Da die Wärmeerzeugung in Solaranlagen (abgesehen vom Hilfsstrom) vollständig ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergieverbrauch erfolgt, ist davon auszugehen, dass diese Technologie trotz hoher Wärmeerzeugungskosten in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen wird. Es erscheint plausibel davon auszugehen, dass ganz grob gesprochen ungefähr 20 % der Wärmeversorgung auf diese Weise erfolgen könnte<sup>46</sup>. Dies heisst aber gleichzeitig, dass das Problem der Wärmeversorgung nur zum Teil, sozusagen zu einem Fünftel, gelöst ist. Allein die Kombination von Heizkesseln und Solaranlagen wird die notwendige Effizienzverbesserung bei der Wärmeversorgung nicht leisten können. Es wird daher notwendig sein, die Grund-Wärmeerzeugung mit anderen effizienten Technologien zu bestreiten und diese dann gegebenenfalls noch mit der solaren Wärmeerzeugung zu ergänzen. Diese Technologien werden im Folgenden untersucht.

## Biomasse-Heizungen

Biomasse aus nachhaltigem Anbau kann grundsätzlich als regenerative Energiequelle betrachtet werden, da ebenso viel Substanz nachwächst, wie zur Energiegewinnung verfeuert wird. Gleichzeitig ist aber zu beachten, dass auch die Biomasseverbrennung die Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide) verursacht und – aus Sicht von Energieeffizienz und Klimaschutz ganz entscheidend – nur ein begrenztes Potenzial an Biomasse zur Verfügung steht, um das verschiedene Anwendungen konkurrieren: Biogene Reststoffe sind ohnehin begrenzt, eine Nutzung von zusätzlichen Anbauflächen zur Biomassegewinnung ist möglich, aber natürlich nicht zuletzt durch die Notwendigkeit der Nahrungsmittelproduktion und das Ziel eines naturverträglichen Landbaus limitiert. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Biomasse zukünftig nicht nur zur Wärmeerzeugung, sondern auch zur Stro-

---

<sup>46</sup> Natürlich besteht eine große Bandbreite, da einerseits der zukünftige Heizwärmebedarf der Gebäude nicht bekannt ist und berücksichtigt werden muss, dass nicht jedes Gebäude für die Installation einer Solaranlage geeignet ist.



merzeugung, zum Betrieb von Kraftfahrzeugen und als nachwachsender Rohstoff (z.B. als Baumaterial) benötigt werden wird. Eine Vorhersage des Potenzials, welches der Wärmezeugung auf lange Sicht zur Verfügung steht, ist heute praktisch nicht möglich, in [Diefenbach 2002] wurde ein dementsprechend unsicherer Anhaltswert von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) (bezogen auf die beheizte Wohnfläche in Deutschland) abgeschätzt. Unter Ansatz eines typischen Jahresnutzungsgrads eines Holzpelletkessels von 74 % (Erzeugeraufwandszahl 1,35) ergäbe sich damit eine Wärmezeugung von 22 kWh/(m<sup>2</sup>a). Allein diese Größenordnungen zeigen, dass die Biomasse allein unsere Probleme bei der Wärmezeugung nicht lösen kann und ein sparsamer Umgang mit dieser Ressource notwendig ist: Der niedrige Primärenergiefaktor und die niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die der Biomasse zugeordnet werden, dürfen nicht dazu verleiten, den Wärmeschutz zu vernachlässigen. Um diesen Aspekt bei der primärenergetischen Bewertung zu berücksichtigen, wurde in Kapitel 4.2.9 das Konzept des Biomasse-Budgets vorgeschlagen: Nur unterhalb dieses Budgets wird Biomasse als regenerativer Energieträger verrechnet, für jeden Mehrverbrauch geht der volle Energieinhalt in die Primärenergiebilanz ein<sup>47</sup>.

Für die zukünftige Rolle der Biomasse-Wärmeerzeugung sind vor diesem Hintergrund verschiedene Möglichkeiten denkbar: Ein sparsamer Umgang mit der Ressource würde dafür sprechen, die Biomasseverbrennung vorrangig in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zu vorzunehmen. Eine andere Perspektive könnte darin bestehen, im Zusammenspiel mit anderen effizienten Wärmezeugungssystemen, insbesondere Wärmepumpen oder KWK-Anlagen, die Spitzenlast-Wärmeerzeugung abzudecken: Die Biomasse ist hier grundsätzlich sehr gut geeignet, da sie ja sozusagen gespeicherte Sonnenenergie darstellt, die im Gegensatz zu vielen anderen regenerativen Energiequellen jederzeit, also gerade auch an den kältesten Tagen und Nächten des Jahres, abrufbar ist.

Die in den letzten Jahren erfolgte Markteinführung von Holzpellet-Kessel kann als ein erster Erfolg und Einstieg in eine moderne Biomasse-Nutzung bei der Einzelhausheizung gewertet werden. Nach den vorangehenden Überlegungen sind verschiedene technologische Weiterentwicklungen wünschenswert, für die es durchaus auch schon Initiativen in Forschung und Entwicklung gibt: Biomassegefeuerte Klein-BHKW zum Einsatz in Einzelgebäuden sind hier ebenso zu erwähnen wie die Entwicklung von Holzpellet-Kesseln kleiner Leistung zum Einsatz in Passivhaus-Kompaktgeräten. Die besonderen Bedingungen eines Einsatzes von Biomasse-Geräten zur gezielten Spitzenlast-Wärmeerzeugung wären noch gesondert zu untersuchen. Auf länger Sicht wird es notwendig werden, neben knapper werdenden Holzpellets weitere Formen der Biomasse für die Wärmezeugung bei der Einzelhausversorgung nutzbar zu machen.

### **Elektrische Außenluft-/Erdreich-Wärmepumpen**

Durch Einsatz elektrischer Wärmepumpen lassen sich unter günstigen Bedingungen Effizienzvorteile gegenüber dem Heizkessel erzielen. Geht man von einer Erzeugeraufwandszahl von  $e_g = 0,37$  bei Luft- und  $e_g = 0,29$  bei Erd-Wärmepumpen aus (entsprechend Jahresarbeitszahlen von 2,7 bzw. 3,5), so erreicht man angesichts eines Primärenergiefaktors der Stromerzeugung von  $f_p = 2,7$  eine Primärenergieaufwandszahl der Wärmezeugung von  $e_{p,g} = e_g \times f_p$  von 1,0 bzw. 0,78. Die Luftwärmepumpe läge damit etwa um 10 %, die Erdwärmepumpe sogar um etwa 30 % besser

---

<sup>47</sup> Dabei ist zu beachten, dass ein solches Budget nicht identisch mit dem oben genannten mittleren Potenzial sein muss, sondern nach pragmatischen Gesichtspunkten festgelegt werden kann.

als ein sehr guter Brennwertkessel ( $e_{P,g}=1,1$ ). Die entsprechenden Jahresarbeitszahlen wurden in Feldtests erreicht und teilweise auch noch überschritten, allerdings ist zu erwähnen, dass auch negative Erfahrungen mit Wärmepumpen dokumentiert sind, in denen die erwünschten Aufwandszahlen nicht erzielt werden konnten. Auf das generelle Problem, dass energiesparende Wärmeerzeuger technisch aufwendiger und damit auch anfälliger für Fehler bei der Installation und Regelung sind, ist auch hier hinzuweisen.

Die deutlich höhere Effizienz von Erd-Wärmepumpen rückt diesen Anlagentyp in den Mittelpunkt des Interesses. Allerdings ist die Verfügbarkeit nicht überall gegeben. Die Installation von Erdsonden ist von den jeweiligen geologischen Bedingungen abhängig (vgl. [HLUG 2004]). Außerdem muss in der Nähe des versorgten Gebäudes ein geeigneter Ort für die Installation der Erdsonden oder der - horizontal verlegten und damit einen erheblich höheren Flächenbedarf verursachenden – Erdkollektoren gefunden werden. Gerade im Gebäudebestand könnten somit Hemmnisse für die Erdwärmenutzung bestehen. Möglicherweise besteht hier die Notwendigkeit, eine Erdwärmepumpe nicht monovalent zu betreiben, sondern mit anderen Erzeugern (z.B. Biomasse-Spitzenkessel, Abluft-Wärmepumpe, s.u.) zu kombinieren.

Die Effizienz von Wärmepumpen hängt auch von der Vorlauftemperatur ab. Die besten Ergebnisse werden mit Fußbodenheizungen erzielt. Ihre Eignung für Gebäude mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf wird aufgrund ihrer höheren Trägheit kontrovers diskutiert, vor allem aber ist im Gebäudebestand die Nachrüstung einer Fußbodenheizung eher unüblich. Hier ist also mit erhöhten Aufwandszahlen zu rechnen, die aber nach bisherigen Erfahrungen [vgl. Fawa 2004] die vorteilhafte Effizienz der Wärmepumpentechnologie insgesamt nicht in Frage stellen.

Langfristig gesehen besteht bei elektrischen Wärmepumpen ein wesentlicher Unterschied zu Systemen, die direkt mit fossilen Brennstoffen betrieben werden: Die Stromerzeugung stellt einen zusätzlichen Schritt in der Energieumwandlungskette dar und beinhaltet damit eine zusätzliche Chance für Effizienzverbesserungen: Der Primärenergieverbrauch der Gebäude kann nicht nur durch verbesserten Wärmeschutz, die Kombination mit einer Solaranlage und die Erhöhung der Aufwandszahl des Wärmeerzeugers gesenkt werden. Vielmehr trägt auch eine Erhöhung der Effizienz der Stromerzeugung zur Verringerung des Primärenergieverbrauchs bei.

Würde beispielsweise ein zukünftiger Primärenergiefaktor der Stromerzeugung von  $f_P = 2,0$  statt  $2,7$  angesetzt, so ergäbe sich die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung bei Luftwärmepumpen zu  $e_{P,g} = 0,74$  und bei Erdwärmepumpen zu  $e_{P,g} = 0,58$ . Gegenüber einem Brennwertkessel mit  $e_{P,g} = 1,1$  betrüge die Primärenergieeinsparung ein Drittel bzw. fast die Hälfte. Dabei ist zu beachten, dass - von der Einbindung regenerativer Energiequellen in die Stromerzeugung einmal ganz abgesehen - ein Primärenergiefaktor von ca.  $2,0$  einzeltechnisch betrachtet durch ein effizientes Erdgas-GUD-Kraftwerk mit  $58\%$  Jahresnutzungsgrad (bei gleichzeitiger Anrechnung eines Primärenergiefaktors  $f_P = 1,1$  für Erdgas und geschätzten  $5\%$  Stromverteilungsverlusten) erreicht werden könnte.

### **Lüftungswärmerückgewinnung und Abluft-Wärmepumpen**

Lüftungsanlagen spielen im Bereich der Wohngebäude eine wachsende Rolle. Sie dienen zur Erhöhung der Behaglichkeit und Vermeidung von Bauschäden, kombiniert mit einem Wärmetauscher zur Lüftungswärmerückgewinnung (Wärmeabgabe an die Zuluft) oder einer Abluft-Wärmepumpe

(Wärmeabgabe an das Warmwasser-Heizsystem und die Warmwasserversorgung) dienen sie gleichzeitig zur Senkung des Energieverbrauchs. Die Effizienz von Wärmetauschern ist grundsätzlich höher als von Abluftwärmepumpen, da sie – abgesehen von einem gegenüber Abluftanlagen erhöhten Ventilatorstromverbrauch – keine Energiezufuhr benötigen, um die Wärme nutzbar zu machen. Besonders günstig erweist sich der Einsatz eines zusätzlich vorgeschalteten Erdwärmetauschers zur Vorerwärmung der Zuluft. Es ist aber zu beachten, dass Lüftungswärmetauscher nur eingesetzt werden können, wenn eine kontrollierte Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftsystem vorhanden ist. Im Neubau sind derartige Systeme generell zu empfehlen, im Passivhaus sind sie integraler Bestandteil des Gebäudekonzepts.

Im Gebäudebestand ist die Installation von kontrollierten Lüftungsanlagen unüblich, Abluftanlagen sind einfacher zu installieren und daher häufiger. Möglicherweise besteht also gerade im Gebäudebestand ein großer zukünftiger Markt für Abluftwärmepumpen. Bei diesen Systemen ist mit Erzeugeraufwandszahlen von ca.  $e_g = 0,30$  zu rechnen, die Effizienz ist also etwa so hoch wie bei der Erdreich-Wärmepumpe. Die Höhe der Wärmelieferung ist aber sehr deutlich limitiert, sie ist direkt an den vorgegebenen Gebäudeluftwechsel gekoppelt, kann also nicht beliebig erhöht werden. Der erreichbare Deckungsgrad hängt damit unmittelbar vom Wärmeschutzstandard des Gebäudes ab, er dürfte im Niedrigenergiehausbereich typischerweise zwischen 50 % und 90 % liegen. Ein Spitzenlast-Wärmeerzeuger ist also erforderlich. In der Praxis wird häufig eine direkte elektrische Zusatzheizung verwendet, die dann aufgrund ihrer schlechten Energiebilanz ( $e_{p,g}=2,7$ ) den Effizienzgewinn der Wärmepumpe zumindest zu einem großen Teil zunichte macht. Die Abluft-Wärmepumpe sollte daher mit anderen Erzeugern kombiniert werden. Eine Möglichkeit besteht, wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, aus der Verknüpfung von Erdreich- und Abluftwärmepumpe, gegebenenfalls in einem Aggregat unter Nutzung zweier Wärmequellen. Andererseits bietet sich auch hier wieder der Biomasse-Spitzenkessel zur ergänzenden Wärmeerzeugung an.

