

## Verbrauchsgebundene Kosten der Heizung und Warmwasserbereitung

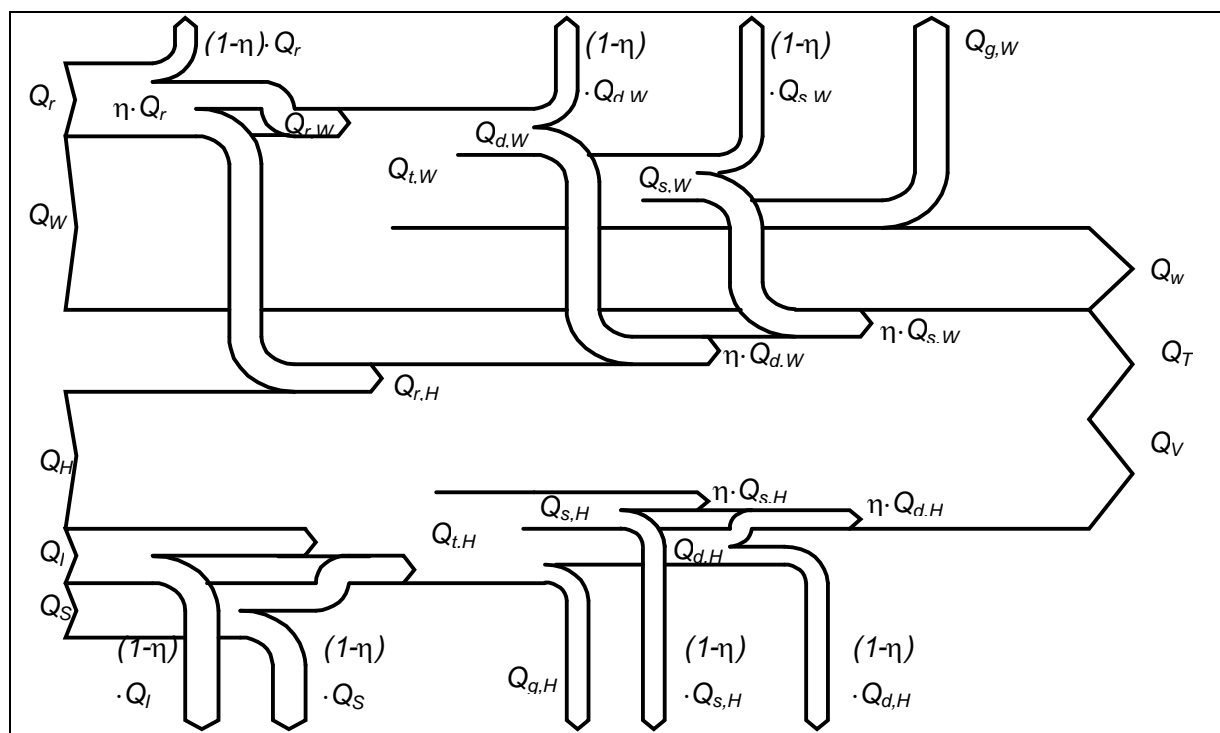
### 1. Allgemeines

Die verbrauchsgebundenen Kosten  $K$  einer Heizungsanlage setzen sich im wesentlichen aus zwei Teilkomponenten zusammen. Zum einen sind es die anfallenden Brennstoffkosten, die zur Deckung der thermischen Energieanforderung  $Q$  des Gebäudes benötigt werden, zum anderen sind es Kosten für elektrische Hilfsenergien  $Q_{el}$  der Fördereinrichtungen (Pumpen, Ventilatoren), die unmittelbar bei der Versorgung des Gebäudes mit Wärme auftreten. Jede Gruppe dieser Energien wird zur Kostenermittlung mit ihrem spezifischen Preis  $k_x$  je Energieeinheit (z.B. €/kWh) multipliziert.

$$K = k_w \cdot Q + k_{el} \cdot Q_{el}$$

Für die physikalisch korrekte Bilanzierung der benötigten thermischen Energiemenge (Energiebilanz) über ein Jahr lassen sich Nutzung, Baukörper und Anlagentechnik eines Gebäudes nicht voneinander trennen. Es erfolgt eine *Gesamtwärmebilanz*<sup>1</sup> als Grundlage der Kostenermittlung.

Bild 2.6.1-1. stellt die Verknüpfung der im Gebäude auftretenden Wärmeströme dar. Die Bezeichnung der Energien wird in den folgenden Abschnitten erklärt. Der griechische Buchstabe  $\eta$  steht für einen Ausnutzungsgrad der Energie (vgl. Abschnitt 2.6.3).



**BILD 2.6.1-1. VERKNÜPFUNG DER IM GEBÄUDE AUFTRETENDEN WÄRMESTRÖME**

<sup>1</sup> in Anlehnung an folgende Berechnungsvorschriften:  
 DIN V 4108-6 „Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs von Gebäuden“ (2003 und Berichtigung 2004)  
 DIN V 4701-10 „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ (2003)  
 Institut Wohnen und Umwelt, IMPULS-Programm Hessen „Energiepass Heizung/Warmwasser“ (1997)  
 Institut Wohnen und Umwelt „LEG - Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung“ (1995)

**TAFEL 2.6.1-1. LEGENDE DER GRÖßEN UND INDIZES DES BILDES 2.6.1-1.**

physikalische Größen			
Q	Wärme, Energie	$\eta$	Nutzungsgrad einer Wärme/Energie
Indizes			
d	Verteilung (distribution)	H	Jahresheizenergie (heating)
g	Erzeugung (generation)	I	innere Wärmequelle (inner heat source)
r	regenerative Wärmequelle (regenerative heat source)	S	solare Wärmequelle (solar heat source)
s	Speicherung (storage)	T	Transmission (transmission)
t	technisch (technical)	V	Lüftung (ventilation)
w	Warmwassernutzwärme (domestic hot water)	W	Jahreswarmwasserenergie (domestic hot water)

Die Höhe der benötigten thermischen Energie des Gebäudes Q hängt von einer großen Anzahl von Faktoren ab, deren wichtigste folgende sind:

1. Nutzerverhalten, z.B. Komfortansprüche (Raumtemperatur, Sommerheizung, benötigte Warmwassermenge) und Lüftungsverhalten sowie Sorgfalt der Bedienung und Wartung;
2. Güte des Wärmeschutzes und der Bauausführung (Wärmedurchgangskoeffizienten, Kompaktheit, Wärmebrücken, Gebäudedichtheit); Speicherfähigkeit des Gebäudes;
3. Höhe der Wärmeverluste bei der Erzeugung, Verteilung und Speicherung von Wärme für das Heiz- und das Warmwassersystem;
4. Güte der Ausführung der Anlagentechnik (Einstellung aller Regelparameter, hydraulischer Abgleich, Überdimensionierung von Komponenten);
5. Dauer von Betriebsunterbrechungen bzw. des eingeschränkten Heizbetriebes;
6. Regelgüte der zentralen Wärmeerzeugung und der dezentralen Wärmeabgabe;
7. Verhältnis der Summe aller Fremdwärmemengen (passive Solarenergie und innere Wärmequellen, u.a. unregelmäßige Wärmeabgabe durch Heiz- und Warmwasserverteilrohre) zu den Transmissions- und Lüftungswärmegewinnen: Gewinn/Verlust-Verhältnis.

Zur Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung gibt es verschiedene Bilanzverfahren. Ein Querschnitt wird in den nachfolgenden Abschnitten behandelt.

## 2. Grundgleichungen des Jahresheizenergiebedarfs

Zur Berechnung des flächenbezogenen Jahresheizenergiebedarfs q eines Gebäudes kann folgende Gleichung<sup>2</sup> herangezogen werden:

$$q = \frac{Q}{A_{EB}}$$

Die für diese und alle folgenden Berechnungen maßgebliche Fläche  $A_{EB}$  ist die *Energiebezugsfläche* eines Gebäudes, also die Summe aller Wohn- bzw. Nutzflächen, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist.<sup>3</sup> Alternativ wird dafür in der EnEV<sup>4</sup> und zugehörigen Normen für Wohngebäude die Nutzfläche  $A_N = 0,32 \cdot V_e$  (mit  $V_e$  als externem Hüllvolumen des Gebäudes) und für Nichtwohngebäude die Nettogrundfläche  $A_{NGF}$  herangezogen. Im Mittel untersuchter Einfamilienwohngebäude liegt die Nutzfläche  $A_N$  um etwa 27 % höher als die Energiebezugsfläche  $A_{EB}$ . Für Mehrfamilienhäuser ergibt sich ein Verhältnis von 1,1 ... 1,2.

Der *Jahresenergiebedarf* Q setzt sich im Wesentlichen aus vier Komponenten zusammen, dem Heizwärmebedarf  $Q_h$  und dem Nutzwärmebedarf der Warmwasserbereitung  $Q_w$  sowie der Summe aller zu

<sup>2</sup> Detailliertere Informationen für Neubauten und Bestandsgebäude in: Die neue Energieeinsparverordnung 2002, Jagnow/Horschler/Wolff, DWD Verlag, Köln (2002).

<sup>3</sup> beheizte Wohnfläche nach BGBl. I: Verordnung über wohnungswirtschaftliche Berechnungen 1990 (ohne Balkone und Wintergärten); beheizte Nutzfläche nach DIN 277 Teil 2 „Grundflächen und Raum-inhalte im Hochbau; Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen“ (2005).

<sup>4</sup> Energieeinsparverordnung (s. Abschnitt 6.1.5)

deckenden technischen Anlagenverluste  $Q_t$ , abgemindert um den Anteil der Energie, der regenerativen und rückgewinnbaren Energieströmen zugeschrieben werden kann,  $Q_r$ .

$$Q = Q_h + (Q_w) + Q_t - Q_r$$

Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  eines Gebäudes ergibt sich aus den zu deckenden Verlustwärmemengen der Transmission durch die Gebäudehülle  $Q_T$  und Lüftung (natürliche und/oder auch Zwangslüftung)  $Q_V$  (ventilation). Diese Verlustwärmemengen werden reduziert um den Betrag der nutzbaren Energiegewinne  $Q_G$  (gain) während der Heizzeit. Die Art der Gewinne kann in zwei große Gruppen geteilt werden, zum einen die nutzbaren inneren Gewinne  $\eta_F \cdot Q_i$ , deren Verursacher innerhalb des beheizten Bereichs eines Gebäudes liegen, zum anderen die nutzbaren solaren Gewinne  $\eta_F \cdot Q_S$  durch die Fenster.

$$Q_h = Q_T + Q_V - Q_G \quad \text{mit} \quad Q_G = \eta_F \cdot (Q_S + Q_I)$$

Die technischen Anlagenverluste  $Q_t$  eines Gebäudes lassen sich jeweils dem Heizsystem  $Q_{t,H}$  oder dem System der Warmwasserbereitung  $Q_{t,W}$  zuschreiben. Dabei kann für jedes der beiden Systeme in Wärmeverluste der Verteilung  $Q_{d,H}$  bzw.  $Q_{d,W}$  (distribution), die Wärmeverluste der Speicherung  $Q_{s,H}$  bzw.  $Q_{s,W}$  (storage) und die Wärmeverluste der Erzeugung  $Q_{g,H}$  bzw.  $Q_{g,W}$  (generation) unterschieden werden.

Verluste der Abgabe der Heizwärme an den Raum, die zum Beispiel aus Regelabweichungen der Regler sowie Trägheit eines Heizsystems entstehen können, können einzeln als Verlustwärmemenge ausgewiesen werden oder als Erhöhung der mittleren Rauminnentemperatur in der Heizzeit ggf. in erhöhten Lüftungswärmeverlusten und verlängerten Heizperioden berücksichtigt werden. Im hier wiedergegebenen Ansatz einer Energiebilanz wird der zweite Ansatz gewählt.

$$Q_t = Q_{t,H} + Q_{t,W} \quad \text{mit} \quad Q_{t,H} = Q_{d,H} + Q_{s,H} + Q_{g,H} \quad \text{und} \quad Q_{t,W} = Q_{d,W} + Q_{s,W} + Q_{g,W}$$

### 3. Heizwärmebedarf und Nutzwärmebedarf der Warmwasserbereitung

#### 3.1. Heizzeit, Heizperiode, Gradtagszahl sowie mittlere Innen- und Außentemperatur

Die *Heizzeit* beginnt in Deutschland am 1. September und endet am 31. Mai (9 Monate). Wird außerhalb dieser Zeit geheizt, wird dies als *Sommerheizung* bezeichnet.

Die *Heizperiode*  $t$  (bzw.  $t_{HP}$ ) entspricht der Anzahl der Tage im Jahr, die ein Gebäude abhängig von der Heizgrenztemperatur durch die Heizungsanlage versorgt wird. Je nach *Heizgrenztemperatur*  $\vartheta_{HG}$  (z.B. 12 °C) wird die Heizperiode  $t_{\vartheta_{HG}}$  (z.B.  $t_{12}$ ) genannt.

Die *Heizgrenztemperatur*  $\vartheta_{HG}$  beschreibt die Temperatur, ab der ein Gebäude nicht mehr durch die Heizungsanlage versorgt werden muss. Für den Fall, dass keine inneren und solaren Wärmegegewinne für ein Gebäude auftreten, liegt die theoretische Heizgrenztemperatur bei der Innentemperatur, z.B. bei  $\vartheta_i = \vartheta_{HG} = 20$  °C.

Die mögliche *Heizgrenztemperatur* für ein Gebäude hängt sowohl vom Dämmstandard des Gebäudes als auch der Höhe der nutzbaren Fremdwärme im Verhältnis zu den Wärmeverlusten (Gewinn/Verlust-Verhältnis) in der *Heizperiode* ab. Fallen in einem Gebäude Wärmegegewinne an, decken diese einen Teil der Jahrestransmissions- und Lüftungswärmeverluste. Mit steigendem Gewinn/Verlust-Verhältnis verkürzt sich die *Heizperiode*, die *Heizgrenztemperatur* fällt auf niedrigere Werte, die *mittlere Außentemperatur*  $\vartheta_{a,m}$  in der Heizzeit sinkt.

Die Witterungseinflüsse können in der *Gradtagszahl*  $Gt_{\vartheta_i, \vartheta_{HG}}$  (z.B.  $Gt_{19,10}$ ) zusammengefasst werden. Sie stellt die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen mittlerer Innentemperatur  $\vartheta_i$  (z.B. 19 °C) und *Außentemperatur* über alle Tage einer *Heizperiode* mit der *Heizgrenztemperatur*  $\vartheta_{HG}$  (z.B. 10 °C),

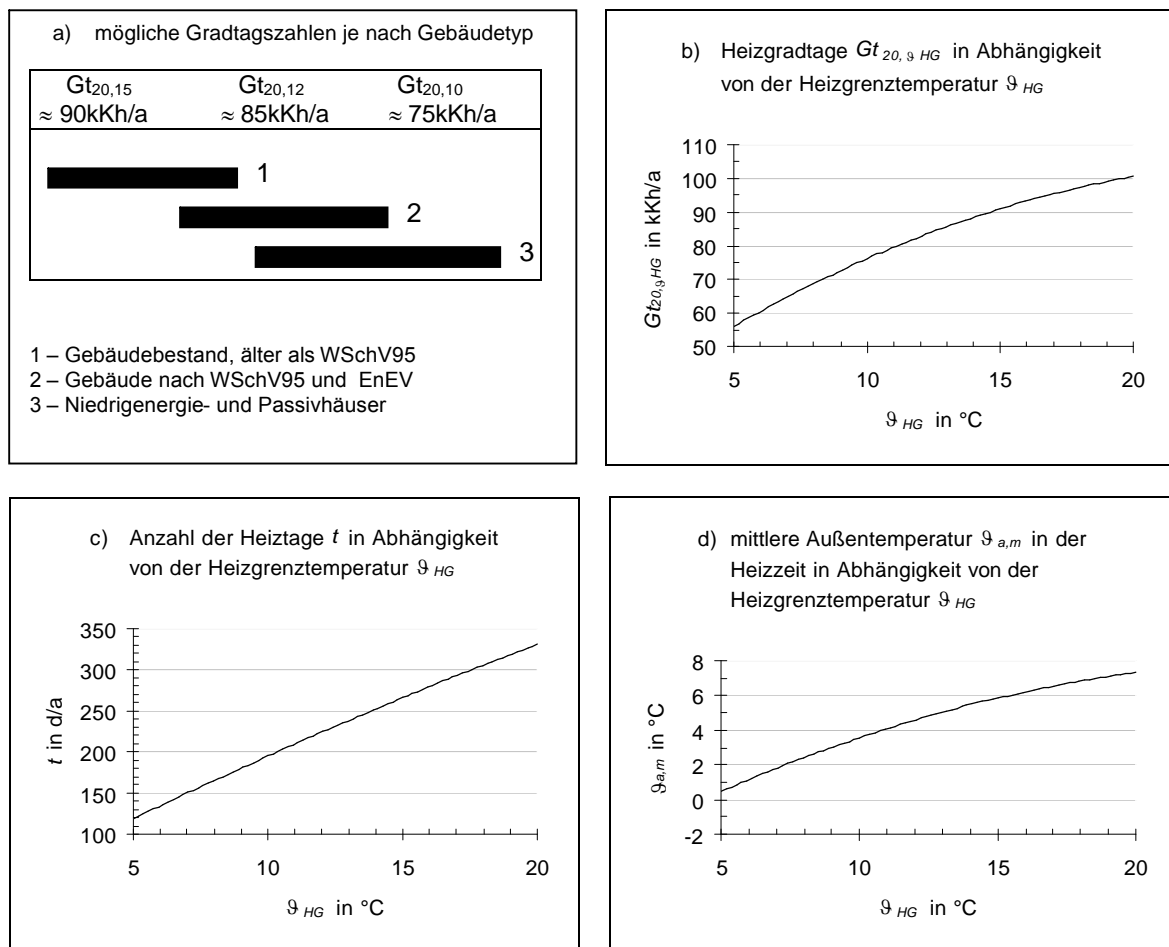
dar. Für verschiedene Standorte Deutschlands ist die typische *Gradtagszahl*  $Gt_{20,15}$  für eine Innentemperatur von  $\vartheta_i = 20\text{ °C}$  und eine Heizgrenztemperatur von  $\vartheta_{HG} = 15\text{ °C}$  dokumentiert.<sup>5</sup>

Für andere *mittlere Innentemperaturen* als  $20\text{ °C}$  (hervorgerufen durch andere Nutzungswünsche eines Gebäudes, aber auch durch Regelabweichungen der Wärmeübergabe) kann der Wert der *Gradtagszahl*  $Gt$  (vgl. Abschnitt 1.1.2-3) näherungsweise wie folgt korrigiert werden.

$$Gt_{\vartheta_i, \vartheta_{HG}} = Gt_{20, \vartheta_{HG}} + t_{\vartheta_{HG}} \cdot (\vartheta_i - 20\text{ °C}) \text{ z.B. } Gt_{21,15} = Gt_{20,15} + t_{15} \cdot (21\text{ °C} - 20\text{ °C})$$

Nach diesem Ansatz bedeutet eine Änderung der Raumtemperatur um  $\Delta\vartheta_i = 1\text{ K}$  eine Veränderung der Gradtagszahl um etwa  $\pm 6...7\%$  für ältere Wohngebäude bzw. bis  $\pm 10\%$  für neue Wohngebäude.

Die Übersichten in Bild 2.6.3-1 gelten für Wohngebäude und einen mittleren Standort in Deutschland.



**BILD 2.6.3-1. ZUORDNUNG VON GRADTAGSZAHLN FÜR WOHNBAUEN (A) SOWIE GRADTAGSZAHLN (B), ANZAHL DER HEIZTAGE (C) UND MITTLERE AUßENTEMPERATUR (D) JE NACH HEIZGRENZTEMPERATUR FÜR EINEN MITTLEREN STANDORT IN DEUTSCHLAND**

### 3.2. Transmissionswärmebedarf $Q_T$

Der *Transmissionswärmebedarf* eines Gebäudes  $Q_T$  hängt von der Gradtagszahl  $Gt$ , also der Summe der Temperaturdifferenzen innen – außen über die Heizperiode, sowie dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aller Umschließungsflächen des Gebäudes  $U_m$  (incl. Korrektur der Temperatur angrenzender Räume und ggf. incl. Wärmebrücken) und der Größe der wärmeübertragenden Hüllflä-

<sup>5</sup> Gradtagszahlen können der VDI 3808, Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien bei Heizungsanlagen, (01.1993) entnommen werden bzw. aus den Wetterdaten der DIN 4710, Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen in Deutschland (01.2003), ermittelt werden.

che  $A_{H\ddot{u}lle}$  ab. Die Gebäudeeigenschaft  $U_m \cdot A_{H\ddot{u}lle}$  kann durch die spezifische Transmissionsheizlast  $H_T$  ausgedrückt werden.

$$Q_T = q_T \cdot A_{EB} = H_T \cdot Gt \quad \text{mit} \quad H_T = U_m \cdot A_{H\ddot{u}lle}$$

Für Wohngebäude verschiedenen Baualters können als Näherungswerte mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten nach Tafel 2.6.-2 für die Gebäudehülle herangezogen werden. Die Werte gelten für den ursprünglichen Bauzustand ohne nachträgliche Dämmung. Eine Erhebung am realen Objekt ist auf jeden Fall anzustreben. Für Nichtwohngebäude mit vom Wohnbau abweichenden Temperaturen sind die Werte individuell zu berechnen.