Unabhängig von diesem Ansatz sollten auch die Chancen für eine verstärkte Nutzung von kontrollierten Zu- und Abluftsystemen im Gebäudebestand weiter ausgelotet werden. Im Passivhaus besteht der besondere Reiz dieses Systems darin, dass die geringe benötigte zusätzliche Wärmemenge zur Heizung allein über die Zuluft zugeführt werden kann, auf das übliche Warmwasser-Heizsystem also im Prinzip verzichtet werden kann, wodurch Kosten gespart werden. Im Bereich der Niedrigenergiehäuser gilt dies zunächst nicht, da die Zuluftmenge begrenzt ist und die Zuluft nicht auf beliebig hohe Temperaturen erwärmt werden kann. Der Vorteil eines Verzichts auf die konventionelle Heizung entfällt hier also. Dies ist im Gebäudebestand von geringerer Bedeutung, wenn die vorhandenen Heizkörper und Verteilungen ohnehin noch genutzt werden können. Die Neuinstallation einer Zentralheizung im Gebäudebestand ist dagegen ein erheblicher Kostenfaktor. Hier besteht eventuell die Möglichkeit, statt einer Warmwasserheizung eine Luftheizung einzusetzen und diese mit der kontrollierten Lüftung und Wärmerückgewinnung zu kombinieren. Hierbei wird eine Erhöhung der zugeführten Luftmenge durch einen teilweisen Umluftbetrieb erreicht, d.h. es wird Luft aus Wohnräumen abgesaugt, durch die Heizung erwärmt und den Wohnräumen wieder zugeführt, während bei einer reinen Lüftungsanlage nur Frischluft in die Räume geleitet wird. Gleichfalls wäre zu untersuchen, inwieweit die für Passivhäuser entwickelten Kompaktgeräte zur Wärmeversorgung auch – in gegebenenfalls modifizierter Form – bei Niedrigenergiehäusern und insbesondere im Altbau einsetzbar sind. In diesen Kompaktgeräten wird dem Lüftungswärmetauscher häufig eine Wärmepumpe nachgeschaltet, die die Restwärme der Fortluft nutzt und daher zur Unterscheidung vom Abluftsystem auch als Fortluftwärmepumpe bezeichnet wird.

## KWK-Anlagen und brennstoffbetriebene Wärmepumpen

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen waren bisher weitgehend an die Nah- bzw. Fernwärmeversorgung gekoppelt, da Kleinanlagen nicht zur Verfügung standen. Es gibt aber Entwicklungen hin zu kleineren Aggregaten: Schon seit einigen Jahren gibt es einen Markt für Klein-BHKW, die sich grundsätzlich auch für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern eignen, aktuell finden intensive Aktivitäten zur Entwicklung von Brennstoffzellen-BHKW statt, die sich auch in Einfamilienhäusern einsetzen ließen. Auch andere Konzepte (Kleinstmotoren, auch zur Verwendung von Biomasse als Brennstoff) befinden sich im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium. Entsprechendes gilt für die mit Erdgas betriebene Wärmepumpe (insbesondere Gasmotor-Wärmepumpe, aber auch andere Konzepte wie z.B. die Absorptionswärmepumpe), die genauso wie das BHKW Effizienzvorteile gegenüber dem Heizkessel aufweist, sich bei der Nahwärmeversorgung aber in der Praxis offensichtlich bisher nicht durchsetzen konnte. Auch hier finden Entwicklungen in Richtung auf kleinere Aggregate zum Einsatz in Einzelgebäuden statt.

Der Erfolg der Entwicklung von neuen Systemen zur Einzelhausversorgung mit KWK-Aggregaten und gasbetriebenen Wärmepumpen ist allerdings zunächst abzuwarten. Generell kann man davon ausgehen, dass Kleinanlagen ungünstigere Investitionskosten (pro installierter Leistung) und eine ungünstigere Anlageneffizienz (z.B. geringere elektrische Wirkungsgrade) aufweisen. Es wird sich also erst noch zeigen müssen, ob sich der dezentrale Einsatz von KWK-Anlagen und gasbetriebenen Wärmepumpen in Einzelgebäuden als insgesamt vorteilhaft herausstellt. Hier liegt zunächst noch ein großes Potential für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (und auch für Modellprojekte zur Gewinnung von Praxiserfahrungen).

## 5.3 Systeme mit Nahwärmeversorgung

### Effizienz der Heizzentrale mit Kraft-Wärme-Kopplung und der Nahwärmeverteilung

Da entsprechende Anlagen für Einzelgebäude heute wie gesagt nur eingeschränkt zur Verfügung stehen, bieten vor allem Nah- bzw. Fernwärmenetze die Voraussetzungen für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und, wenn diese auch in der Vergangenheit bisher keine große Praxisbedeutung erlangt haben, von brennstoffbetriebenen Wärmepumpen. Damit der Effizienzvorteil der Nahwärmeversorgung auch tatsächlich zum Tragen kommt, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

- Die energiesparende Wärmeerzeugungsanlage in der Heizzentrale muss auch tatsächlich entscheidend zur Wärmeproduktion beitragen. Wenn der Deckungsgrad zu gering ist und der größte Anteil der Wärme durch einen Heizkessel erzeugt wird, fällt die günstige, d.h. niedrige Erzeugeraufwandszahl der KWK-Anlage bei der Ermittlung der Aufwandszahl des Gesamtsystems kaum ins Gewicht.
- Die Verluste des Nahwärmesystems dürfen nicht so hoch sein, dass sie den Vorteil einer effizienten Energieproduktion in der Heizzentrale wieder zunichte machen. Je niedriger der Wärmebedarf der versorgten Gebäude ist, desto schwieriger ist diese Forderung zu erfüllen: Wärmeverluste eines Versorgungsnetzes von z.B. 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) fallen bei der Versorgung von Gebäuden mit einem Wärmebedarf von  $q_{\text{netto}} = 180 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  nur zu 10 % ins Gewicht (Vertei-

lungsnutzungsgrad  $\eta_{NW,d} = 90 \%$ , Aufwandszahl der Wärmeverteilung  $e_{NW,d} = 1,11$ ). Wenn dagegen sehr gute Niedrigenergiehäuser mit einem Wärmebedarf von nur  $q_{netto} = 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  versorgt werden, betragen die Wärmeverluste  $25 \%$  ( $\eta_{NW,d} = 75 \%$ ,  $e_{NW,d} = 1,33$ ).

Der Deckungsgrad eines BHKW lässt sich durch eine entsprechende Auslegung des Aggregats steuern: Je größer die Leistung ist, desto größer ist der Anteil an der Wärmeproduktion. Gleichzeitig sinken allerdings die Volllaststundenzahl und die Auslastung (erzeugte Energie pro Leistung). Da die Investitionskosten ungefähr proportional zur Leistung, die Einnahmen aber proportional zur erzeugten Energie verlaufen, verschlechtern sich damit die ökonomischen Bedingungen für den BHKW-Einsatz. In der Praxis ist also die Aufgabe zu lösen, die gewünschte Effizienz des Gesamtsystems zu wirtschaftlich sinnvollen Konditionen zu erreichen. Dies gilt aber im Prinzip auch für andere hier untersuchte Systeme, die ebenfalls mit Mehrkosten verbunden sind. Der Effizienzfortschritt gegenüber der Standardlösung Kessel im Allgemeinen nicht ohne merkliche Zusatzinvestitionen erreicht werden. In der konkreten Situation muss jeweils entschieden werden, wie sich die angestrebte Energieeffizienz des Wärmeversorgungssystems am günstigsten erzielen lässt.

Zur Reduzierung der Verluste des Nahwärmenetzes können unterschiedliche Maßnahmen in Erwägung gezogen werden: Naheliegend sind eine optimierte Planung des Verteilnetzes (möglichste kurze Leitungslängen, evtl. Verlegung von Teilen des Verteilnetzes innerhalb der Gebäude im beheizten Bereich) und die Verbesserung der Wärmedämmung der Rohre. Diese Maßnahmen werden sicherlich in der Praxis auch ergriffen, im vorliegenden Bericht kann die Frage, wie weit man auf diesem Weg kommen kann und unter welchen Voraussetzungen sich z.B. auch für Niedrigenergiehaus-Wohngebiete geringer Bebauungsdichte befriedigende Ergebnisse erzielen lassen, nicht im Detail untersucht werden.

Aus Sicht von Forschung und Entwicklung könnte die Frage interessant sein, ob eventuell durch neue Materialien (z.B. Vakuumdämmung) die Wärmeverluste von Verteilnetzen gesenkt werden können. Es ist nämlich zu beachten, dass die Wärmeverluste aufgrund der besonderen Geometrie von Rohren (sehr kleiner Durchmesser im Verhältnis zur Länge) nur durch eine sehr starke Erhöhung der Dämmstoffstärke der Rohrummantelung wirksam reduziert werden können, wobei dann ein entsprechend starker Anstieg des Gesamtdurchmessers in Kauf genommen werden muss – ein Vorgehen, das aus praktischer Sicht an Grenzen stoßen würde.

Wenn man bei der Systemkonfiguration ansetzt, könnte die Kombination von Nahwärmenetzen mit dezentralen Solaranlagen eine interessante Option zur Verminderung der Netzverluste darstellen: Idealerweise würden im Sommer die Solaranlagen auf den Gebäuden den Warmwasserbedarf allein decken, und das Nahwärmenetz könnte in dieser Zeit ausgeschaltet werden. Bei Niedrigenergiehaus-Wohngebieten, in denen die Heizperiode ungefähr 6 Monate dauert, würde dies eine Halbierung der Netzverluste bedeuten.

### **Solare Wärmeerzeugung mit saisonalen Groß-Wärmespeichern**

Die solare Nahwärme mit saisonaler Langzeit-Wärmespeicherung ist in verschiedenen Modellprojekten mit Warmwasser- oder Erdspeichern erprobt worden. Anders als bei Einzelgebäuden kann hier ein großer saisonaler Speicher mit günstigem Oberfläche/Volumen-Verhältnis und entsprechend reduzierten Wärmeverlusten eingesetzt werden. In Modellprojekten wurden maximale Deckungsgrade von rund  $50 \%$  erreicht. [Fisch] [Schmidt et al. 2004]

Ob eine Langzeit-Wärmespeicherung, wie manchmal vermutet wird, aus praktischen Gründen immer an Großwärmespeicher und damit an die Nahwärmeversorgung gebunden sein wird, kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Eine saisonale Wärmespeicherung auch in Einzelgebäuden ist zumindest denkbar. Einzelprojekte konnten aufgrund der Aufwändigkeit des Warmwasser-Speicherkonzepts bzw. der Speicherverluste über Wärmebrücken (die insbesondere durch die Notwendigkeit der Abtragung des Speichergewichts entstehen) keine wirklich überzeugenden Ergebnisse liefern [Hinz/Werner 1994] [Erhorn et al. 2001]. Grundsätzlich gibt es aber auch Entwicklungen in Richtung auf andere Speicherkonzepte (z.B. Latentwärmespeicher), die zu berücksichtigen sein werden.

### **Nutzung von oberflächennaher Erdwärme zur Wärmeversorgung**

Die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme zur Wärmeversorgung (auf ausreichend hohem Temperaturniveau, d.h. ohne Zwischenschaltung von Wärmepumpen) wird gegenwärtig als potenziell kostengünstige Variante einer emissionsfreien Wärmeerzeugung untersucht und erprobt. Aufgrund der notwendigen Tiefenbohrungen erscheint die Versorgung von Einzelgebäuden mit dieser Technologie gegenwärtig als wenig realistisch<sup>48</sup>, Nahwärmesysteme wären also erforderlich.

Es ist zu beachten, dass die Erdwärmennutzung – abhängig von den geologischen Voraussetzungen – nicht überall anwendbar ist und außerdem langfristig eine Erschöpfung der geothermischen Ressourcen droht: Den betroffenen Schichten wird bei hoher Nutzungsintensität mehr Energie entzogen, als aus dem Erdinneren im gleichen Zeitraum nachströmen kann, so dass hier langfristig gesehen keine unerschöpfliche neue Energiequelle vorliegt.

### **Besondere Aspekte der Nahwärme im Gebäudebestand**

Aus Sicht der Nah- bzw. Fernwärmeversorgung im Altbau erscheinen zwei Aspekte als besonders wichtig:

- In bestehenden Wohngebieten ist mit besonderen Schwierigkeiten zu rechnen, wenn Nahwärmesysteme neu installiert werden sollen: Die Rohrleitungen zwischen den Gebäuden müssen unter genutzten Flächen, insbesondere Straßen verlegt werden. Eine teilweise Verlegung innerhalb der Gebäude, insbesondere im beheizten Bereich, lässt sich schwieriger planen und umsetzen als im Neubau. Gerade im Hinblick auf aussagekräftige Modellvorhaben wäre es daher günstig, wenn hier einmal die Situation der nachträglichen Installation von Nahwärmesystemen in Altbau-Wohngebieten mit Niedrigenergiehaus-Standard in der Realität erprobt würde.
- So lange mit Nahwärme versorgte Altbauten nicht wärmegeklärt sind, erscheint die Problematik der Netzverluste weniger bedeutend, weil diese, wie erläutert, prozentual gesehen angesichts des hohen Wärmeverbrauchs der Gebäude nicht sehr stark ins Gewicht fallen. Langfristig gesehen ist jedoch damit zu rechnen, dass – nicht zuletzt im Hinblick auf den Klimaschutz – eine Dämmung der Gebäude auf Niedrigenergiehausstandard erfolgen wird. Angesichts der

---

<sup>48</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass die zuvor erwähnten Erdreich-Wärmepumpen, auch wenn Sondenbohrungen vorliegen, vorwiegend im Erdreich gespeicherte Sonnenenergie und nicht – wie im vorliegenden Fall – geothermische Energie aus dem Erdinneren nutzen.

hohen Nutzungsdauer von Wärmeverteilungssystemen ist also zu fordern, dass diese zukünftige Entwicklung bei heutigen Planungen schon berücksichtigt wird: Nah- und Fernwärmesysteme, die heute im Gebäudebestand verlegt werden, sollten so ausgelegt werden, dass auch bei einer zukünftiger Reduzierung des Wärmebedarfs der Gebäude eine befriedigende Effizienz der Wärmeverteilung gewährleistet ist.

## 5.4 Schlussbetrachtung

Die Vielfalt der denkbaren Wärmeversorgungsvarianten für Niedrigenergiehäuser erlaubt keine eindeutigen Schlüsse über den zukünftig einzuschlagenden Weg. Es ist nicht erkennbar, dass das heutige Standardsystem Heizkessel durch ein einziges neues Anlagenkonzept abgelöst werden wird. Nicht unwahrscheinlich sind differenzierte Lösungen, je nach Anwendungsfall und konkreter Vor-Ort-Situation (z.B. Nahwärmesysteme tendenziell in Gebieten höherer Wärmebedarfsdichte, elektrische Erdwärmepumpen bei günstigen geologischen Voraussetzungen, um nur zwei Beispiele zu nennen). Insgesamt zeigt sich ein hoher Bedarf nach Forschung, Entwicklung und Erprobung der neuen Systeme, die in der Regel Kombinationen unterschiedlicher Wärmeerzeuger (unter Einschluss von thermischen Solaranlagen) darstellen werden. Im Hinblick auf die notwendigen Effizienzverbesserungen bei der Wärmeversorgung von Gebäuden und Wohngebieten sind die Bedingungen dafür zu schaffen, dass alle relevanten Systeme die Anwendungsreife erreichen und miteinander um die beste Wärmeversorgungslösung des betroffenen Gebäudes oder Wohngebiets konkurrieren können. Dabei werden natürlich auch die jeweiligen Kosten, die hier nicht im Detail untersucht werden konnten, eine entscheidende Rolle spielen.

Unabhängig von zukünftigen technologischen Weiterentwicklungen lohnt sich die Frage, wo wir gegenwärtig bei der Energieeffizienz insgesamt stehen und wo wir langfristig hinkommen müssen. Die zweite Frage lässt sich grob beantworten: Die von den Klima-Enquete-Kommissionen des Bundestages langfristig (bis 2050) angestrebte 80prozentige CO<sub>2</sub>-Reduktion korrespondiert ungefähr mit der Erreichung des von der KfW geförderten Energiesparhaus-40-Standards (der auch eine Randbedingung der Passivhausförderung ist)<sup>49</sup>. Da der dort verlangte Primärenergiebedarf von 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) sich auf die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> nach EnEV bezieht, die schätzungsweise 25 % größer ist als die Wohnfläche, ergibt sich bezogen auf die Wohnfläche ein Zielwert von ca. 50 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Nehmen wir nun an, dass in einem Bestandsgebäude mit  $q_{H,brutto} = 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ein Heizwärmebedarf im oberen Bereich des Niedrigenergiehaus-Sektors erreicht wird. Inklusiv Warmwasserbedarf (15 kWh/(m<sup>2</sup>a)) und mittelmäßig hohen Verteilungs- und Speicherverlusten für Heizung und Warmwasser (20 kWh/(m<sup>2</sup>a)) möge sich ein Gesamt-Wärmebedarf des Gebäudes von  $q^* = 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ergeben. Mit effizienten, zur Grundlastdeckung tauglichen Wärmeerzeugern wie Wär-

---

<sup>49</sup> Dies folgt überschlägig aus bisher nicht veröffentlichten Untersuchungen des IWU zum KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm. Natürlich hängt der Vergleich von Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionswerten immer auch von dem angenommenen Energieträgermix ab. Es darf auch nicht vergessen werden, dass die angestrebte 80prozentige CO<sub>2</sub>-Senkung in den Industriestaaten bis 2050 womöglich noch zu kurz greift, da dabei der Nachholbedarf weniger entwickelter Länder möglicherweise noch nicht angemessen berücksichtigt ist und auch national betrachtet die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Wärmesektor möglicherweise überproportional groß sein muss, wenn sie in anderen Sektoren noch schwieriger zu erreichen ist.

mepumpen oder KWK-Anlagen lassen sich grob gesprochen primärenergetische Aufwandszahlen der Wärmeerzeugung von  $e_{p,g} = 0,8$  erreichen. Es ergibt sich somit ein Primärenergiebedarf der Wärmeerzeugung von  $q_{p,g} = 80 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , hinzu kommt noch ein Hilfsstrombedarf von etwa  $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , also nochmal mehr als  $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  Primärenergieeinsatz. Insgesamt ergibt sich ein Primärenergieverbrauch von etwas über  $q_p=85 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Gegenüber der Versorgung mit einem sehr guten Brennwertkessel mit  $e_{p,g}=1,1$  und  $q_p=115 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  wird eine erhebliche Energieeinsparung erreicht, das angestrebte Ziel von  $q_p=50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  wird aber noch deutlich verfehlt.

Wenn zusätzlich eine thermische Solaranlage eingesetzt wird, die etwa  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  zur Wärmebedarfsdeckung beiträgt, lassen sich weitere Einsparungen erzielen. Der Nettowärmebedarf des Gebäudes wird von  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  auf  $85 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  reduziert, der Primärenergieaufwand der Wärmeerzeugung beträgt nun  $q_{p,g} = 68 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und unter Annahme eines wegen der Solaranlage um  $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  höheren Hilfsstromverbrauchs ergibt sich ein Primärenergieaufwand von insgesamt  $q_p=74 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Nimmt man zusätzlich an, dass ein Biomasse-Spitzenkessel mit  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  zur Wärmeerzeugung beiträgt, so reduziert sich die durch die Wärmepumpe oder KWK-Anlage bereitzustellende Wärme auf  $65 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Der Primärenergieaufwand der Wärmeerzeugung beträgt nun  $q_{p,g}=52 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , inklusive Hilfsstrom ergibt sich  $q_p=60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Die erwünschten  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  werden also weiterhin verfehlt, man ist dem Ziel aber immerhin sehr nahe gekommen.

Allerdings ist auch der Aufwand nicht zu unterschätzen: Wo vorher ein einfacher Kessel die Wärmeversorgung allein übernommen hat, muss nun eine Kombination von drei, bereits für sich genommen sehr aufwendigen Technologien eingesetzt werden. Dies verursacht nicht nur regeltechnische Abstimmungsprobleme, sondern auch Kosten<sup>50</sup>.

Es zeigt sich also, dass die Optimierung der Anlagentechnik nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern auch die Reduzierung des Gebäude-Wärmebedarfs immer mit berücksichtigt werden muss. Der Gebäude-Wärmeschutz ist eine passive Technologie, die keiner aufwändigen Regeltechnik oder Wartung bedarf. Im Neubau zeigt das Passivhauskonzept, dass die optimierten Gesamtlösungen vor allem sehr weitgehende Maßnahmen bei der Verbesserung des wärmetechnischen Gebäudestandards mit sich bringen, während bei der Wärmeversorgung größere Spielräume bestehen. Es wäre denkbar, dass dieses Prinzip grundsätzlich auch im Altbau zum Tragen kommt: Erst im Zusammenspiel der unterschiedlichen Optionen für Wärmeschutz, Lüftungstechnik und Wärmeversorgung wird sich herausstellen, ob man bei einem mittleren Niedrigenergiehausstandard stehen bleiben kann, oder nicht vielmehr auch im Altbau zukünftig immer stärker auf einen sehr weitgehenden Niedrigenergiehaus- oder – wo dies bautechnisch möglich ist - sogar auf den Passivhausstandard abzielen muss.

Insgesamt wird deutlich, dass zukünftig noch erhebliche Anstrengungen sowohl beim Wärmeschutz als auch bei der Wärmeversorgung notwendig sind und dass gerade deren Zusammenspiel weiterhin ein wichtiges Thema für Aktivitäten im Bereich der Erforschung, Entwicklung, Erprobung und Markteinführung neuer Technologien und Gebäudekonzepte darstellt.

---

<sup>50</sup> Im Mittel kann dasselbe Ergebnis auch durch Kombination von Solaranlagen mit nur einem weiteren Wärmeerzeuger erreicht werden, nämlich dann, wenn in einigen Gebäuden – bei möglichem Verzicht auf einen Spitzenlast-Wärmeerzeuger - nur Wärmepumpen bzw. KWK-Anlagen, in anderen nur Biomasse-Kessel zur Wärmeversorgung eingesetzt werden. Auch so handelt es sich aber, verglichen mit dem Kessel, um relativ aufwändige und kostenträchtige Systeme.



## 6 Literatur

- [Beckervordersandforth 2005] Beckervordersandforth, Christian: Visionen im Testlauf; In: Bundesbaublatt 4/2005, S.32-34
- [BGW 2003] BGW Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (Hrsg.): Heizkostenvergleich für den Neubau; Berlin 2003
- [BINE 03/99] Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH (Hg.): BINE Informationsdienst Projektinfo 3/99. Mehrfamilien-Niedrigenergiehaus; Karlsruhe 1999
- [BINE 11/04] Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH (Hg.): BINE Informationsdienst Projektinfo 11/04. Dämmung von Rohrleitungen mit PUR-Schäumen; Karlsruhe 2004
- [BINE 12/04] Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH (Hg.): BINE Informationsdienst Projektinfo 12/04. Gebäude sanieren – Hochhaus-Wohnanlage; Karlsruhe 2004
- [BINE 01/05] Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH (Hg.): BINE Informationsdienst Projektinfo 01/05. Solare Nahwärme in neuen Wohnsiedlungen; Karlsruhe 2005
- [BINE 02/05] Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH (Hg.): BINE Informationsdienst Projektinfo 02/05. Heizen mit Zeolith-Heizgerät; Karlsruhe 2005
- [Boese 2001] Boese, Markus: Möglichkeiten einer hohen Energieeinsparung im Wohngebäudebestand der Bundesrepublik Deutschland; Göttingen 2001
- [Boese/Diefenbach 2000] Boese, Markus; Diefenbach, Nikolaus im Auftrag des Umweltbundesamtes: Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudebestand durch Einführung einer Brennstoffkennzahl. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 29897344; März 2000
- [de Boer et al. 1997] de Boer, Jan; Erhorn, Hans; Reith, Andreas: Weber 2001 – Hauskonzepte im Praxistest. Erste Meßergebnisse. IBP-Bericht WB94/1997; Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart 1997
- [Diefenbach 2002] Diefenbach, Nikolaus: Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und Biomasse-Heizsystemen; IWU, Darmstadt 2002
- [Diefenbach 2002\_b] Diefenbach, Nikolaus: Ansätze und Kennwerte zur rationellen Energienutzung im Gebäudebestand, IWU, Darmstadt 2002

- [Diefenbach et al. 2002] Diefenbach, N.; Loga, T.; Born, R.; Großklos, M.; Herbert, C.: Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand; Studie im Auftrag des Ingenieurbüros für energieeffiziente Gebäudetechnik VENTECS (Prof. Strauß) als Grundlage für EID-Sanierungsenergiepass (noch nicht veröffentlicht); IWU Darmstadt, November 2002
- [Dittmann/Gassel 1995] Dittmann, A.; Gassel, A: Messtechnische Überwachung der Solar- und Haustechnik im Wohngebiet Freiburger Straße in Oederan. Abschlußbericht – Meßwerte vom 1.Januar 1995 bis 31.Dezember 1997; Technische Universität Dresden, Februar 1998
- [Ebel et al. 2003] Ebel, Witta; Großklos, Marc; Knissel, Jens; Loga, Tobias; Müller, Kornelia: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der 'Gartenhofsiedlung Lummerlund' in Wiesbaden-Dotzheim. Teilbericht Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analyse des Nutzereinflusses; IWU, Darmstadt 2003
- [Ellerhage] Ellerhage: Solar Combisystems. Final report – Comparison of Monitoring results, Teilberichte im Internet [www.elle-kilde.dk/solar-combi](http://www.elle-kilde.dk/solar-combi)
- [Erhorn et al. 2001] Erhorn, Hans; de Boer, Jan; Kluttig, Heike; Reith, Andreas: Fertighäuser im Wandel. Vom Niedrigenergiehaus zum Null-Heizenergiehaus; Fraunhofer Institut für Bauphysik / WeberHaus, Rheinau-Linx und Stuttgart Mai 2001
- [Ewert 2004] Ewert, Markus: Wärmepumpen Effizient, preiswert und umweltfreundlich. Erfahrungen aus einem Feldversuch; Sonderdruck aus Strompraxis 3/2004, HEA (Fachverband für Energie-Marketing und –Anwendung e.V. beim VDEW), Frankfurt 2004
- [Ewert 2005a] Ewert, Markus: Feldtest bestätigt hohe Effizienz von Wärmepumpen; in: HLH Bd.56 (2005) Nr.3 – März, S.24-29
- [Ewert 2005b] Ewert, Markus: Berechnung des Strommix für Wärmepumpen; in: HLH Bd.56 (2005) Nr.5 – Mai, S.22-25
- [FAWA 2004] Erb, Markus; Hubacher, Peter; Ehrbar, Max im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE (Schweiz): Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003. Schlussbericht; April 2004
- [Feist 2004a] Feist, Wolfgang (Hrsg.): Neue Passivhaus-Gebäudetechnik mit Wärmepumpen. Protokollband Nr. 26. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut, Darmstadt Juni 2004
- [Feist 2004b] Feist, Wolfgang (Hrsg.): Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus. Protokollband Nr. 28. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut, Darmstadt September 2004