**TAFEL 2.6.3-1. MITTLERE WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN  $U_M$  UND MITTLERER FLÄCHENBEZOGENER ( $A_{EB}$ ) TRANSMISSIONSWÄRMEBEDARF  $Q_T$  FÜR WOHNBAUTEN UND GEBÄUDEN MIT WOHNÄHNLICHEN TEMPERATUREN**

Gebäudeart	Gebäude-Altbestand	Gebäude nach WSchV95	Niedrigenergiestandard	Passivhaus-Standard
$U_m$ in W/m <sup>2</sup> K	1,5...1,0	1,0...0,6	0,6...0,3	0,3...0,2
$q_T$ in kWh/(m <sup>2</sup> a)	200...100	100...40	70...30	20...10

### 3.3. Lüftungswärmebedarf $Q_V$

Zur Bestimmung des *Lüftungswärmebedarfs*  $Q_V$  ist die Verwendung eines Luftwechsels üblich. Es gibt verschiedene Ansätze, die an dieser Stelle nicht vertieft behandelt werden. Eine Möglichkeit ist die Abschätzung des (energetisch) *wirksamen Luftwechsels*  $n$  für ein Gebäude. Dieser setzt sich wie folgt zusammen.

$$n = (1 - \eta_{WRG}) \cdot n_{Anl} + n_{Rest}$$

Bei durch mechanische Lüftung zwangsbelüfteten Gebäuden wird nur der Teil des Anlagenluftwechsels  $n_{Anl}$  den wirklichen Verlusten zugerechnet, der nicht zur Aufheizung frischer Kaltluft in einer Wärmerückgewinnung (mit der Rückwärmzahl  $\eta_{WRG}$ ) genutzt wird. Zusätzlich entstehen auch für mechanisch belüftete Gebäude Luftwechsel durch im Gebäude vorhandene Restundichtheiten  $n_{Rest}$  und natürliches Fensterlüftungsverhalten. Für einzelne Gebäudetypen ohne Lüftungsanlage gelten die Anhaltswerte für  $n$  nach Tafel 2.6.3-2.

**TAFEL 2.6.3-2. „ANHALTSWERTE FÜR MITTLERE LUFTWECHSEL  $n$  BZW.  $n_{ANL}$  (A) UND RESTLUFTWECHSEL  $n_{REST}$  (B)“**

a) Anhaltswerte für mittlere Luftwechsel in der Heizzeit in h<sup>-1</sup>

		Wohnen	Heime	Verwaltung	Schulen
natürlicher Luftwechsel durch Fenster und Fugen	$n$	0,6	0,6	0,43	0,37
mechanischer Luftwechsel	$n_{Anl}$	0,4	0,4	0,23	0,17

b) Restluftwechsel bei mechanischer Lüftung  $n_{Rest}$  durch Undichtigkeiten in h<sup>-1</sup>

ohne Drucktest	0,2
mit bestandenem Drucktest ( $n_{50} \leq 1$ bei 50Pa Differenzdruck)	0,1

Der jährliche Lüftungswärmeverlust  $Q_V$  für ein Gebäude kann analog zum Transmissionswärmeverlust aus der spezifischen Lüftungsheizlast  $H_V$  und der Gradtagszahl  $Gt$  bestimmt werden. Dabei ist die Größe  $H_V$  nicht allein eine gebäudespezifische Größe, da sie auch von der Anlagentechnik und im besonderen Maße vom Nutzerverhalten bestimmt wird. Die Größe  $H_V$  beinhaltet das belüftete Gebäudevolumen (überschlägig  $V_L = A_{EB} \cdot 2,5$  m), den mittleren Luftwechsel  $n$  sowie die das Produkt aus Dichte und Wärmespeicherkapazität der Luft 0,34 Wh/(m<sup>3</sup>K).

$$Q_V = H_V \cdot Gt = 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot n \cdot V_L \cdot Gt$$

Für Wohngebäude mit und ohne mechanische Lüftung ergeben sich flächenbezogene Lüftungswärmeverluste von  $q_v = 20 \dots 50 \dots (75) \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Den oberen Grenzwert von  $75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und höher findet man vor allem in von Rauchern benutzten Räumen. Die Werte im Nichtwohnbau streuen noch stärker.

Eine Änderung der Luftwechselzahl  $n$  um  $\Delta n = 0,1 \text{ h}^{-1}$  führt bei Wohnbauten nach diesem Ansatz zu einer Veränderung des flächenbezogenen Lüftungswärmebedarfs um  $\Delta q_v = 6 \dots 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

### 3.4. Solare Strahlungswärme $Q_S$

Die *nutzbaren Strahlungswärmegewinne*  $\eta_F \cdot Q_S$  durch Fenster hängen sowohl von der Fensterfläche und -ausrichtung und dem Energiedurchlassgrad der Fenster als auch vom Ausnutzungsgrad der freien Wärme ab. Der Ausnutzungsgrad der freien Wärme  $\eta_F$  (Fremdwärmenutzungsgrad) ist in erster Näherung eine Funktion des Verhältnisses von Fremdwärme aus passiver solarer Strahlung und inneren Wärmequellen ( $Q_S + Q_I$ ) zu den Energieverlusten durch Transmission und Lüftung ( $Q_T + Q_V$ ). Weiterhin spielen das Nutzerverhalten und die Regelungstechnik eine Rolle, die im nachfolgenden Ansatz jedoch vereinfachend vernachlässigt werden.

$$\eta_F = 1 - 0,3 \cdot \frac{Q_I + Q_S}{Q_T + Q_V}$$

Der Ausnutzungsgrad kann Werte von etwa  $(0,7) \dots 0,9 \dots (1)$  annehmen. Dabei tritt der Wert  $1,0$  für Gebäude mit sehr geringer Fremdwärme bezogen auf die Energieverluste durch Transmission und Lüftung auf. Der untere Extremwert der nur 70%igen Nutzung anfallender Fremdwärme ist bei Gebäuden mit sehr hohen Gewinn-Verlust-Verhältnis (zum Beispiel Niedrigstenergiehäuser) anzusetzen.

Die Berechnung der solaren Fremdwärmegewinne erfolgt nach folgender vereinfachter Formel.

$$\eta_F \cdot Q_S = \eta_F \cdot q_S \cdot A_{EB}$$

Sind genaue Berechnungen erforderlich, dann ist der Wert für  $Q_S$  in einem ausführlichen Rechenverfahren aus den Fensterflächen  $A_F$ , den Energiedurchlassgraden  $g$  sowie den himmelsrichtungsabhängigen Werten für die Globalstrahlungen  $G$  und ggf. Minderungsfaktoren  $r$  für Verschattung u.ä. zu ermitteln.

$$Q_S = \sum A_F \cdot G \cdot g \cdot r$$

Überschlägig kann mit Werten für den auf die beheizte Nutzfläche bezogenen nutzbaren Solarenergiegewinn von  $\eta_F \cdot q_S = 13 \dots 19 \dots (32) \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  gerechnet werden. Die höheren Werte ergeben sich bei längeren Heizzeiten und höheren Fensterflächenanteilen.

### 3.5. Innere Fremdwärme $Q_I$

Die in einem Gebäude frei werdenden Energien können grundsätzlich der *geregelten* und der *ungeregelten Wärmeabgabe* zugeordnet werden. Unter der geregelten Wärmeabgabe werden alle Energien verstanden, die von den geregelten Heizflächen innerhalb des Gebäudes abgegeben werden. Alle anderen inneren Energiequellen des Gebäudes (Personen, Geräte, ein Teil der Wärmeverteilungen) geben ihre Energie unregelmäßig ab. Die Menge der frei werdenden Energien ist stark von der Nutzungsart aber auch von der Art des Heiz- und Warmwasserverteilsystems eines Gebäudes abhängig.

Ein Teil der von den inneren Energiequellen unregelmäßig frei werdenden Energie  $Q_I$  kann für die Raumheizung genutzt werden. Diese *nutzbaren inneren Fremdwärmegewinne*  $\eta_F \cdot Q_I$  hängen wie die Strahlungsgewinne vom Ausnutzungsgrad der freien Wärme  $\eta_F$  ab.

$$\eta_F \cdot Q_I = \eta_F \cdot q_I \cdot A_{EB} \quad \text{mit} \quad q_I = \dot{q}_i \cdot t$$

Die nutzbaren inneren Fremdwärmegewinne  $\eta_F \cdot Q_i$  setzen sich zusammen aus der Wärmeabgabe von Personen und Geräten sowie Wärmegutschriften der innerhalb der gedämmten Hülle eines Gebäudes verlegten wärmeführenden Leitungen (ggf. mit Speicher und Wärmeerzeuger) des Warmwasser- und Heizsystems.

Für Gebäudetypen verschiedener Nutzung kann ohne Wärmegutschriften aus der Anlagentechnik mit Anhaltswerten der Tafel 2.6.3-3. für die flächenbezogene innere Gewinnleistung  $\dot{q}_i$  gerechnet werden.

**TAFEL 2.6.3-3. MITTLERE AUF DIE BEHEIZTE FLÄCHE  $A_{EB}$  BEZOGENE WÄRMEABGABELEISTUNG INNERER WÄRMEQUELLEN (OHNE WÄRMEGUTSCHRIFTEN AUS DER ANLAGENTECHNIK)**

Mittlere flächenbezogene Wärmeabgabeleistung innerer Wärmequellen $\dot{q}_i$ in W/m <sup>2</sup>				
Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus	Heim	Verwaltung	Schulen
1,8	2,3	3,1	3,5 ... (6)	2,8

In guter Näherung ergeben sich anrechenbare innere Gewinne in der Größenordnung von  $\eta_F \cdot q_i = 6 \dots 36 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Einen genaueren Ansatz liefert die Ermittlung der im Gebäude tatsächlich anfallenden Fremdwärmemengen. Dazu muss vor allem die mittlere Personenzahl, die Ausstattung mit elektrischen Verbrauchern (Geräte und Beleuchtung), aber auch die zu erwartende Wärmeabgabe und Aufnahme verlegter Rohrleitungen (ggf. auch -speicherung und -erzeugung) betrachtet werden.

### 3.6. Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung $Q_w$

Der absolute Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung kann nach folgender Formel ermittelt werden.

$$Q_w = q_w \cdot A_{EB}$$

$Q_w$  ist ebenfalls stark von der Art der Nutzung des Gebäudes abhängig. Für Wohngebäude kann man mit etwa  $400 \dots 700 \text{ kWh}/(\text{Person} \cdot \text{a})$  für die gezapfte Warmwassermenge rechnen. Dies entspricht einer flächenbezogenen Nutzenergiemenge für Wohngebäude von  $q_w = 12 \dots 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Bei Gebäuden mit anderer Nutzung müssen Planungswerte eingesetzt werden.

### 3.7. Regenerative Energien $Q_r$

Als *regenerative Energie*  $Q_r$  soll hier von allem die solare Energie zur Heizunterstützung oder Unterstützung der Warmwasserbereitung genannt werden. Für Solaranlagen zur Warmwasserbereitung im Wohnungsbau kann bei optimaler Einbindung in das Gesamtsystem mit einem durchschnittlichen Anteil an der Nutz- und Verlustenergie für Warmwasser  $Q_w (= Q_w + Q_{t,w})$  von 55 % ausgegangen werden. Für Anlagen mit solarer Heizunterstützung beträgt dieser Anteil nur etwa 10...20 % von  $Q_H (= Q_H + Q_{t,H})$ .

Die rückgewonnenen Energien eines eventuell in der Lüftungsanlage vorhandenen Wärmeübertragers treten als regenerative Energie an dieser Stelle nicht auf, da sie bereits in einem verminderten Lüftungswärmebedarf (energetischer Luftwechsel) ausgedrückt werden.

### 3.8. Mehrzonengebäude

Besteht ein Gebäude aus Zonen verschiedener Nutzung oder auch unterschiedlicher technischer Ausstattung, zum Beispiel ein kombiniertes Wohn- und Bürogebäude, erfolgt die Bestimmung des Jahresenergiebedarfs  $Q$  für jede Zone getrennt.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Hinweise zur Berechnung von Mehrzonengebäuden in DIN V 18599, Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 1 bis 10, 2007.