- [Feist et al. 1997] Feist, W.; Borsch-Laaks, R.; Werner, J.; Loga, T.; Ebel, W.: Das Niedrigenergiehaus. Neuer Standard für energiebewußtes Bauen; Heidelberg 1997
- [FfE 2002] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) (Hg.): Vergleich zentraler und dezentraler Warmwasserversorgung. Endbericht; Juli 2002
- [Fisch 2001] Fisch, N.; Möws, B.; Zieger, J.: Solarstadt – Konzepte, Technologien, Projekte; Stuttgart 2001
- [GERTEC 2001] GERTEC: Elektro-Wärmepumpen und andere Heizungssysteme für NiedrigEnergie-Wohngebäude – Endbericht zu den Phasen I und II; Untersuchung im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten sowie des Verbands der Elektrizitätswirtschaft – VDEW – e.V. Landesgruppe Hessen; GERTEC GmbH – Ingenieurgesellschaft, Essen 2001
- [GERTEC 2003] GERTEC: Elektro-Wärmepumpen und andere Heizungssysteme für NiedrigEnergie-Wohngebäude – Endbericht zur Phase III; Untersuchung im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten sowie des Verbands der Elektrizitätswirtschaft – VDEW – e.V. Landesgruppe Hessen; GERTEC GmbH – Ingenieurgesellschaft, Essen 2003
- [Hinz/Werner 1994] Hinz, Eberhard (IWU), Werner, Johannes (ebök Tübingen), Feist, Wolfgang (IWU), Zeller, Joachim (ebök Tübingen): Meßdatenerfassung und Auswertung beim ökologischen Nullenergiehaus Dörpe; IWU, Darmstadt November 1994
- [Hinz/Feist 1992] Hinz, Eberhard; Feist, Wolfgang: Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach. Abschlußbericht; IWU, Darmstadt September 1992
- [HLUG 2004] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hg.): Erdwärmenutzung in Hessen. Leitfaden für Erdwärmepumpen (Erdwärmesonden) mit einer Heizleistung bis 30 kW; Wiesbaden 2004
- [IBP 2005] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Hg.): Sustainable Solar Housing. Technical Report – Building Portraits; International Energy Agency (IEA) Task28/38.; Januar 2005
- [IPH] Impulsprogramm Hessen: Energiekennwerte von Niedrigenergiehäusern; im Internet unter [www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)
- [ISE 2002] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Hg.): Monitoringbericht 2001 zum Förderprogramm Wärmeerzeugung im Passivhaus der EnBW Energie Baden-Württemberg AG; Freiburg März 2002
- [ISOTEG 2002] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) (Hg.): Wärmeerzeuger für die Raumheizung und Warmwasserbereitung. Ver-

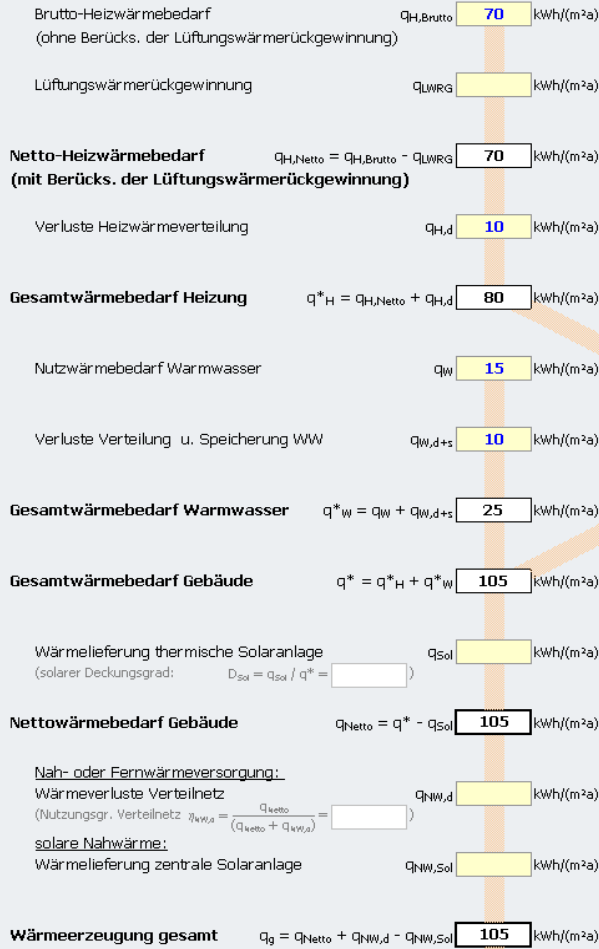
- bundprojekt ISOTEG (Innovative Systeme und optimierte Techniken zur energetischen Gebäudesanierung). Endbericht; Oktober 2002
- [IZW 2002] IZW e.V. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik (Hg.): Statusbericht Nr.1. Wärmepumpen im Altbau; Hannover August 2002
- [Kaiser et al. 2000] Kaiser, Jan; Maas, Anton; Oppermann, Jens: Energetische Analyse und Bewertung von SynergieHäusern. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000
- [Kennziffernkatalog 2004] Kennziffernkatalog – Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft; Energy Consulting / GfEM Gesellschaft für Energiemanagement (Hrsg.); Neuenhagen / Berlin 2004
- [Köhler 2005] Roland Köhler (Hg.): Brennwertkessel: richtig einsetzen; in: Schweizer Energiefachbauch 2005 (22.Jahrgang), S.187-191
- [LEG] Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung; Hrsg. Hessisches Umweltministerium; Wiesbaden 1989 / 1993 / 1995 / 1999
- [Loga et al. 1994] Loga, Tobias; Hampel-Balzereit, Heidrun; Claßen, Gerhard: Die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen - Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit für Wärmeschutz und Nahwärmeversorgung; IWU Darmstadt 1994
- [Loga et al. 1997] Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Menje, Horst: Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen. Ergebnisse des Meßprogramms; IWU, Darmstadt Juli 1997
- [Loga/Imkeller 1997] Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, Ulrich: Energiepaß Heizung / Warmwasser. Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1997
- [Loga/Diefenbach 2001] Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: Guter Ansatz - schwache Standards: die neue Energieeinsparverordnung; Stellungnahme zum Referentenentwurf vom 29. November 2000 bzw. Kabinettsbeschluss vom 7. März 2001; IWU, Darmstadt 2001
- [Loga et al. 2004] Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: Energetische Bewertung von Bestandsgebäuden. Arbeitshilfe für die Ausstellung von Energiepässen; Broschüre erstellt im Auftrag der Deutschen Energieagentur GmbH (dena); Darmstadt/Berlin, März 2004
- [Loga et al. 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden – „Kurzverfahren Energieprofil“; Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; IWU, Darmstadt 2005

- [Lottner] Lottner, Volkmar (PTJ): Solarthermie-2000: Ziele und Überblick; ohne Jahresangabe
- [Mangold et al. 2001] Mangold, D. (ITW); Brenner, M. (ITW); Schmidt, Th. (ITW); Hahne, E. (ITW), Müller-Steinhagen, H. (ITW, ITT): Solarthermie-2000 TP 3: Solar unterstützte Nahwärme. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung; OPET-Seminar Solar unterstützte Nahwärme Neckarsulm 29. und 30.03.2001
- [Menje/Loga 1992] Menje, Horst; Loga, Tobias: Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen. Projektdarstellung; IWU, Darmstadt November 1992
- [Merten et al. 2004] Merten, Dieter; Thrän, Daniela; Falkenberg, Doris: Wärmegewinnung aus Biomasse in Deutschland; in: BWK Bd.56 (2004) Nr.9, S.60–64
- [Minergie 2000] Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS (Hg.): Die Wärmepumpe im Minergiehaus. Energieeffiziente Haustechnik für das 21. Jahrhundert; Zürich Januar 2000
- [Minergie 2004] Konferenz Kantonalen Energiefachstellen zusammen mit dem Verein MINERGIE (Hg.): Praxistest MINERGIE. Erfahrungen aus Planung, Realisierung und Nutzung von MINERGIE-Bauten. Schlussbericht; Juni 2004
- [Rentz 1997] Rentz, Michael (Hg.): Solare Nahwärme. Arbeitskreis Energieberatung Hessen. Protokollband der 29.Sitzung am 30.September 1996; IWU, Darmstadt 1997
- [Russ et al. 2005] Russ, Christel (Fraunhofer ISE Freiburg); Voss, Karsten (Bergische Universität Wuppertal, Fraunhofer ISE Freiburg); Reiss, Johann (Fraunhofer IBP Stuttgart): International Energy Agency (IEA) Task 28 / Annex 38 – D. Sustainable Solar Housing. Design Insights for the Analysis of 50 Sustainable Solar Houses. Technical Report; January 2005
- [Schmidt et al. 2004] Schmidt, T (SWT); Müller-Steinhagen, H (SWT, ITW, ITT): Die solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit saisonalem Aquifer-Wärmespeicher in Rostock – Ergebnisse nach vier Betriebsjahren; 5. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, 8. Geothermische Fachtagung, Landau in der Pfalz 10.-12.11.2004
- [Wolff et al. 2004] Wolff, Dieter; Teuber, Peter; Budde, Jürg; Jagnow, Kati: Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln; gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU); Abschlussbericht; FH Braunschweig Wolfenbüttel, Wolfenbüttel April 2004



## **ANHANG: Anwendung des Rechenschemas – Beispiele für Wärmeversorgungssysteme**

**Brennwertkessel (dezentral)**

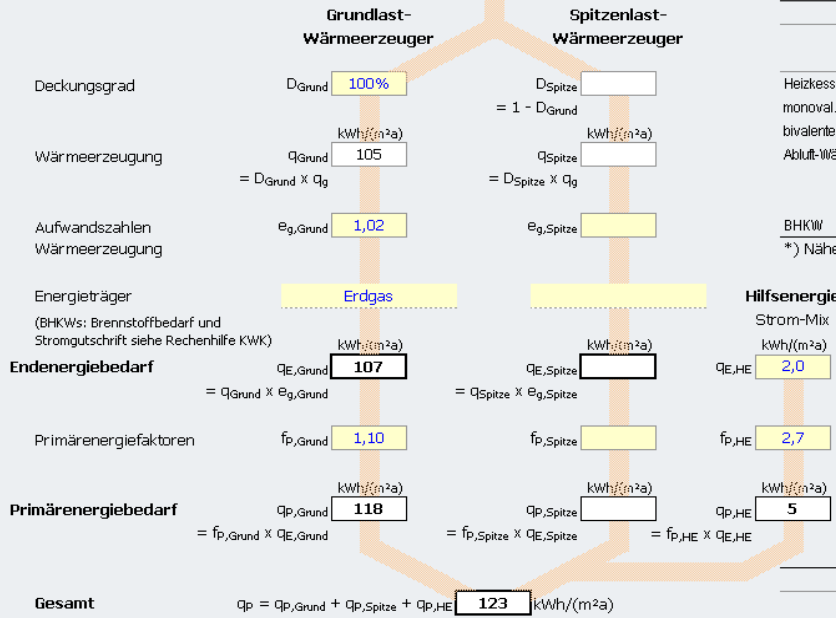


	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW</b>	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	10 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>Qnw,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

	<b>f<sub>p</sub></b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

	<b>e<sub>g</sub></b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

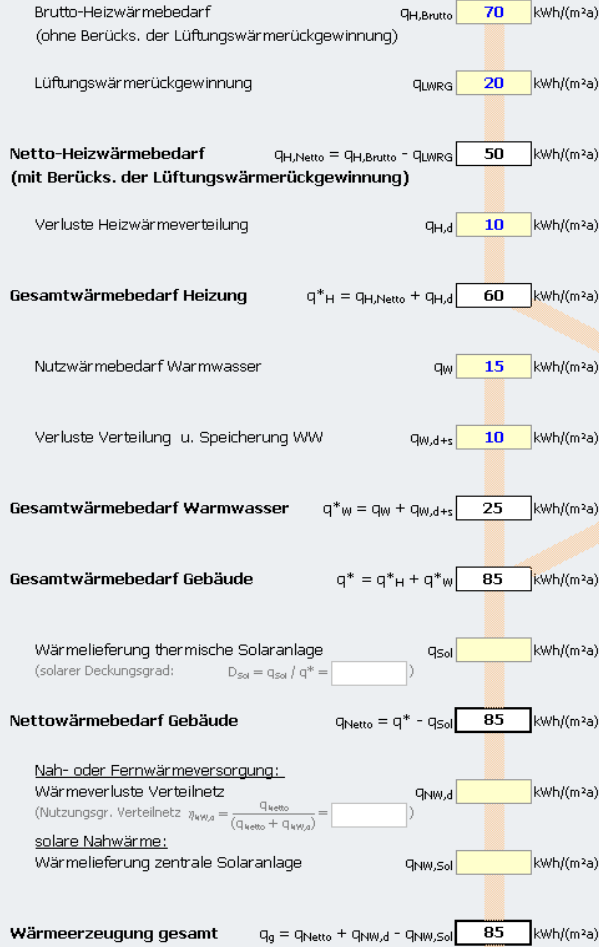
\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