## 4. Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung

Der Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung  $Q$  beinhaltet sowohl den Nutzen für den Verbraucher (Heizwärme  $Q_h$  und ggf. Nutzenergie Warmwasser  $Q_w$ ) sowie alle zu deckenden technischen Verluste, die auf dem Wege der Bereitstellung dieser Wärme auftreten. In der Bilanz für den Jahresenergiebedarf werden Energien aus regenerativen Quellen abgezogen.

$$Q = Q_h + (Q_w) + Q_t - Q_r$$

Im folgenden sollen die Wärmeverluste für die Warmwasserbereitung und Heizung vom Ort der Nutzung zum Ort der Erzeugung hin verfolgt und ihre Ermittlung beschrieben werden. Dabei werden die nachfolgenden vier Stufen durchlaufen: Übergabe der Wärme aus dem Verteilnetz an den Ort der Nutzung, Verteilung der Wärme, Speicherung der Wärme und Erzeugung der Wärme.

### 4.1. Wärmeübergabe

Die technischen *Wärmeverluste der Wärmeübergabe* an den zu beheizenden Raum, z.B. durch Regelabweichungen von Thermostatventilen, können für das Heizsystem durch höhere Innentemperaturen und somit höhere Werte für die Gradtagszahlen  $G_t$  ausgedrückt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, Wärmeverluste der Wärmeübergabe zu definieren. Dies soll in diesem vereinfachten Ansatz nicht erfolgen. Für die Warmwasserübergabe werden keine Verluste angenommen.

### 4.2. Wärmeverteilung

Die Ermittlung der Wärmeabgabe der Verteilungen von Warmwasser- und Heizungsrohren  $Q_d$  erfolgt in zwei Schritten. Zum einen wird die Wärmeverlustmenge von ständig durchströmten Rohren ermittelt, zum anderen die Wärmeabgabe von nur periodisch durchflossenen Leitungsteilen. Als ständig durchströmte Leitungen können alle Heizrohre (mit Ausnahme der Anbindeleitungen) und die ständig auf Temperatur gehaltenen Zirkulations- und Förderleitungen des Warmwassernetzes angesehen werden. Periodisch durchflossen sind Anbindeleitungen der Heizung und Sticheleitungen der Warmwasserbereitung, die nur bei Zapfung bzw. Wärmeanforderung der Heizflächen erwärmt werden.

Für die Verteilung des Heizsystems ergibt sich folgender Ansatz.

$$Q_{d,H} = (\dot{Q}_{d,H,Z} + \dot{Q}_{d,H,S}) \cdot t_{\vartheta_{HG}} \quad \text{mit} \quad \begin{aligned} \dot{Q}_{d,H,Z} &= \Sigma [U_Z \cdot (\vartheta_{i,Z} - \vartheta_a) \cdot L] \\ \dot{Q}_{d,H,S} &= \dot{q}_{d,H,S} \cdot L = \Sigma [U_S \cdot (\vartheta_{i,S} - \vartheta_a) \cdot L] \end{aligned}$$

Die jährliche *Verlustwärmemenge des Verteilsystems der Heizung*  $Q_{d,H}$  kann aus der mittleren Verlustleistung der Heizungsverteilung  $(\dot{Q}_{d,H,Z} + \dot{Q}_{d,H,S})$  und der jährlichen Betriebszeit der Verteilung  $t$  ermittelt werden. Die Verlustleistung ist die Summe aller Einzelverluste jedes Rohrabschnittes der Länge  $L$ . Dabei ergibt sich der Energieverlust für jeden Rohrabschnitt aus der mittleren Rohrintemperatur  $\vartheta_{i,Z}$  bzw.  $\vartheta_{i,S}$  und der mittleren Temperatur der umgebenden Luft  $\vartheta_a$  sowie dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten je Meter Rohr und Kelvin  $U$ .

Die Betriebszeit kann für das Heizungsverteilsystem von  $t_{\vartheta_{HG}}$  verschieden sein, wenn das System am Wochenende oder Nachts abgeschaltet ist. Ist dies der Fall, muss die vorliegende Betriebszeit zur Berechnung herangezogen werden. Die mittlere Temperatur eines Rohrabschnittes  $\vartheta_i$  richtet sich nach der mittleren Heizkreistemperatur des angeschlossenen Heizsystems. Für ein auf 55/45 °C ausgelegtes Heizsystems liegt die mittlere Heizwassertemperatur bei etwa  $\vartheta_i \approx 38^\circ\text{C}$ .<sup>7</sup> Die mittlere Temperatur der umgebenden Luft hängt von der Lage des Rohrabschnittes ab. Verläuft er innerhalb des beheizten Bereichs eines Gebäudes, wird die mittlere Rauminnentemperatur angesetzt, liegt er jedoch außerhalb, z.B. im Keller, kann mit  $\vartheta_a \approx 10...15^\circ\text{C}$  im Jahresmittel gerechnet werden.

Der oben gemachte Ansatz für das Heizsystem kann auf die Warmwasserverteilung übertragen werden.

<sup>7</sup> Ermittlung der mittleren Heizkreistemperatur sowie weitere Beispiele in der DIN V 4701-10

$$Q_{d,W} = (\dot{Q}_{d,W,Z} + \dot{Q}_{d,W,S}) \cdot 365d / a \quad \text{mit} \quad \dot{Q}_{d,W,Z} = \Sigma [U_Z \cdot (\vartheta_{i,Z} - \vartheta_a) \cdot L]$$

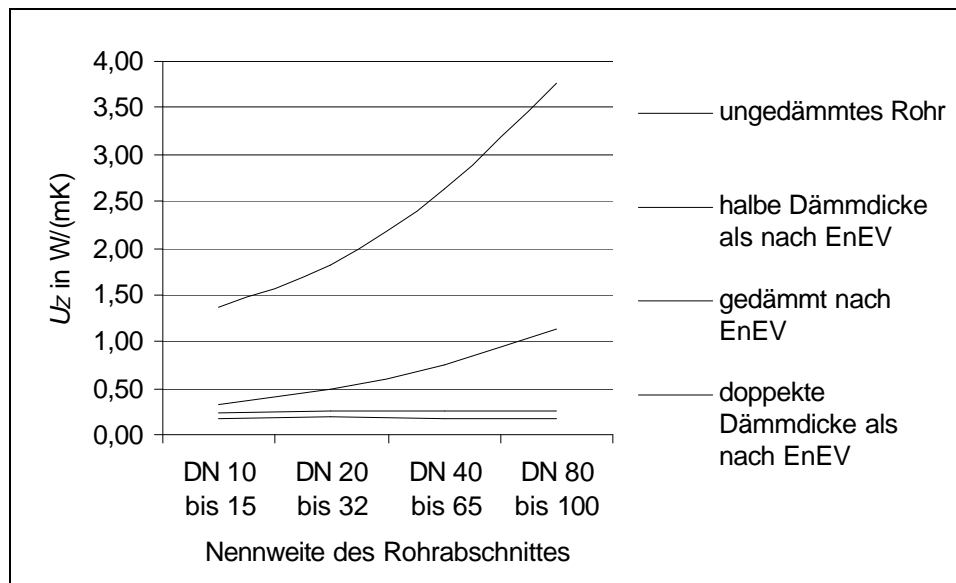
$$\text{und} \quad \dot{Q}_{d,W,S} = \dot{q}_{d,W,S} \cdot L = \Sigma [U_S \cdot (\vartheta_{i,S} - \vartheta_a) \cdot L]$$

Die jährliche *Verlustwärmemenge des Verteilsystems der Warmwasserverteilung*  $Q_{d,W}$  ergibt sich aus der jährlichen Betriebszeit der Verteilung und der Summe der Verlustleistungen für ständig auf Temperatur gehaltene Leitungsabschnitte  $\dot{Q}_{d,W,Z}$  und periodisch durchflossene Leitungsabschnitte  $\dot{Q}_{d,W,S}$ . Jede dieser Verlustleistungen kann analog zur Verlustleistung der Heizungsverteilung ermittelt werden.

Die Betriebszeit kann auch für das Warmwasserverteilsystem von 365d/a verschieden sein, wenn das System am Wochenende oder nachts abgeschaltet ist. Ist dies der Fall, muss die vorliegende Betriebszeit zur Berechnung herangezogen werden.

Die mittlere Temperatur eines ständig auf Temperatur gehaltenen Rohrabschnittes der Warmwasserverteilung kann mit  $\vartheta_{i,Z} = 50 \dots 55 \text{ °C}$  angenommen werden. Für nicht ständig auf Temperatur gehaltene Rohrleitungen hängt sie stark von der Zapfhäufigkeit ab. Die mittlere Temperatur der umgebenden Luft kann – wie bereits bei der Heizungsverteilung beschrieben – angenommen werden.

Näherungswerte für den mittleren längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ständig auf Temperatur gehaltener Rohre je Meter Länge und Kelvin Temperaturdifferenz  $U_Z$  finden sich in Bild 2.6.4-1.

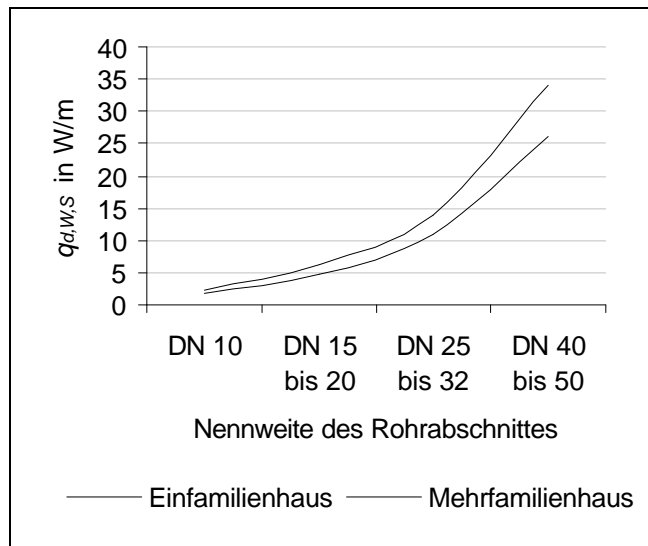


**BILD 2.6.4-1. LÄNGENBEZOGENER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT  $U_Z$  FÜR WARMWASSER-ZIRKULATIONSLEITUNGEN UND HEIZUNGSLEITUNGEN**

Für Stichleitungen der Heizungsverteilung, die nicht ständig durchflossen sind, kann mit  $U_S \approx 0,8 \cdot U_Z$  gerechnet werden.

Für Stichleitungen der Warmwasserverteilung kann der mittlere längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $\dot{q}_{d,W,S}$  bei Verlegung im beheizten Bereich aus Bild 2.6.4-2. abgeschätzt werden.

Mit den oben getroffenen Annahmen liegt der typische auf die beheizten Fläche  $A_{EB}$  bezogene Wärmeverlust der Verteilung für das Warmwassernetz bei etwa  $q_{d,W} = 5 \dots 13 \dots (19) \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Für die Heizungsverteilung ergeben sich etwa Werte von  $q_{d,H} = 3 \dots 13 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Die Werte gelten für Wohnbauten bzw. in Nichtwohnbauten mit wohnbauähnlichen Verteilnetzen.



**BILD 2.6.4-2. LÄNGENBEZOGENER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT FÜR WARMWASSER-STICHLITUNGEN BEI VERLEGUNG IM BEHEIZTEN BEREICH**

Die Verluste der Verteilung sind um so geringer, je optimierter die Ausführung des Heizungssystems bzw. Warmwassersystems, d.h. je kürzer die Leitungslängen sind. Für ältere Anlagen kann aufgrund des schlechteren Dämmstandards der Rohre und des Betriebs bei höheren Rohrintemperaturen (Standard- bzw. Konstanttemperatur-Kessel) mit den höheren Werten gerechnet werden.

Die Wärmeverluste der Verteilung können, sofern sie innerhalb des beheizten Bereichs auftreten, der inneren Fremdwärme  $Q_i$  zugerechnet werden. Der für die Raumheizung nutzbare Anteil kann, wie bereits oben erläutert, über den Nutzungsgrad der freien Wärme  $\eta_F$  ermittelt werden.

### 4.3. Wärmespeicherung

Die Berechnung der *Wärmeverluste eines Speichers*  $Q_s$  kann für die Speicherung von Trinkwarmwasser ( $Q_{s,W}$ ), aber auch von Heizwasser ( $Q_{s,H}$ ), nach dem selben Ansatz erfolgen. Für die Höhe der zu erwartenden Wärmeverluste des Speichers sind die Betriebszeit des Speichers ( $t_{\vartheta_{HG}}$  oder 365d/a) und die Verlustleistung  $\dot{Q}_s$  des Speichers zu bestimmen. Die Verlustleistung hängt dabei von der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Speicherinnerem ( $\vartheta_{S,i}$ ) und der ihn umgebenden Luft ( $\vartheta_{S,a}$ ) sowie dem Speichervolumen  $V_s$  und dem volumenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_s$  ab.

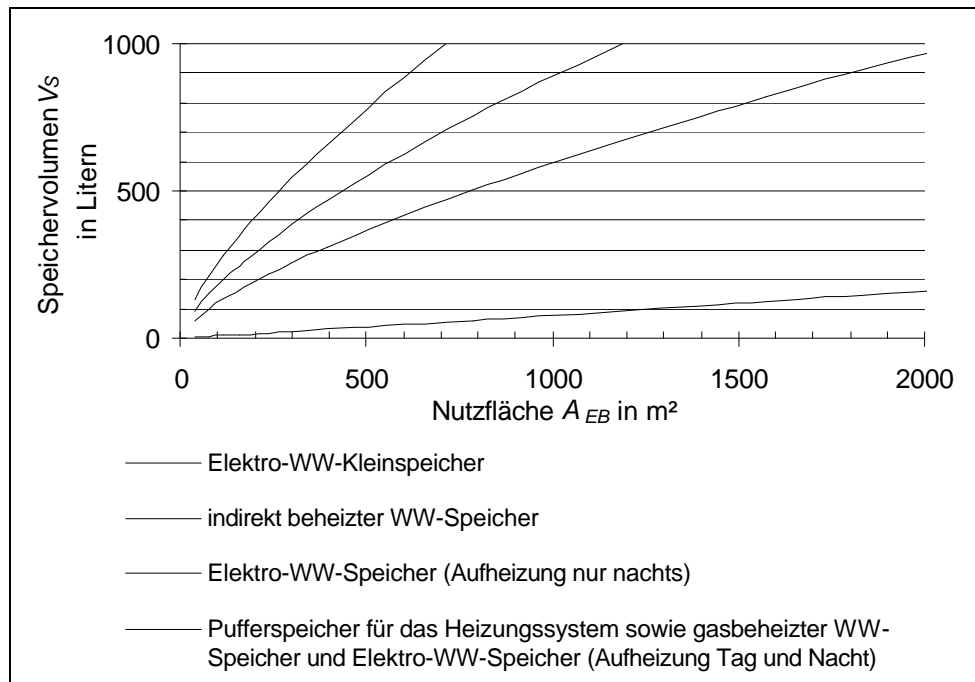
$$Q_{s,H} = \dot{Q}_s \cdot t_{\vartheta_{HG}} \quad \text{bzw.} \quad Q_{s,W} = \dot{Q}_s \cdot 365d / a \quad \text{mit} \quad \dot{Q}_s = U_s \cdot (\vartheta_{S,i} - \vartheta_{S,a}) \cdot V_s$$

Die Betriebszeit kann für einen Pufferspeicher des Heizsystems von  $t_{\vartheta_{HG}}$  verschieden sein, wenn das System am Wochenende oder nachts abgeschaltet ist. Dies gilt auch für die Betriebszeit eines Warmwasserspeichers. Ist dies der Fall, muss die vorliegende Betriebszeit zu Berechnung herangezogen werden.

Die mittlere Innentemperatur des Speichers über ein Jahr kann für einen Trinkwasserspeicher mit etwa  $\vartheta_{S,i} = 50 \dots 60 \text{ °C}$  angenommen werden. Bei Heizwasser-Pufferspeichern richtet sie sich nach der mittleren Heizkreistemperatur des angeschlossenen Heizsystems. Für einen Pufferspeicher eines auf 55/45 °C ausgelegten Heizsystems kann die mittlere Speichertemperatur etwa bei  $\vartheta_{S,i} \approx 38 \text{ °C}$  liegen.<sup>8</sup> Die maßgebliche Umgebungslufttemperatur  $\vartheta_{S,a}$  ergibt sich aus dem Aufstellort des Speichers. Innerhalb des beheizten Bereiches eines Gebäudes wird die mittlere Rauminnentemperatur angesetzt, außerhalb kann mit  $\vartheta_{S,a} \approx 10 \dots 15 \text{ °C}$  im Jahresmittel gerechnet werden.

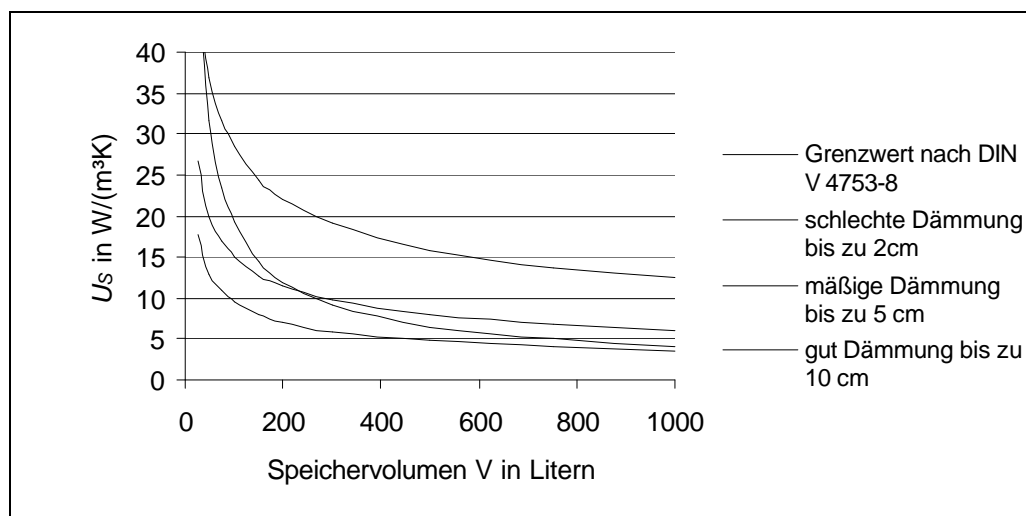
Sind über die Größe des Speichers keine Angaben bekannt, kann diese mit Hilfe von Bild 2.6.4-3. abgeschätzt werden.

<sup>8</sup> Ermittlung der mittleren Heizkreistemperatur sowie weitere Beispiele in der DIN V 4701-10



**BILD 2.6.4-3. SPEICHERVOLUMEN  $V_s$  FÜR VERSCHIEDENE SPEICHERARTEN NACH GRÖÖE DER BEHEIZTEN FLÄCHE  $A_{EB}$**

Eine Näherung für den volumenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_s$  eines Speichers je nach Dämmstandard der Speicherhülle kann der Graphik in Bild 2.6.4-4. entnommen werden.



**BILD 2.6.4-4. VOLUMENBEZOGENER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT FÜR SPEICHER JE NACH SPEICHERVOLUMEN**

Mit den oben getroffenen Annahmen liegt der auf die beheizte Fläche bezogene Wärmeverlust der Speicherung für Trinkwarmwasserspeicher bei etwa  $q_{s,W} = 2 \dots 10 \dots (14) \text{ kWh}/(m^2a)$ . Für Heizungspufferspeicher sind Werte von  $q_{s,H} = 1 \dots 5 \dots (9) \text{ kWh}/(m^2a)$  realistisch.

Dabei treten höhere Verluste für schlecht gedämmte Speicher älterer Bauart, aber auch für kleine Gebäude, d.h. einem großen Speichervolumen je Quadratmeter Nutzfläche, auf.

Auch die Wärmeverluste der Speicherung können, sofern sie im beheizten Bereich des Gebäudes auftreten, der inneren Fremdwärme  $Q_f$  zugerechnet werden. Der für die Raumheizung nutzbare Anteil kann, wie oben erläutert, über den Nutzungsgrad der freien Wärme  $\eta_F$  ermittelt werden.

## 4.4. Wärmeerzeugung

Die *Wärmeverluste der Wärmeerzeugung*  $Q_g$  können anhand verschiedener Ansätze bestimmt werden: als absolute Erzeugerverluste (mit einem nutzungsabhängigen und einen nutzungsunabhängigen Anteil), als Nutzungsgrade oder Aufwandzahlen. Jahresnutzungsgrade  $\eta_a$  und Erzeugungsaufwandzahlen  $e_g$  (beide noch bezogen auf den Heizwert  $H_U$ ) werden im Rahmen des vorliegenden Verfahrens zur Bestimmung der Wärmeerzeugerverluste verwendet. Die Höhe der Wärmeverluste  $Q_{g,H}$  oder  $Q_{g,W}$  hängt von der Summe der durch den Wärmeerzeuger zu deckenden Energien (Nutzenergie  $Q_h$  oder  $Q_w$ , Energie zur Deckung der Verteilverluste  $Q_{d,H}$ , Energie zur Deckung der Speicherverluste  $Q_{s,H}$ ) sowie der Art und Betriebsweise des Wärmeerzeugers ab.