	<b>Q<sub>E,HE</sub></b>		
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert	
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0	
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0	
keine Nachtabschaltung Heizungs.	+0,3 ... +0,7	+0,5	
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5	
Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0	
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0	
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7	
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x Q <sub>NW,d</sub>	

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche



**Brennwertkessel (dezentral) + WRG-Lüftungsanlage**



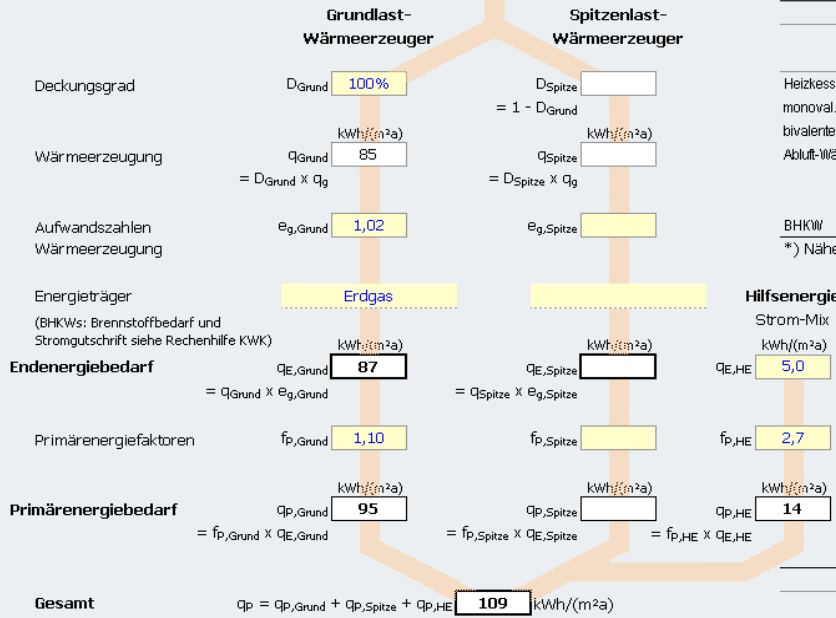
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

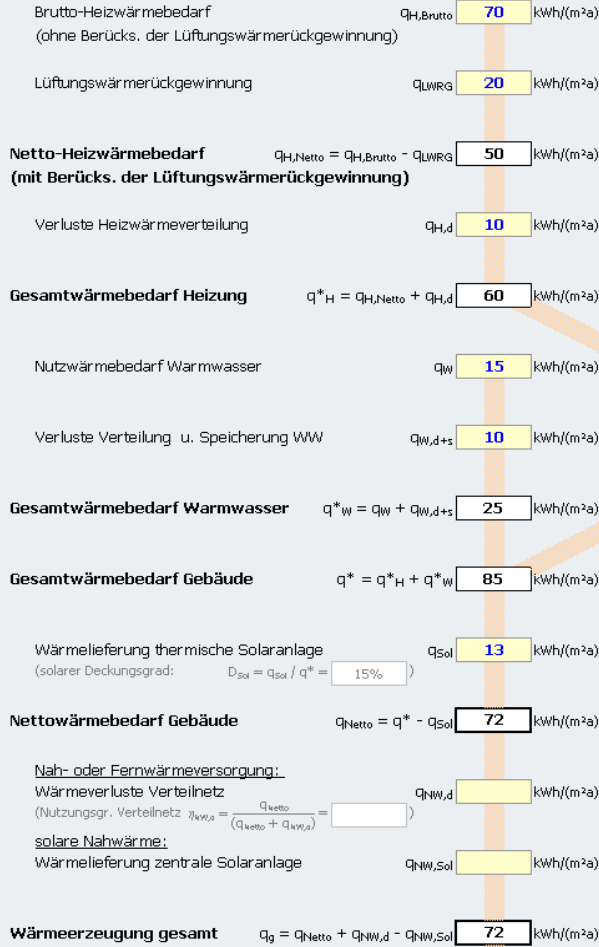
<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	<b>QE,HE</b>			
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert		
<b>der Wärmeerzeugung</b>	Zusätzliche	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
		Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
		keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,3 ... +0,7	+0,5
		keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
		Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
		Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
		thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
		Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x Q <sub>NW,d</sub>
$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} =$	<b>1,28</b>			
$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} =$	<b>1,12</b>			

	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Brennwertkessel (dez.) + WRG-Lüftungsanl. + WW-Solaranlage**



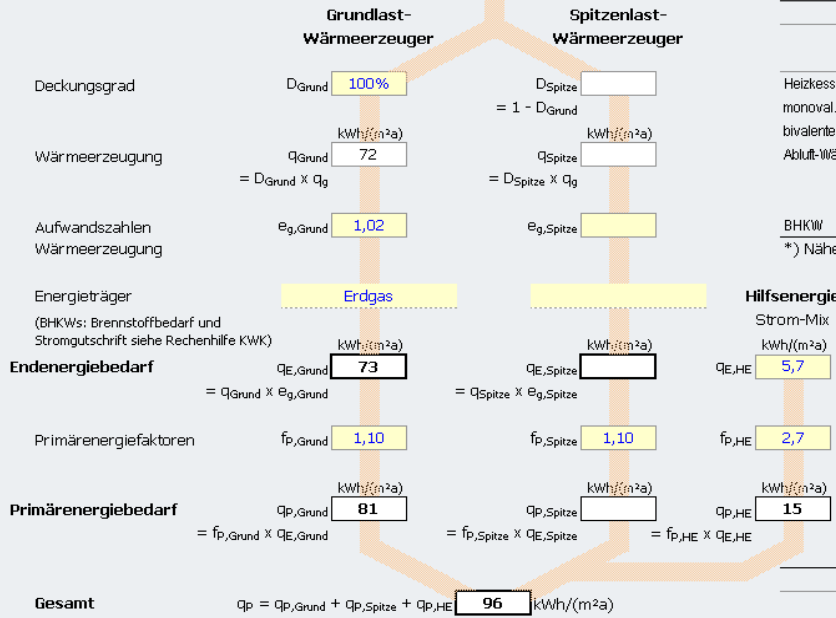
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>f<sub>p</sub></b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} = 1,13$	
<b>der Wärmeerzeugung</b>	$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} = 0,95$	
Zusätzliche	<b>QE,HE</b>	
		je nach Bauart und Betriebsweise
	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0
	Zirkulation	+0,5 ... +1,5
	keine Nachtabschaltung Heizungs- u. Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+0,3 ... +0,7
	keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7
	Abluftanlage	+1,3 ... +4,0
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	
		+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

	<b>e<sub>g</sub></b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Erdreich-Wärmepumpe**

Brutto-Heizwärmebedarf  $Q_{H,Brutto}$  **70** kWh/(m<sup>2</sup>a)  
(ohne Berücks. der Lüftungwärmerückgewinnung)

Lüftungwärmerückgewinnung  $Q_{LWRG}$  kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Netto-Heizwärmebedarf (mit Berücks. der Lüftungwärmerückgewinnung)**  $Q_{H,Netto} = Q_{H,Brutto} - Q_{LWRG}$  **70** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Verluste Heizwärmeverteilung  $Q_{H,d}$  **10** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Gesamtwärmebedarf Heizung**  $q^*_H = Q_{H,Netto} + Q_{H,d}$  **80** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Nutzwärmebedarf Warmwasser  $Q_W$  **15** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Verluste Verteilung u. Speicherung WW  $Q_{W,d+s}$  **10** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Gesamtwärmebedarf Warmwasser**  $q^*_W = Q_W + Q_{W,d+s}$  **25** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Gesamtwärmebedarf Gebäude**  $q^* = q^*_H + q^*_W$  **105** kWh/(m<sup>2</sup>a)

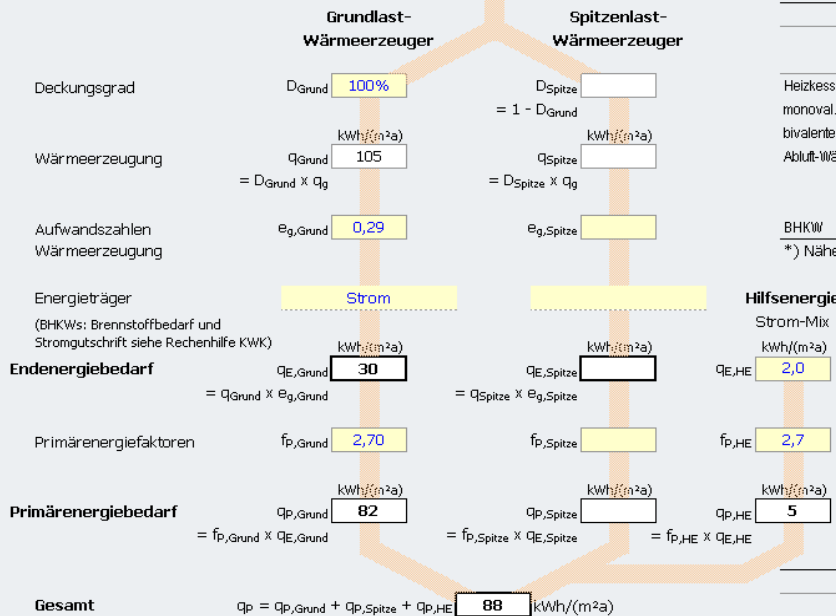
Wärmelieferung thermische Solaranlage  $Q_{Sol}$  kWh/(m<sup>2</sup>a)  
(solarer Deckungsgrad:  $D_{Sol} = Q_{Sol} / q^* =$  )

**Nettowärmebedarf Gebäude**  $Q_{Netto} = q^* - Q_{Sol}$  **105** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Nah- oder Fernwärmeversorgung:  
Wärmeverluste Verteilnetz  $Q_{NW,d}$  kWh/(m<sup>2</sup>a)  
(Nutzungsgr. Verteilnetz  $\eta_{NW,d} = \frac{Q_{Netto}}{(Q_{Netto} + Q_{NW,d})} =$  )

solare Nahwärme:  
Wärmelieferung zentrale Solaranlage  $Q_{NW,Sol}$  kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Wärmeerzeugung gesamt**  $Q_g = Q_{Netto} + Q_{NW,d} - Q_{NW,Sol}$  **105** kWh/(m<sup>2</sup>a)



**Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems**

$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} =$  **1,03**

**der Wärmeerzeugung**

$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} =$  **0,78**

	QE,HE	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
keine Nachtabschaltung Heizungs- u. Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+0,3 ... +0,7	+0,5
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
Lüftungsanlage	+1,3 ... +4,0	+3,0
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x Q <sub>NW,d</sub>

	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	Qsol in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	QNW,d in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Siedlungstyp	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme

	DGrund	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 65$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	fp	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10: fp = 3,0

\*\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets

fp = 0,20 ... 1,20 / siehe Rechenhilfe

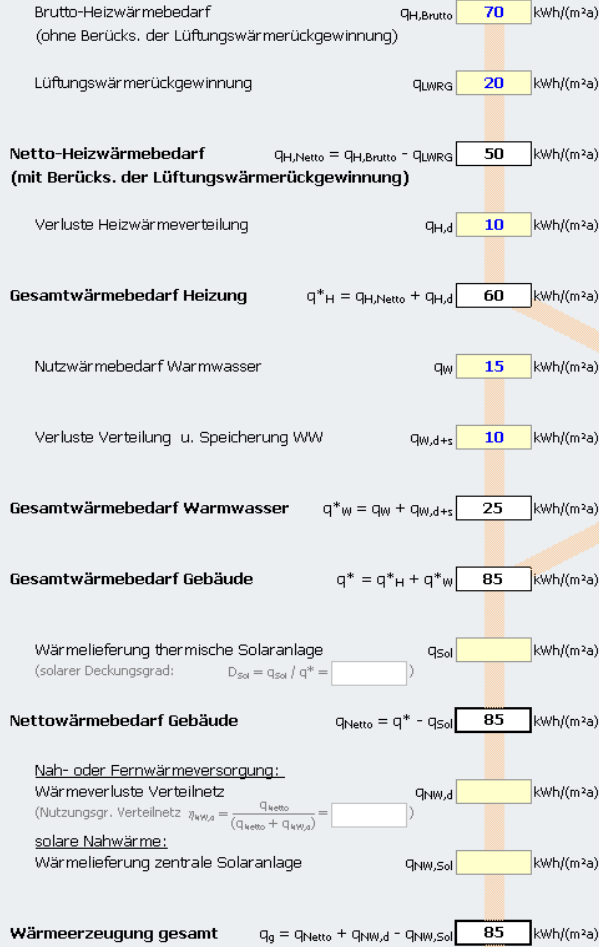
	eg	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren:

Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Erdreich-Wärmepumpe + WRG-Lüftungsanlage**