Es gilt:

$$Q = Q_H + Q_W \quad \text{mit:}$$

$$Q_H = \frac{1}{\eta_a} \cdot (Q_h + Q_{d,H} + Q_{s,H}) = e_g \cdot (Q_h + Q_{d,H} + Q_{s,H}) = Q_{g,H} + (Q_h + Q_{d,H} + Q_{s,H}) \quad \text{und}$$

$$Q_W = \frac{1}{\eta_a} \cdot (Q_w + Q_{d,W} + Q_{s,W}) = e_g \cdot (Q_w + Q_{d,W} + Q_{s,W}) = Q_{g,W} + (Q_w + Q_{d,W} + Q_{s,W})$$

Für Wärmeerzeuger mit Jahresnutzungsgraden unter 100 % (z.B. Kessel) können die *Wärmeverluste der Wärmeerzeugung*  $Q_g$  auch explizit ausgewiesen werden. Dabei ist der Ansatz für die Erzeugung von Trinkwarmwasser ( $Q_{g,W}$ ) - aber auch Heizwasser ( $Q_{g,H}$ ) - derselbe.

$$Q_{g,H} = \left( \frac{1}{\eta_a} - 1 \right) \cdot (Q_h + Q_{d,H} + Q_{s,H}) \quad \text{bzw.} \quad Q_{g,H} = (e_g - 1) \cdot (Q_h + Q_{d,H} + Q_{s,H})$$

$$Q_{g,W} = \left( \frac{1}{\eta_a} - 1 \right) \cdot (Q_w + Q_{d,W} + Q_{s,W}) \quad \text{bzw.} \quad Q_{g,W} = (e_g - 1) \cdot (Q_w + Q_{d,W} + Q_{s,W})$$

Der Jahresnutzungsgrad  $\eta_a$  stellt das Verhältnis der von einem Wärmeerzeuger abgegebenen Energie zur eingesetzten Energie dar. Die Erzeugungsaufwandzahl  $e_g$  ist sein Kehrwert.

$$\eta_a = \frac{1}{e_g}$$

Im folgenden werden Anhaltswerte<sup>9</sup> für Jahresnutzungsgrade  $\eta_a$  bzw. Erzeugungsaufwandzahlen  $e_g$  der Wärmeerzeuger näher aufgezeigt, die sowohl für die Warmwasserbereitung als auch für die Heizung eingesetzt werden können (Kessel, Wärmepumpen etc.).

Eine große Gruppe der Wärmeerzeuger bilden die Kessel (Konstanttemperatur-, Niedertemperatur- und Brennwertkessel). Der Jahresnutzungsgrad  $\eta_a$  bzw. die Erzeugungsaufwandzahl  $e_g$  ist für alle Kessel eine Funktion der mittleren jährlichen Kesselauslastung  $\varphi$ , des spezifischen Betriebsbereitschaftsverlustes  $q_B$  (bezogen auf die Feuerungsleistung des Kessels) und des Kesselwirkungsgrades  $\eta_K$ .

$$\eta_a = \frac{1}{e_g} = \frac{\eta_K}{\left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right) \cdot q_B + 1} \quad \text{mit} \quad \varphi = \frac{b_{VK}}{b} = \frac{\dot{Q}_m}{\dot{Q}_K}$$

Der Jahresnutzungsgrad eines Kessels steigt mit höherem Kesselwirkungsgrad  $\eta_K$  (geringe Abgasverluste und Abstrahlung während des Betriebs), mit geringeren Betriebsbereitschaftsverlusten  $q_B$  (Wärmeverluste des Kessels an die Umgebung in Stillstandszeiten) und höherer Kesselauslastung  $\varphi$ . Die

<sup>9</sup> Berechnung von Erzeugungsaufwandzahlen siehe Quellen am Anfang des Textes.

Kesselauslastung  $\varphi$  ist das Verhältnis der mittleren benötigten Leistung  $\dot{Q}_m$  zur Kesselnennleistung  $\dot{Q}_K$ . Sie kann auch durch das Verhältnis der Vollbenutzungsstunden des Kessels  $b_{VK}$  zu den Betriebsbereitschaftsstunden  $b$  ausgedrückt werden.

Hat ein für Heizung und Warmwasserbereitung dimensionierter Kessel in den Sommermonaten (außerhalb der Heizzeit) zum Beispiel nur eine Kesselbelastung von etwa 5 %, dann läuft er umgerechnet auf Vollbenutzungsstunden nur 5 % des Sommers mit seiner vollen Leistung, die restliche Zeit ist er in Bereitschaft. Oder anders ausgedrückt, er läuft während des Sommers durchschnittlich mit nur 5 % seiner Nennleistung.

Dieser Zusammenhang ist für die nachfolgenden Tafeln ausschlaggebend. Mit sinkender Kesselbelastung sinkt für den Standardkessel der Jahresnutzungsgrad  $\eta_a$  bzw. steigt die Wärmeerzeugungsaufwandszahl  $e_g$ . Dieser Einfluss ist für Niedertemperatur- und Brennwertkessel aber erst etwa unter 10...30 % Kesselbelastung wirksam.

Die Standardwerte in Tafel 2.6.4-1 für Jahresnutzungsgrade bzw. Erzeugungsaufwandzahlen gelten für Niedertemperatur- und Brennwertkessel bei Heizungsnetzauslegungstemperaturen von 75/60 °C. Bei Vorlauftemperaturen unter 60 °C – also auch für die Warmwasserbereitung – kann der tabellierte Wert für den Jahresnutzungsgrad um  $\Delta\eta_a = 0,03$  erhöht werden (entsprechend die Aufwandszahl vermindert). Ist aufgrund einer Überdimensionierung des Kessels mit Belastungsgraden (vor allem für die Warmwasserbereitung in den Sommermonaten) unter etwa 10 % zu rechnen, dann müssen die Jahresnutzungsgrade (Erzeugungsaufwandzahlen) für diesen Fall nach einem ausführlichen Berechnungsverfahren ermittelt werden.<sup>10</sup> (Tabellierte Werte berücksichtigen die Kesselverschmutzung.)

**TAFEL 2.6.4-1 JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $E_G$ ) FÜR NIEDERTEMPERATUR- UND BRENNWERTKESSEL (BEZOGEN AUF  $H_U$ )**

Kesselbauart	Leistung in kW	Gasbefeuerter Kessel	Ölbefeuerter Kessel
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	bis 120	0,91 (1,10)	-
	>120...1200	0,92 (1,09)	-
NT-Kessel mit Gebläse	bis 1200	0,92 (1,09)	0,90 (1,11)
Brennwertkessel	bis 50	0,97 (1,03)	0,91 (1,10)
	> 50...120	0,98 (1,02)	0,92 (1,09)
	>120...1200	0,99 (1,01)	0,93 (1,08)

Eine noch im Altanlagenbestand zu findende Gruppe der Wärmeerzeuger sind die Konstanttemperaturkessel. Aufgrund der hohen Heizlast älterer Gebäude und der früher üblichen Überdimensionierung weisen diese meist sehr hohe Nennleistungen bezogen auf die angeschlossene Nutzfläche auf. Vor allem in der Übergangszeit und bei Warmwasserbereitung im Sommer ist die Auslastung dieser Kessel sehr gering.

Die durchschnittliche Belastung eines korrekt dimensionierten Konstanttemperaturkessels in der Heizzeit liegt zwischen  $\varphi = 0,3...0,5$ . Für die kombinierte Warmwasserbereitung und Heizung kann während der Sommermonate mit einer sehr geringen Auslastung ( $\varphi < 0,06$ ) gerechnet werden. Dient der Konstanttemperaturkessel als Grundlastkessel für ein System mit mehr als einem Wärmeerzeuger, dann kann mit mittleren Auslastungsgraden von  $\varphi = 0,5...1,0$  gerechnet werden.

Anhaltswerte für Jahresnutzungsgrade bzw. Erzeugungsaufwandzahlen verschieden befeuerter Konstanttemperaturkessel<sup>11</sup> können Tafel 2.6.4-2. bis -4. entnommen werden (die Werte berücksichtigen die Kesselverschmutzung). Die Bewertung von Holzkesseln nach DIN V 4701-10 ergibt Erzeugungsaufwandzahlen von etwa  $e_g = 1,7...1,8$  ( $\eta_a = 0,55 \dots 0,6$ ) für die Stückholzfeuerung und  $e_g = 1,3...1,5$  ( $\eta_a = 0,67 \dots 0,77$ ) für Pelletkessel im Leistungsbereich unter 30 kW.

<sup>10</sup> Berechnung von Erzeugungsaufwandzahlen siehe Quellen am Anfang des Kapitels

<sup>11</sup> nach Energiepass/LEG.

**TAFEL 2.6.4-4. JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $E_G$ ) FÜR GASBEFEUERTE KONSTANTTEMPERATURKESSEL (BEZOGEN AUF  $H_U$ )**

Kesselbauart	Leistung in kW	Baujahr bis 1978				Baujahr ab 1979			
		Auslastungsgrad $\varphi$				Auslastungsgrad $\varphi$			
		<0,06	0,06...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0	<0,06	0,06...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0
Vorrats-Wasserheizer	< 20	0,36 (2,78)	0,63 (1,59)	0,77 (1,30)	0,82 (1,22)	0,39 (2,56)	0,65 (1,54)	0,79 (1,27)	0,83 (1,20)
Umlauf-Wasserheizer	< 37	0,50 (2,00)	0,71 (1,41)	0,79 (1,27)	0,81 (1,23)	0,65 (1,54)	0,80 (1,25)	0,84 (1,19)	0,86 (1,16)
Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	< 50	0,33 (3,03)	0,60 (1,67)	0,76 (1,32)	0,81 (1,23)	0,48 (2,08)	0,72 (1,39)	0,82 (1,22)	0,85 (1,18)
	> 50...120	0,39 (2,56)	0,65 (1,54)	0,79 (1,27)	0,83 (1,20)	0,53 (1,89)	0,76 (1,32)	0,85 (1,18)	0,87 (1,15)
	> 120...350	0,52 (1,92)	0,74 (1,35)	0,83 (1,20)	0,85 (1,18)	0,67 (1,49)	0,82 (1,22)	0,87 (1,15)	0,89 (1,12)
	> 350...1200	0,59 (1,69)	0,78 (1,28)	0,86 (1,16)	0,88 (1,14)	0,67 (1,49)	0,82 (1,22)	0,87 (1,15)	0,89 (1,12)
automatischer Spezialkessel mit Gebläse	< 50	0,34 (2,94)	0,62 (1,61)	0,78 (1,28)	0,83 (1,20)	0,48 (2,08)	0,72 (1,39)	0,83 (1,20)	0,86 (1,16)
	> 50...120	0,40 (2,50)	0,67 (1,49)	0,81 (1,23)	0,85 (1,18)	0,54 (1,85)	0,77 (1,30)	0,86 (1,16)	0,88 (1,14)
	> 120...350	0,53 (1,89)	0,76 (1,32)	0,85 (1,18)	0,87 (1,15)	0,68 (1,47)	0,83 (1,20)	0,88 (1,14)	0,90 (1,11)
	> 350...1200	-	0,78 (1,28)	0,86 (1,16)	0,88 (1,14)	-	0,83 (1,20)	0,88 (1,14)	0,90 (1,11)
Umstell- und Wechselbrandkessel	< 50	0,29 (3,45)	0,56 (1,79)	0,73 (1,37)	0,80 (1,25)	0,40 (2,50)	0,66 (1,52)	0,80 (1,25)	0,84 (1,19)
	> 50...120	0,40 (2,50)	0,65 (1,54)	0,77 (1,30)	0,81 (1,23)	0,52 (1,92)	0,74 (1,35)	0,83 (1,20)	0,85 (1,18)

**TAFEL 2.6.4-3. JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $E_G$ ) FÜR ÖLBEFUEERTE KONSTANTTEMPERATURKESSEL (BEZOGEN AUF  $H_U$ )**

Kesselbauart	Leistung in kW	Baujahr bis 1978				Baujahr ab 1979			
		Auslastungsgrad $\varphi$				Auslastungsgrad $\varphi$			
		<0,06	0,06...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0	<0,06	0,06...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0
automatischer Spezialkessel mit Gebläse	< 50	0,34 (2,94)	0,60 (1,67)	0,76 (1,32)	0,81 (1,23)	0,47 (2,13)	0,71 (1,41)	0,81 (1,23)	0,85 (1,18)
	> 50...120	0,40 (2,50)	0,66 (1,52)	0,79 (1,27)	0,83 (1,20)	0,53 (1,89)	0,75 (1,30)	0,84 (1,19)	0,87 (1,15)
	> 120...350	0,52 (1,92)	0,74 (1,35)	0,83 (1,20)	0,86 (1,16)	0,67 (1,49)	0,82 (1,22)	0,87 (1,15)	0,88 (1,14)
	> 350...1200	-	0,76 (1,32)	0,84 (1,19)	0,87 (1,15)	-	0,82 (1,22)	0,87 (1,15)	0,88 (1,14)
Umstell- und Wechselbrandkessel	< 50	0,29 (3,45)	0,55 (1,82)	0,72 (1,39)	0,78 (1,28)	0,39 (2,56)	0,65 (1,54)	0,78 (1,28)	0,82 (1,22)
	> 50...120	0,39 (2,56)	0,64 (1,56)	0,76 (1,32)	0,79 (1,27)	0,51 (1,96)	0,73 (1,37)	0,81 (1,23)	0,84 (1,19)

**Tafel 2.6.4-4. Jahresnutzungsgrade  $\eta_a$  (und Aufwandzahlen  $e_g$ ) für mit Festbrennstoff befeuerte Konstanttemperaturkessel (bezogen auf  $H_U$ )**

Kesselbauart	Leistung in kW	Baujahr bis 1978				Baujahr ab 1979			
		Auslastungsgrad $\varphi$				Auslastungsgrad $\varphi$			
		<0,06	0,06...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0	<0,06	0,06...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0
automatischer Spezialkessel mit Gebläse	< 50	0,31 (3,23)	0,55 (1,82)	0,70 (1,43)	0,75 (1,33)	0,44 (2,27)	0,66 (1,52)	0,76 (1,32)	0,79 (1,27)
	> 50...120	0,36 (2,78)	0,60 (1,67)	0,73 (1,37)	0,77 (1,30)	0,50 (2,00)	0,71 (1,41)	0,79 (1,27)	0,82 (1,22)
	> 120...350	0,48 (2,08)	0,68 (1,47)	0,77 (1,30)	0,79 (1,27)	0,63 (1,59)	0,77 (1,30)	0,82 (1,22)	0,83 (1,20)
	> 350...1200	-	0,72 (1,39)	0,80 (1,25)	0,82 (1,22)	-	0,77 (1,30)	0,82 (1,22)	0,83 (1,20)
Umstell- und Wechselbrandkessel	< 50	0,27 (3,70)	0,51 (1,96)	0,67 (1,49)	0,72 (1,39)	0,36 (2,78)	0,60 (1,67)	0,72 (1,39)	0,76 (1,32)
	> 50...120	0,37 (2,70)	0,60 (1,67)	0,71 (1,41)	0,75 (1,33)	0,48 (2,08)	0,68 (1,47)	0,77 (1,30)	0,79 (1,27)

Werden Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung eingesetzt, so können diese als alleinige Erzeuger installiert sein (monoventiler Betrieb) oder durch einen oder weitere Wärmeerzeuger ergänzt sein. Dem Jahresnutzungsgrad  $\eta_a$  entsprechen für eine elektrisch betriebene Wärmepumpe die Arbeitszahl  $\beta$ , für eine brennstoffbetriebene Wärmepumpe die Jahresheizzahl  $\zeta$ . Einen Überblick über Jahresheizzahlen bzw. Jahresarbeitszahlen und Erzeugungsaufwandzahlen monoventiler eingesetzter Wärmepumpen der Heizung und Warmwasserbereitung bietet Tafel 2.6.4-5.<sup>12</sup> Höhere Jahresarbeitszahlen sind vor allem für niedrige mittlere Heizwassertemperaturen (z.B. für 35/28 °C Auslegung einer Fußbodenheizung) sowie bei exakter Dimensionierung der Wärmepumpe nach Bedarf des Gebäudes und bei regelmäßiger Wartung zu erwarten.

**TAFEL 2.6.4-5. JAHRESARBEITSAZAHLEN  $\beta$ , JAHRESHEIZZAHLEN  $\zeta$  UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $e_g$  FÜR WÄRMEPUMPEN**

Bauart		Wärmequelle Grundwasser	Wärmequelle Erdreich	Wärmequelle Luft
elektrisch betrieben	$\beta$	(2,8)...3,2...4,5...(5,4)	(2,7)...3,1...3,8...(4,2)	(2,3)...2,7...3,1...(3,6)
	$e_g$	(0,36)...0,31...0,22...(0,19)	(0,37)...0,32...0,26...(0,24)	(0,43)...0,37...0,32...(0,28)
brennstoffbetrieben	$\zeta$	1,7...1,8	1,6...1,7	1,5...1,6
	$e_g$	0,59...0,56	0,63...0,59	0,67...0,63

Werden Fern- oder Nahwärmeübergabestationen als Wärmeerzeuger eingesetzt, so entsprechen die Verluste der Wärmeerzeugung eigentlich Wärmeverlusten der Verteilung. Standardwerte für Jahresnutzungsgrade bzw. Erzeugungsaufwandzahlen von Fern- und Nahwärmeanschlüssen der Raumheizung und Warmwasserbereitung können Tafel 2.6.4-6. entnommen werden.

**TAFEL 2.6.4-6. JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $e_g$ ) FÜR WÄRMEÜBERGABESTATIONEN**

	Raumheizung	Warmwasserbereitung	
		in der Heizzeit	im Sommer
Kompakt-Übergabestation mit Gehäuse	0,98 (1,02)	1,00 (1,00)	0,90 (1,11)
individuelles System aus Einzelrohrleitungen	gut gedämmt	0,95 (1,05)	0,85 (1,18)
	mäßig gedämmt	0,90 (1,11)	0,80 (1,25)

<sup>12</sup> nach DIN V 4701-10 und LEG/Energiepass sowie W. Eicke-Henning und W. Schulz: Anforderungen an Elektrowärmepumpen zur Wohngebäudebeheizung, SBZ, S. 48/57 (05.2000) und D. Wittwer, "Wärmepumpen im Vormarsch", Wärmepumpe aktuell, S. 2/3, (01.2000)

Wird für die Heizung oder Warmwasserbereitung ein Blockheizkraftwerk verwendet, so kann der Jahresnutzungsgrad nach Tafel 2.6.4-7. abgeschätzt werden.

**TAFEL 2.6.4-7. JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $E_G$ ) FÜR MOTOR-HEIZKRAFTANLAGEN (BHKW)**

Brennstoff	elektrische Leistung in kW	$\eta_A$ ( $E_G$ )
Erdgas	bis 15	0,65 (1,54)
Propan	> 15...100	0,62 (1,61)
Butan	35...100	0,59 (1,69)
	100...500	0,58 (1,72)
	> 500	0,52 (1,92)
Diesel	bis 15	0,64 (1,56)
	15...35	0,61 (1,64)
	35...100	0,52 (1,92)
	100...500	0,48 (2,08)
	> 500	0,45 (2,22)

Neben den Wärmeerzeugern, die sowohl für die Heizung und Warmwasserbereitung eingesetzt werden können, gibt es Geräte, die nur zum Heizen oder nur zur Warmwasserbereitung verwendet werden. Anhaltswerte für Jahresnutzungsgrade und Aufwandzahlen für diese Wärmeerzeuger werden in Tafel 2.6.4-8. und Tafel 2.6.4-9. gegeben.

**TAFEL 2.6.4-8. JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $E_G$ ) FÜR DEZENTRALE GERÄTE ZUR WARMWASSERBEREITUNG**

zu deckender Wärmebedarf pro Gerät in kWh/a		250	500	750	1000	1500	2000	3000	500	8000
Elektrogeräte	Kochendwassergeräte	0,96 (1,04)	0,96 (1,04)	0,96 (1,04)	0,96 (1,04)	0,96 (1,04)				
	Durchlauferhitzer	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)	0,99 (1,01)
Gasgeräte	Durchlauferhitzer	0,16 (6,25)	0,27 (3,70)	0,35 (2,86)	0,41 (2,43)	0,49 (2,04)	0,55 (1,82)	0,62 (1,61)	0,69 (1,45)	0,74 (1,35)
	Durchlauferhitzer mit elektronischer Zündung	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)	0,84 (1,19)

**TAFEL 2.6.4-9. JAHRESNUTZUNGSGRAD  $\eta_A$  (UND ERZEUGUNGS-AUFWANDZAHLEN  $E_G$ ) FÜR EINZELÖFEN (A) UND ELEKTRO-WIDERSTANDSHEIZUNGEN (B)**

a) Einzelöfen	
ölbefeuertes Einzelofen mit Verdampfungsbrenner	0,85 (1,18)
Kachelofen	0,70 (1,43)
kohlebefeuerte eiserne Öfen	0,67 (1,49)
Außenwand-Gasöfen	0,75 (1,33)
b) Elektro-Widerstandsheizungen	
Nachtspeicherofen bis 50kW	0,95 (1,05)
Nachtspeicherofen >50kW	0,97 (1,03)
Direktheizgeräte	0,98 (1,02)

Für Gebäude unterschiedlichster Nutzung ergeben sich flächenbezogene Wärmeverluste der Wärmeerzeugung von  $q_{g,H} = 5...13...18$  kWh/(m<sup>2</sup>a) (bezogen auf  $H_U$ ) für das Heizsystem bzw.  $q_{g,H} = 2...5...13$  kWh/(m<sup>2</sup>a) (bezogen auf  $H_U$ ) für die Warmwasserbereitung. Der höhere Wert kann vor allem im Anlagenaltbestand erwartet werden.

Die bei der Wärmeerzeugung innerhalb des beheizten Bereichs eines Gebäudes (dezentrale Warmwasserbereitung, wandhängende Kombiwasserheizer zur dezentralen Wohnungsverorgung etc.) anfallenden Wärmeverluste durch Konvektion und Abstrahlung können als innere Fremdwärme gutgeschrieben werden. Sie müssen – wie bereits für Speicherwärmeverluste und Wärmeverluste der Verteilungen – noch mit dem Ausnutzungsgrad der freien Wärme  $\eta_F$  bewertet werden.