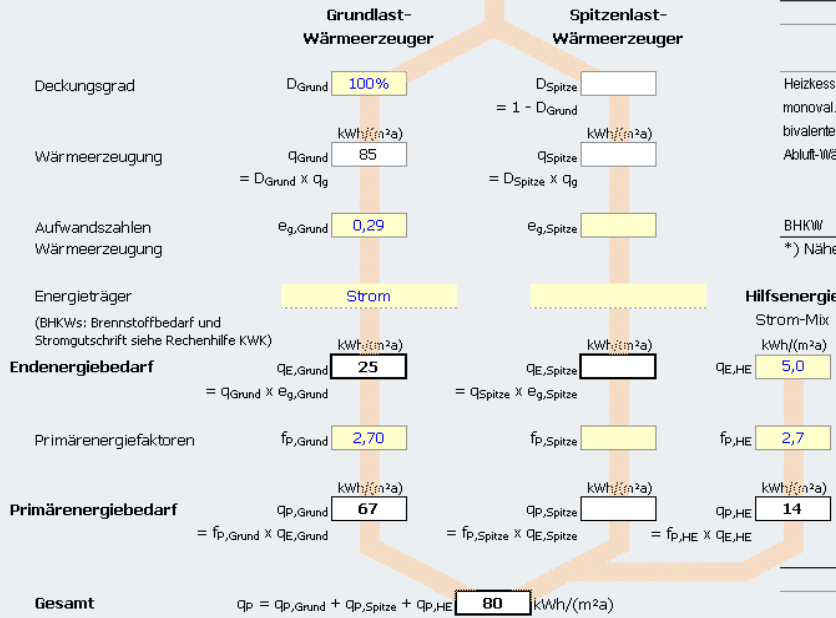
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

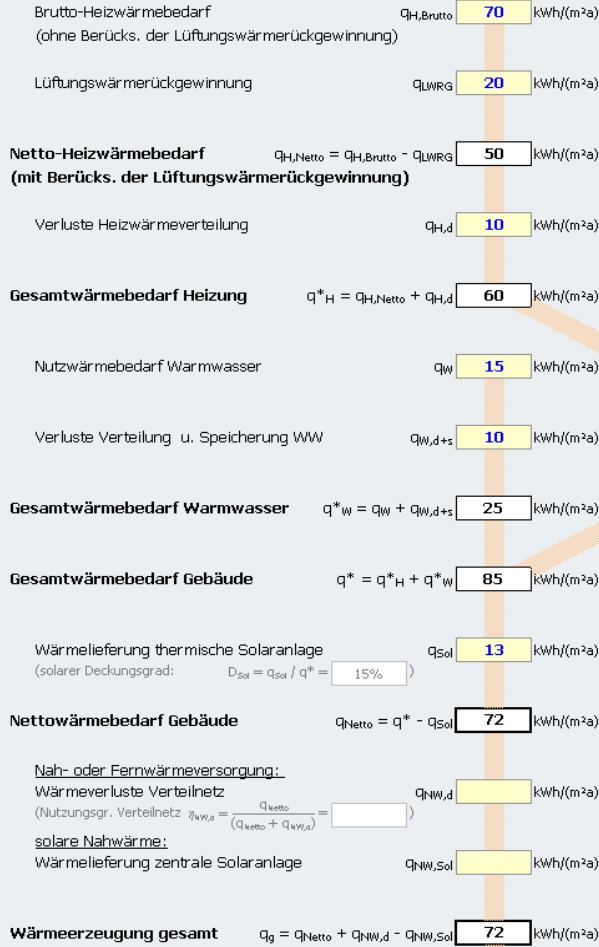
	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

	<b>QE,HE</b>		
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert	
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0	
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0	
keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,3 ... +0,7	+0,5	
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5	
Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0	
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0	
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7	
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$	

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Erdreich-Wärmepumpe + WRG-Lüftungsanl. + WW-Solaranlage**



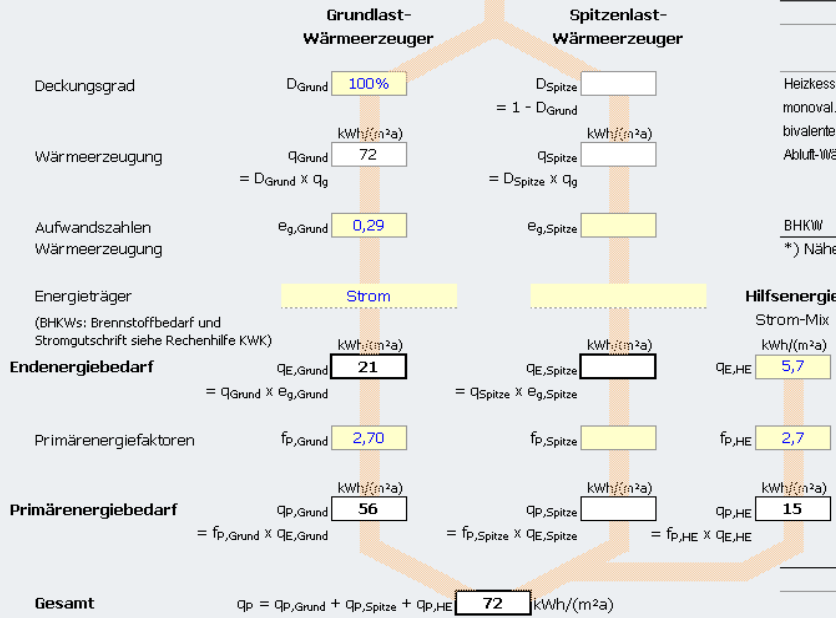
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	ohne Lüftungswärmerückgew.
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	
<b>QH,d</b>	2 ... 20	10	kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	
<b>QW,d+s</b>	5 ... 15	10	kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 65$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>f<sub>p</sub></b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} = \mathbf{0,84}$	
<b>der Wärmeerzeugung</b>	$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} = \mathbf{0,66}$	
	<b>Q<sub>E,HE</sub></b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
keine Nachtabschaltung Heizungs- u. Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+0,3 ... +0,7	+0,5
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
Lüftungsanlage	+1,3 ... +4,0	+3,0
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

	<b>e<sub>g</sub></b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Außenluft-Wärmepumpe**

Brutto-Heizwärmebedarf  $Q_{H,Brutto}$  **70** kWh/(m²a)  
(ohne Berücks. der Lüftungwärmerückgewinnung)

Lüftungwärmerückgewinnung  $Q_{LWRG}$  kWh/(m²a)

**Netto-Heizwärmebedarf (mit Berücks. der Lüftungwärmerückgewinnung)**  $Q_{H,Netto} = Q_{H,Brutto} - Q_{LWRG}$  **70** kWh/(m²a)

Verluste Heizwärmeverteilung  $Q_{H,d}$  **10** kWh/(m²a)

**Gesamtwärmebedarf Heizung**  $q^*_H = Q_{H,Netto} + Q_{H,d}$  **80** kWh/(m²a)

Nutzwärmebedarf Warmwasser  $Q_W$  **15** kWh/(m²a)

Verluste Verteilung u. Speicherung WW  $Q_{W,d+s}$  **10** kWh/(m²a)

**Gesamtwärmebedarf Warmwasser**  $q^*_W = Q_W + Q_{W,d+s}$  **25** kWh/(m²a)

**Gesamtwärmebedarf Gebäude**  $q^* = q^*_H + q^*_W$  **105** kWh/(m²a)

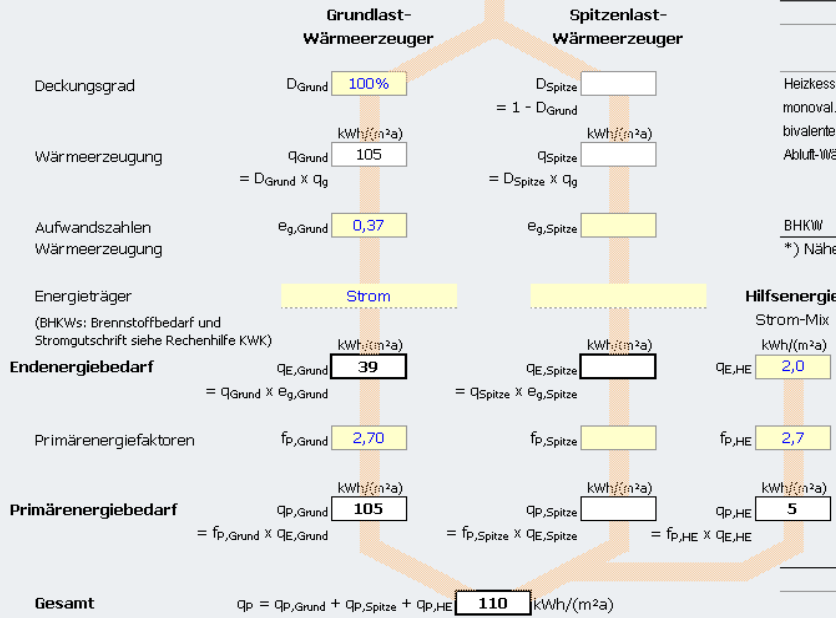
Wärmelieferung thermische Solaranlage  $Q_{Sol}$  kWh/(m²a)  
(solarer Deckungsgrad:  $D_{Sol} = Q_{Sol} / q^* =$  )

**Nettowärmebedarf Gebäude**  $Q_{Netto} = q^* - Q_{Sol}$  **105** kWh/(m²a)

Nah- oder Fernwärmeversorgung:  
Wärmeverluste Verteilnetz  $Q_{NW,d}$  kWh/(m²a)  
(Nutzungsgr. Verteilnetz  $\eta_{NW,d} = \frac{Q_{Netto}}{(Q_{Netto} + Q_{NW,d})} =$  )

solare Nahwärme:  
Wärmelieferung zentrale Solaranlage  $Q_{NW,Sol}$  kWh/(m²a)

**Wärmeerzeugung gesamt**  $Q_g = Q_{Netto} + Q_{NW,d} - Q_{NW,Sol}$  **105** kWh/(m²a)



**Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems**

$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} =$  **1,30**

**der Wärmeerzeugung**

$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} =$  **1,00**

	QE,HE	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
keine Nachtabschaltung Heizungs- u. Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+0,3 ... +0,7	+0,5
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
Lüftungsanlage	+1,3 ... +4,0	+3,0
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x Q <sub>NW,d</sub>

	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m²a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m²a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m²a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m²a)
<b>QW</b>	je nach Belegdichte	Anhaltswert	10 ... 20 kWh/(m²a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m²a)

	Qsol in kWh/(m²a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	QNW,d in kWh/(m²a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme

	DGrund	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m²a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m²a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m²a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

	fp	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

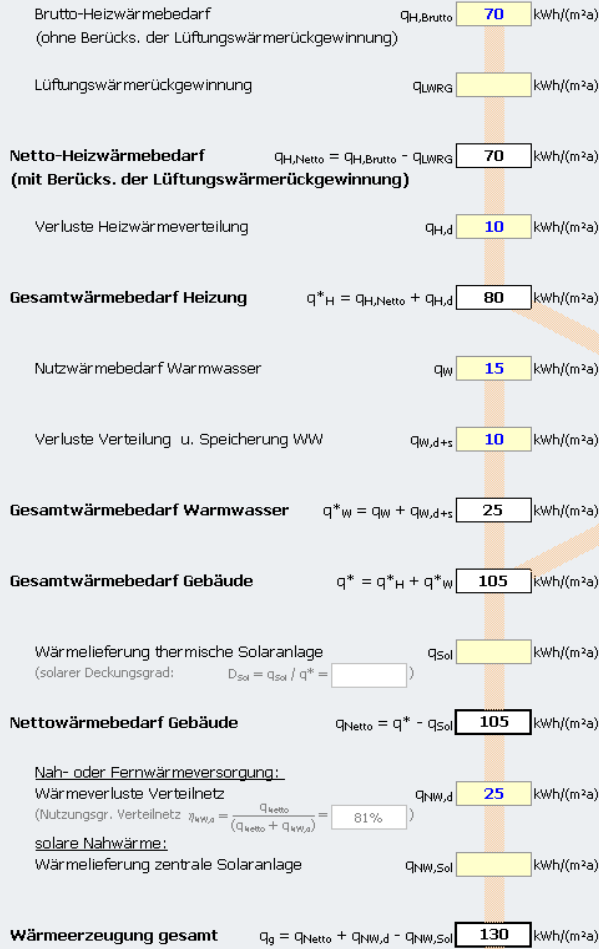
\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10: fp = 3,0  
\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets fp = 0,20 ... 1,20 / siehe Rechenhilfe

	eg	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Nahwärmenetz mit Brennwertkessel**



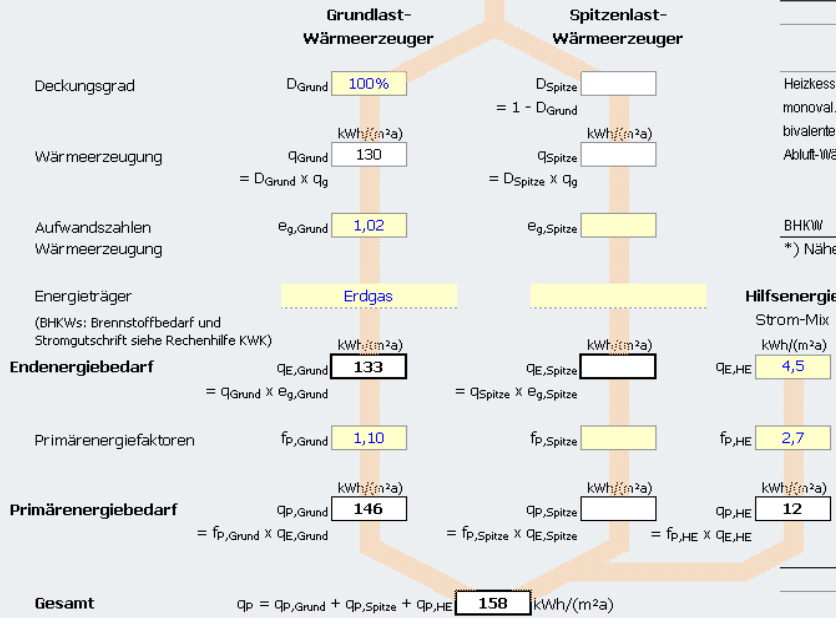
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
*) bei Ansatz der Anhaltswerte von $q_w$ und $q_{w,d+s}$ Für andere Ansätze siehe Rechenhilfe Solaranlage	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>Qnw,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Siedlungstyp	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

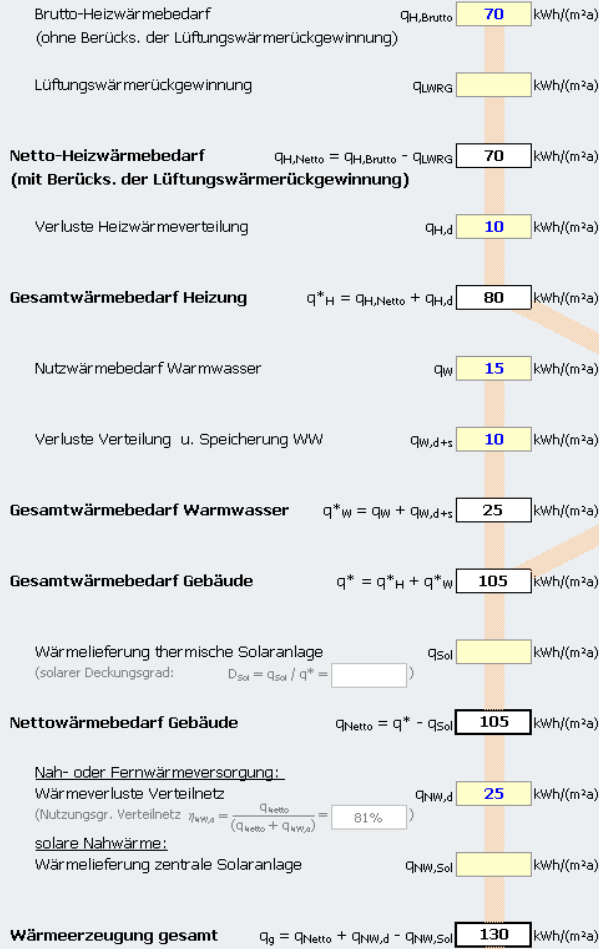
<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} = 1,86$	
<b>der Wärmeerzeugung</b>	$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} = 1,39$	
Zusätzliche	Basiswert für Verteilung und Regelung	je nach Bauart und Betriebsweise
	Zirkulation	1,0 ... 3,0
	keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,5 ... +1,5
	keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7
	Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0
	Abluftanlage	+0,5 ... +2,0
	thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

Nahwärmenetz mit BHKW - 35% KWK-Anteil an Wärmeerzeugung



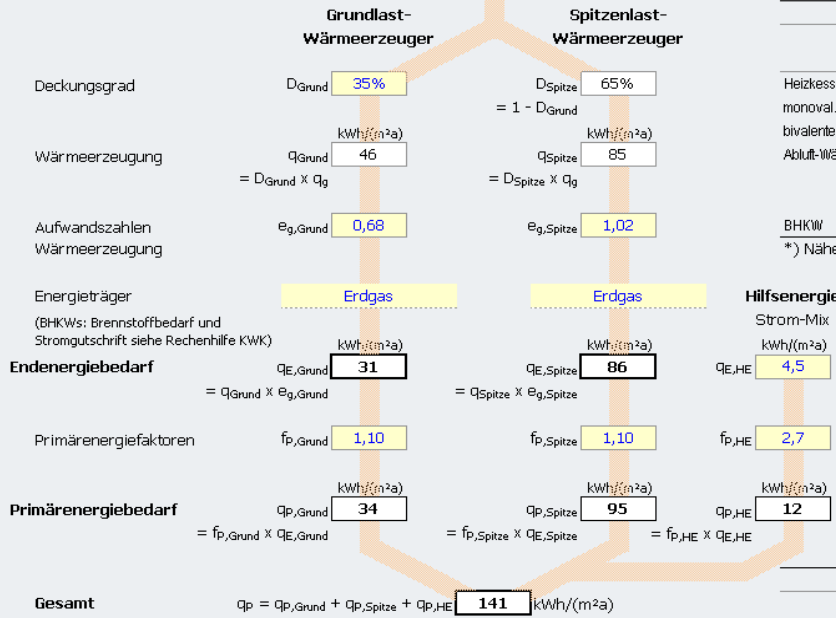
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	<b>QE,HE</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} = 1,66$	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0
<b>der Wärmeerzeugung</b>	Zirkulation	+0,5 ... +1,5
	keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,3 ... +0,7
	keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7
	Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0
	Abluftanlage	+0,5 ... +2,0
	thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5
	Nahwärme	+0,5 ... +4,0
		+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

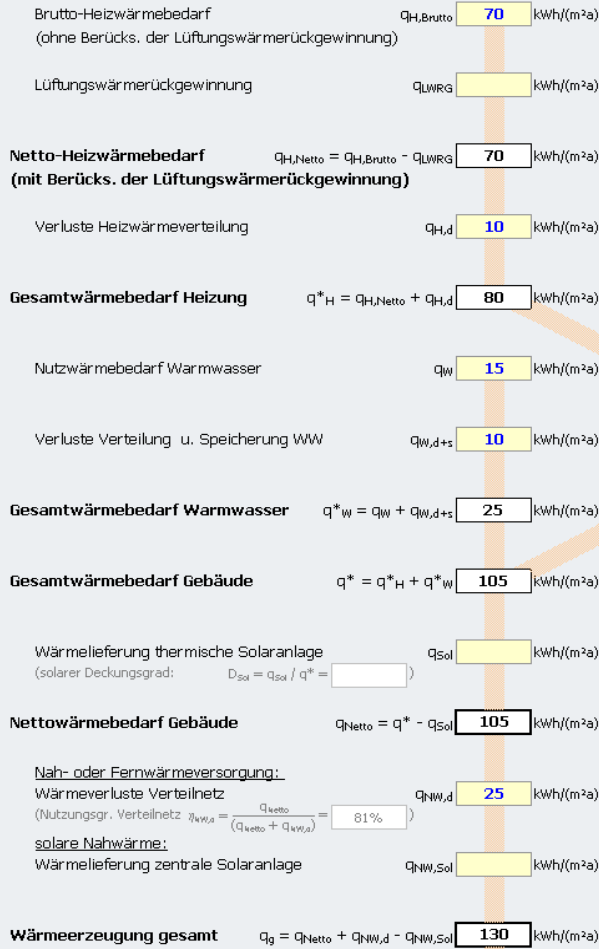
	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche



Nahwärmenetz mit BHKW - 70% KWK-Anteil an Wärmeerzeugung



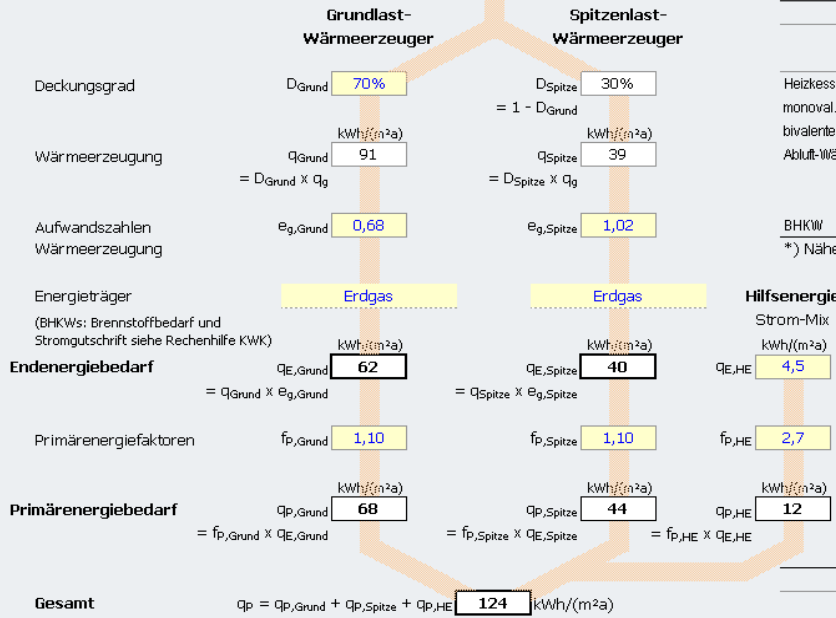
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m²a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m²a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m²a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m²a)

	je nach Belegdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m²a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m²a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m²a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>Qnw,d</b> in kWh/(m²a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m²a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m²a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m²a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fP</b>	
	Standardwert	
Erdgas		1,10
Flüssiggas		1,10
Heizöl		1,10
Strom		2,70*
Biomasse **		0,20

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

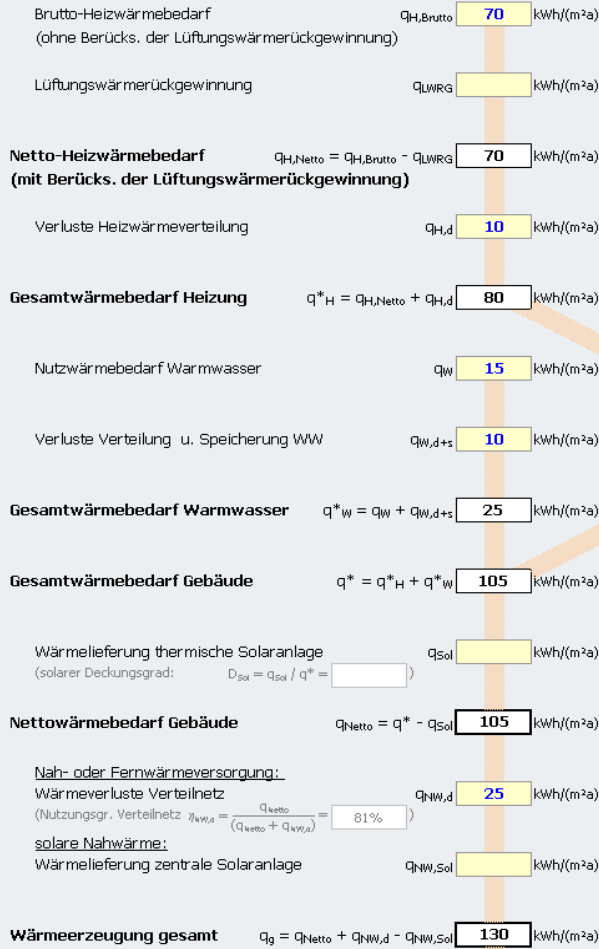
<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	<b>Qp,HE</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} =$ <b>1,46</b>		
<b>der Wärmeerzeugung</b>		
$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} =$ <b>1,07</b>		
Zusätzliche		
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,3 ... +0,7	+0,5
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienz-methode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzel-Kessel

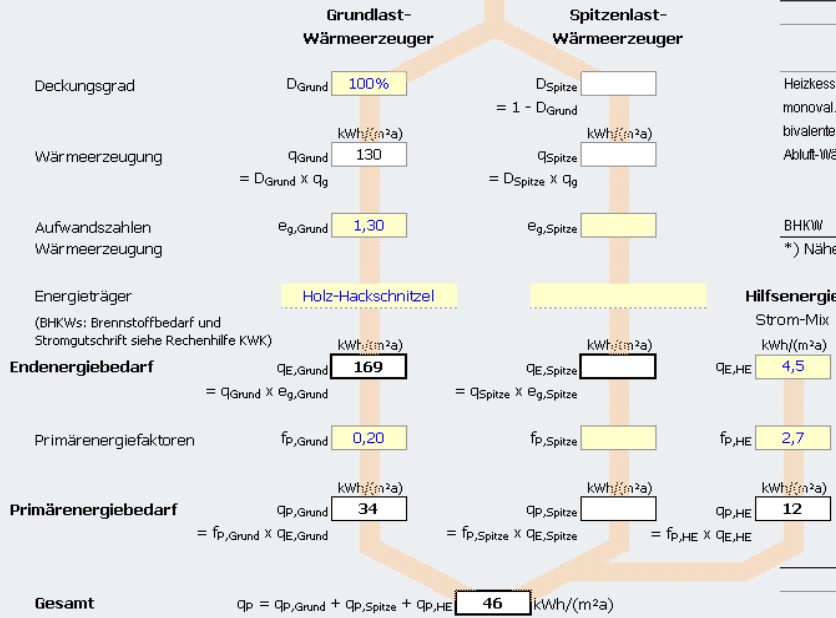


	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW</b>	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	10 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>Qnw,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