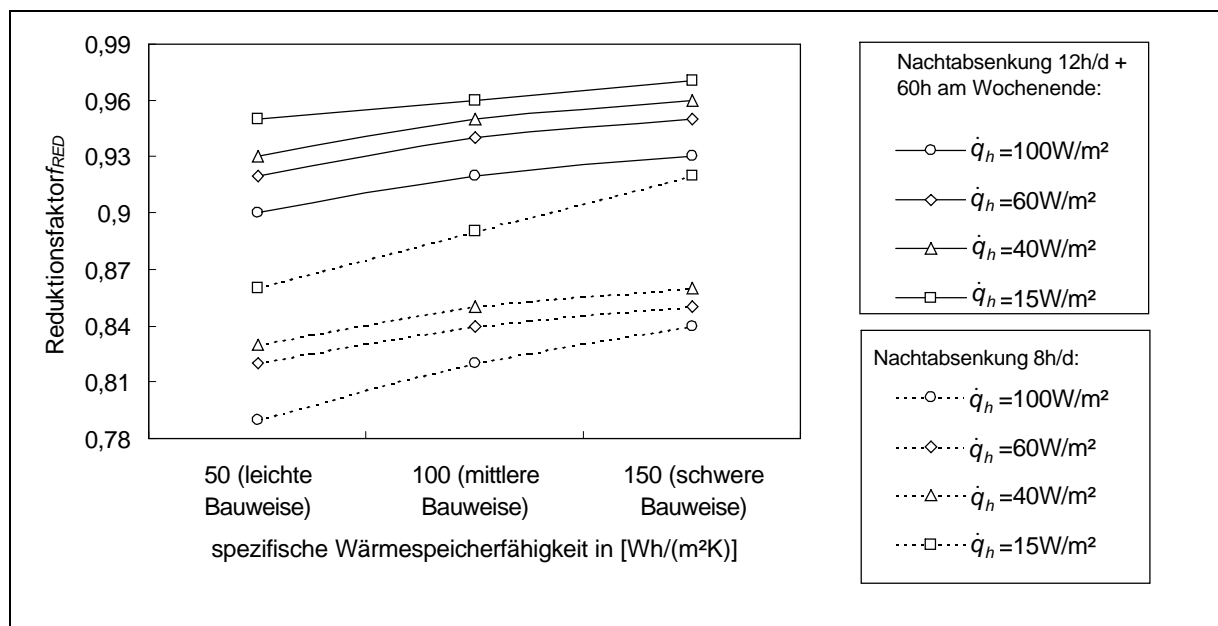
Wird ein Gebäude von mehreren Wärmeerzeugern versorgt (multivalente Anlage), zum Beispiel mit einer Zweikesselanlage gleicher Leistung oder einer Kombination aus Grundlast- und Spitzenlastwärmeerzeuger, so ist für jeden Wärmeerzeuger der Anteil am zu deckenden Energiebedarf zu bestimmen (Deckungsanteil) und die Berechnung der Wärmeerzeugungsverluste  $Q_g$  für jeden Anteil getrennt vorzunehmen.<sup>13</sup>

#### 4.5. Eingeschränkter Heizbetrieb, Einfluss der Regelung der Wärmeabgabe

Wie bereits oben beschrieben kann der erhöhte Energieaufwand, der durch die Regelung der Wärmeabgabe entsteht, z.B. in einer erhöhten Innentemperatur oder damit in erhöhten Gradtagszahlen ausgedrückt werden. Gleiches gilt für den Einfluss der Nachtabsenkung oder -abschaltung des Heizsystems, welche die mittlere Innentemperatur und somit die Gradtagszahlen vermindern. Beide Einflüsse können wie folgt ausgedrückt werden.

$$Gt^* = Gt \cdot f_{RED} \cdot f_{INC}$$

Bild 2.6.5-1. bietet einen Überblick über mittlere Reduktionsfaktoren  $f_{RED}$  für den Einfluss des *eingeschränkten Heizbetriebes* mit Nachtabsenkung/Wochenendabsenkung des Sollwertes der Raumtemperatur um  $\Delta\vartheta_r = 5K$  je nach flächenbezogener Auslegung Heizlast  $\dot{q}_h$ . Reduktionsfaktoren für andere Gegebenheiten können mit Simulationsberechnungen ermittelt werden.



**BILD 2.6.5-1. REDUKTIONSFAKTOREN  $f_{RED}$  ZUR BEWERTUNG DES ZEITLICH EINGESCHRÄNKTEN HEIZBETRIEBS**

Der Einfluss der Art der Regelung der Wärmeübergabe an den zu beheizenden Raum kann mit den nachfolgend tabellierten Übersichtswerten des Faktors  $f_{INC}$  zur Korrektur der Gradtagszahl abgeschätzt werden. Da die Gradtagszahl  $Gt$  nur zur Ermittlung des Jahrestransmissions- und Lüftungswärmeverlustes verwendet wird, die Art der Regelung aber den Jahresheizwärmebedarf  $Q_h (= Q_T + Q_V - \eta_F \cdot Q_S - \eta_F \cdot Q_I)$  beeinflusst, ist der nachstehende Ansatz eine Näherung.

Die in Tafel 2.6.5-1. genannten Werte beziehen sich auf ein mittleres Verhältnis der Wärmegewinne ( $Q_i + Q_s$ ) zu den Verlusten ( $Q_T + Q_V$ ). Genauere Ergebnisse liefern auch hier Simulationsberechnungen.

<sup>13</sup> Nähere Ausführungen zu anderen Betriebsweisen in der DIN V 4701-10 bzw. LEG/Energiepass oder DIN V 18599

**TAFEL 2.6.5-1. FAKTOR  $f_{INC}$  ZUR BEWERTUNG DER REGELGÜTE**

Art der Regelung der Wärmeübergabe	$f_{INC}$
elektronische Optimierung der Wärmeübergabe	1,02
Wasserheizung mit Thermostatventilen (P-Bereich von 1K)	1,03
Flächenheizung (Wandheizung, Fußbodenheizung) mit Einzelraumregelung	1,03
Elektroheizung	1,05
Wasserheizung mit Thermostatventilen (P-Bereich von 2K)	1,07
Luftheizung	1,09

Mit diesem Ansatz kann die Schwankungsbreite des Einflusses der Art der Regeleinrichtung abgeschätzt werden. Als Überschlagswert kann hier  $\Delta Q_h = (1) \dots (10)$  kWh/(m<sup>2</sup>a) verwendet werden. Je höher der Nutzereingriff in die dezentrale Regelung (z.B. Nachstellen der Thermostatventile), desto geringer der Zuschlag für eine schlechte Regelung. Die tabellierten Werte gehen von einem geringen Nutzereingriff aus.

#### 4.6. Jahresenergiekosten, Jahresbrennstoffverbrauch und Jahresprimärenergiebedarf

Die Jahresenergiekosten  $K$  können nach der eingangs bereits erläuterten Gleichung ermittelt werden.

$$K = k_w \cdot Q + k_{el} \cdot Q_{el}$$

Neben der in den vorherigen Teilkapiteln erläuterten Berechnung des Jahreswärmeenergiebedarfs  $Q$  ist die Menge der Hilfsenergien relevant, die unmittelbar mit der Versorgung eines Gebäudes mit Heizenergie und Nutzenergie der Warmwasserbereitung in Verbindung steht. Der Hilfsenergiebedarf der Elektrohilfsgeräte  $Q_{el}$  setzt sich wie folgt zusammen.

$$Q_{el} = Q_{H,HE} + Q_{W,HE} + Q_{L,HE}$$

Dabei steht die Energiemenge  $Q_{H,HE}$  für alle Hilfsenergien des Heizungssystems (Umwälzpumpe, Speicherladepumpe, Brenner, Regelung, Solarumwälzpumpe etc.), die Energiemenge  $Q_{W,HE}$  für die Hilfsenergien der Warmwasserversorgung (Zirkulationspumpe, Speicherladepumpe, Solarkreispumpe, Regelung etc.) und die Energiemenge  $Q_{L,HE}$  für alle Hilfsenergien der kontrollierten Lüftung.

Tafel 2.6.6-1. gibt Anhaltswerte für mittlere Leistungen und Laufzeiten für die zu berücksichtigenden Hilfsenergien. Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Größe  $t_{\vartheta_{HG}}$  entspricht der Länge der Heizperiode in d/a je nach Heizgrenztemperatur  $\vartheta_{HG}$ .

**TAFEL 2.6.6-1. BETRIEBSZEITEN UND MITTLERE LEISTUNGS-AUFNAHME FÜR ELEKTROHILFSGERÄTE**

	Jährliche Betriebszeiten bei Nachabschaltung in h/d				mittlere elektrische Leistungsaufnahme in W/m <sup>2</sup>	
	0	4	6	12	Standard	effizient
Umwälzpumpe Heizung	$t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$	$5/6 \cdot t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$	$3/4 \cdot t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$	$1/2 \cdot t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$	0,4	0,2
Umwälzpumpe Zirkulation	8760 h/a	5/6 · 8760 h/a	3/4 · 8760 h/a	1/2 · 8760 h/a	0,2	0,1
Regelung Heizung/Warmwasser	8760 h/a				0,1	<0,01
Regelung Heizung ohne WW	$t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$				0,1	<0,01
Umwälzpumpe Solar-kreis					0,4	0,2
Abluftanlage	$t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$				0,3	0,1
Zu-/ Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	$t_{\vartheta_{HG}} \cdot 24\text{h/d}$				0,6	0,2

Als überschlägigen Wertebereich für den flächenbezogenen Hilfsenergiebedarf einer Heizungsanlage mit ggf. Warmwasserbereitung und Gebäudelüftung kann  $q_{el} = 0,5...4...(19) \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  angesetzt werden. Die Pumpleistung des Heizsystems kann näherungsweise aus der Gebäudeheizlast mit  $0,1 \dots 5 \% \cdot \dot{Q}_{\text{Gebäude}}$  abgeschätzt werden.

Wird die Angabe des *Jahresbrennstoffverbrauches*  $B_a$  (in l/a oder  $\text{m}^3/\text{a}$ ) eines Gebäude benötigt, dann ist der Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung  $Q$  durch den unteren Heizwert  $H_U$  des Brennstoffes zu dividieren.

$$B_a = Q / H_U$$

Heizwerte verschiedener Brennstoffe können der Tafel 2.6.6-2. entnommen werden<sup>14</sup>.

**TAFEL 2.6.6-3 HEIZWERTE VERSCHIEDENER BRENNSTOFFE**

Brennstoff	Einheit	Heizwert $H_U$ in kWh/Einheit
Braunkohle Briketts	kg	5,3
Steinkohle, koks	kg	8,6
Heizöl EL	l	10,0
Heizöl S	kg	11,4
Erdgas H	$\text{m}^3$	10,4
Holz(pellets)	kg	4,9

Eine langfristige Umstellung auf den Brennwert  $H_o$  als Bezugswert ist absehbar.

Der *Jahresprimärenergiebedarf*  $Q_P$  kann aus dem Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung  $Q$  sowie dem Hilfsenergiebedarf  $Q_{el}$  ggf. auch zukünftig des elektrischen Energieverbrauchs für Geräte und Beleuchtung bestimmt werden. Dabei wird jede Jahresenergiemenge mit ihrem Primärenergiefaktor  $f_P$  multipliziert. Dieser beinhaltet den Aufwand, der bei der Förderung, der Erzeugung und beim Transport des Energieträgers bis zum Endverbraucher anfällt.

$$Q_P = f_P \cdot Q + f_{P,el} \cdot Q_{el}$$

Werden zur Wärmeenergieversorgung eines Gebäude Wärmeerzeuger mit verschiedenen Energieträgern betrieben, zum Beispiel eine Elektrowärmepumpe in Kombination mit einem Erdgas-Spitzenlastkessel, so ist die Bestimmung der Jahresenergieanteile  $Q_1...Q_n$  jedes Energieträgers notwendig. Nur dann kann eine korrekte primärenergetische Bewertung erfolgen.

Übliche Primärenergiefaktoren werden in Tafel 2.6.6-3. gegeben.

**TAFEL 2.6.6-3. ÜBLICHE PRIMÄRENERGIEFAKTOREN**

Energieträger		Primärenergiefaktor $f_P$
Brennstoffe <sup>15</sup>	Heizöl EL, Erdgas H, Flüssiggas, Steinkohle	1,1
Bezugswert ist unterer Heizwert $H_U$	Braunkohle	1,2
	Holz	0,2
	Strommix	2,7
	