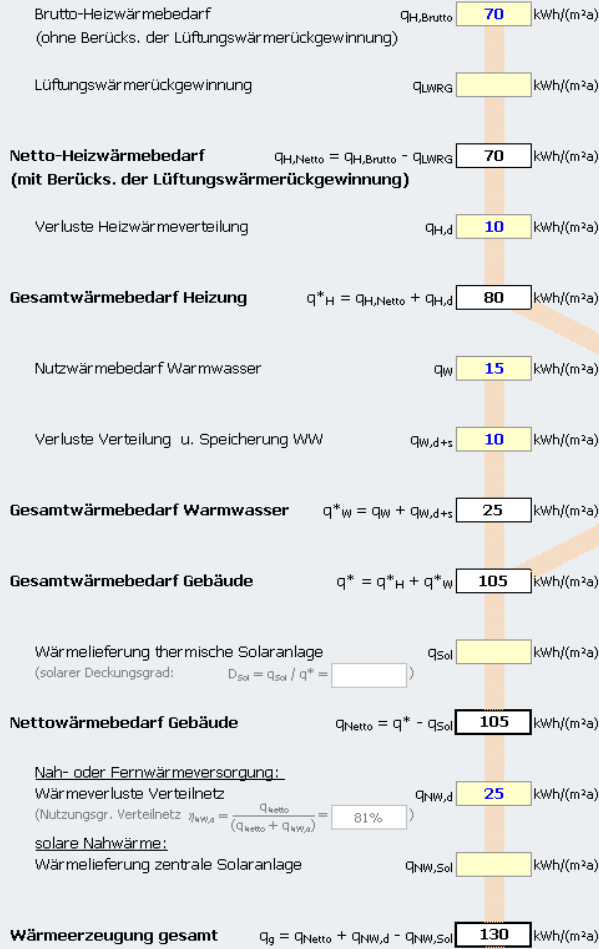
<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	<b>QE,HE</b>		
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert	
$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} =$ <b>0,54</b>	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
<b>der Wärmeerzeugung</b>	Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
	keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,3 ... +0,7	+0,5
	keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
	Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
	Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
	thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
	Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

Nahwärmenetz mit Holzhackschnittel-Kessel mit BioBudget



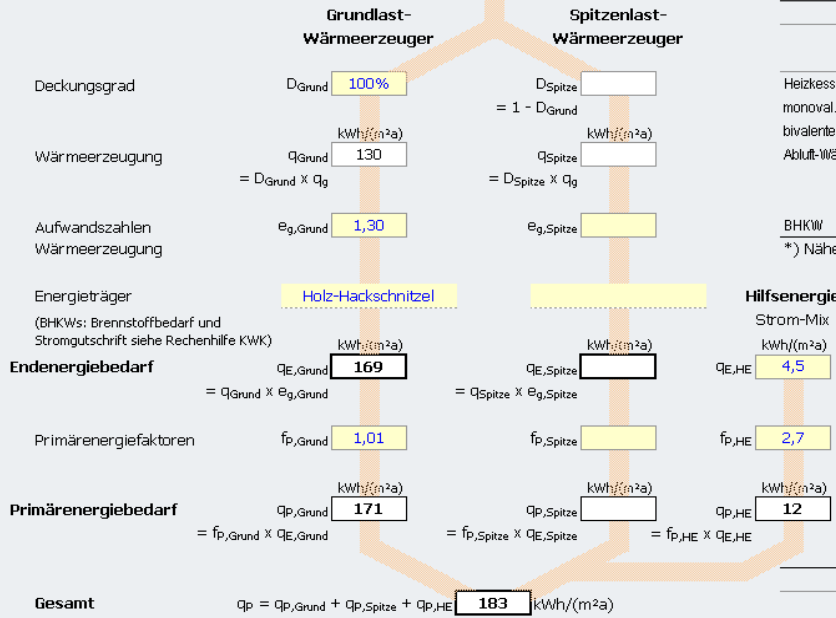
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 65$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

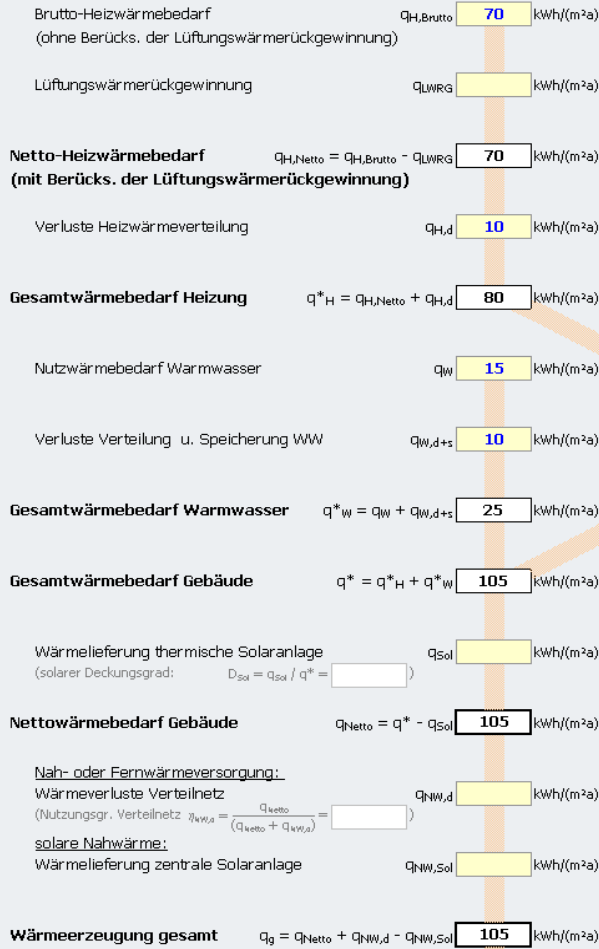
<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	<b>QE,HE</b>			
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert		
$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} = 2,15$	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0	
<b>der Wärmeerzeugung</b>	Zusätzliche	Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
		keine Nachtabschaltung Heizungs.	+0,3 ... +0,7	+0,5
		keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
		Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
		Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
		thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
		Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$

	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

**Holz-Pellet-Kessel dezentral**



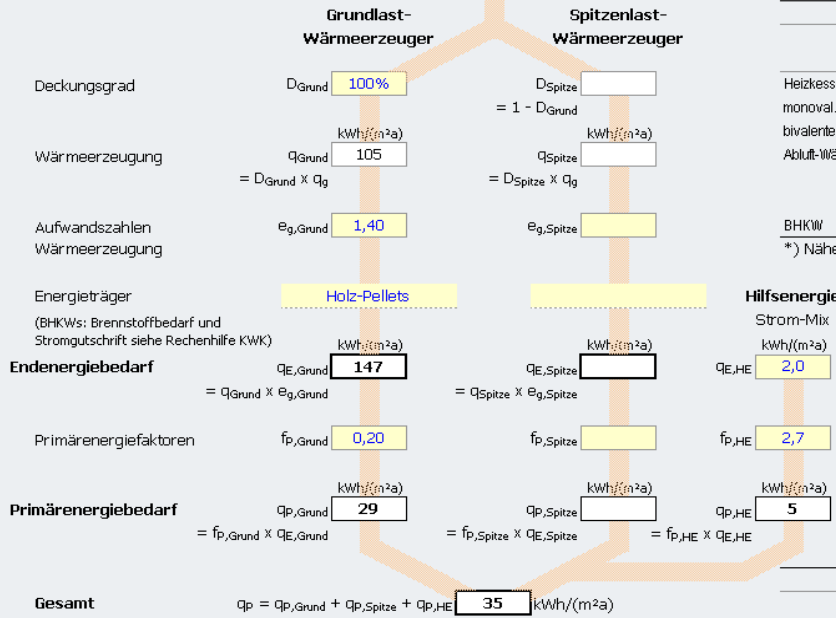
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QH,d</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	2 ... 20 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>QW,d+s</b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	5 ... 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
*) bei Ansatz der Anhaltswerte von $q_w$ und $q_{w,d+s}$ Für andere Ansätze siehe Rechenhilfe Solaranlage	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>Qnw,d</b> in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Siedlungstyp	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 65$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>f<sub>p</sub></b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

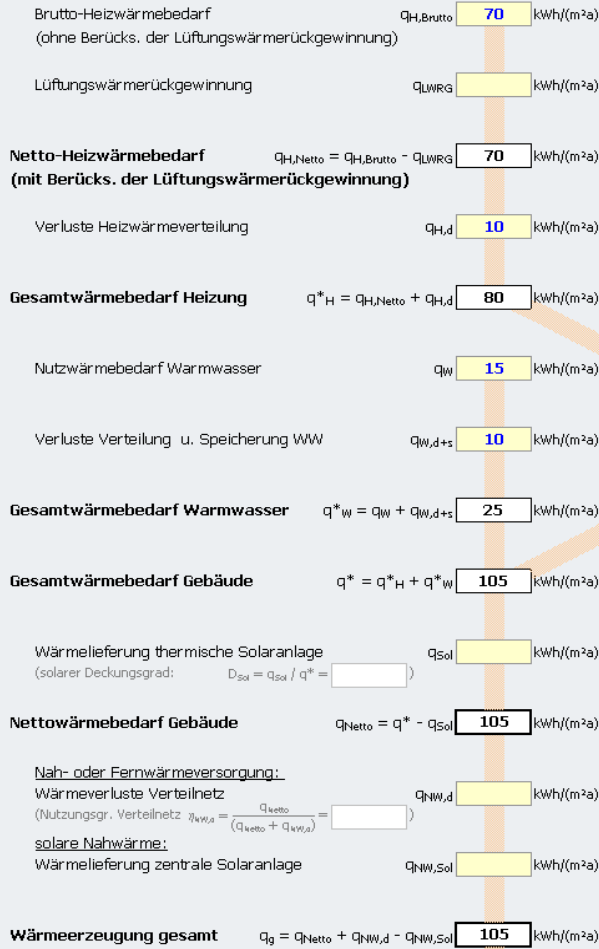
	<b>e<sub>g</sub></b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

	<b>Q<sub>E,HE</sub></b>		
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert	
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0	
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0	
keine Nachtabschaltung Heizungs- u. Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+0,3 ... +0,7	+0,5	
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5	
Lüftungsanlage	+1,3 ... +4,0	+3,0	
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0	
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7	
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$	

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

Holz-Pellet-Kessel dezentral - mit "BioBudget" = 30 kWh/(m²a)



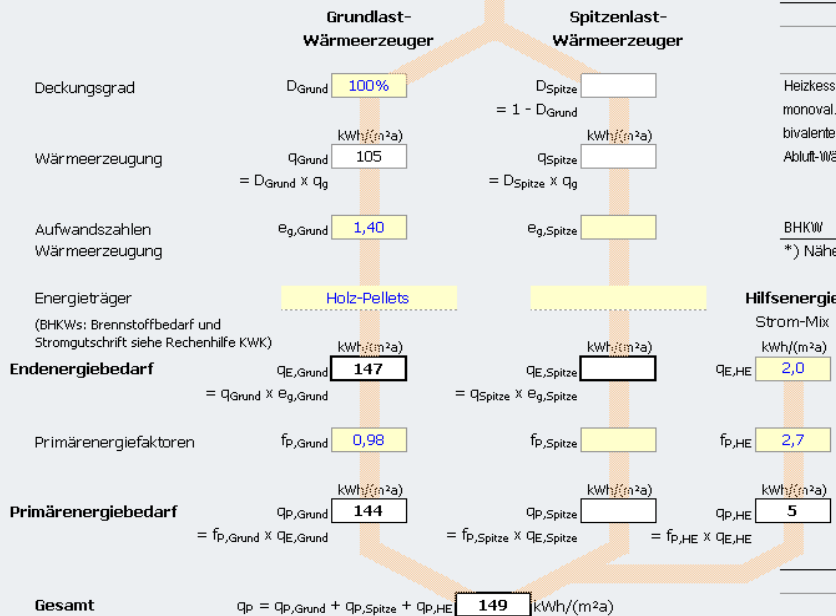
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Brutto</b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m²a)
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	ohne Lüftungswärmerückgew.
<b>QL,WRG</b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m²a)
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>QH,Netto</b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m²a)
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	
<b>QH,d</b>	2 ... 20	10	kWh/(m²a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert	
<b>QW</b>	10 ... 20	15	kWh/(m²a)
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	
<b>QW,d+s</b>	5 ... 15	10	kWh/(m²a)

	<b>Qsol</b> in kWh/(m²a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>QNW,d</b> in kWh/(m²a)	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**QNW,Sol** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>DGrund</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoval. Wärmepumpen (Erdreich, Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m²a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m²a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m²a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>fp</b>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10:  $f_p = 3,0$   
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  $f_p = 0,20 \dots 1,20$  / siehe Rechenhilfe

<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>	<b>QE,HE</b>			
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert		
<b>der Wärmeezeugung</b>	Zusätzliche	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
		Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
		keine Nachtabschaltung Heizungs-p.	+0,3 ... +0,7	+0,5
		keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
		Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
		Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
		thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
		Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x $Q_{NW,d}$
$e_p = \frac{Q_p}{Q_{H,Brutto} + Q_W} =$	1,76			
$e_{p,g} = \frac{Q_{p,Grund} + Q_{p,Spitze}}{q^*} =$	1,37			

	<b>eg</b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienz-methode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche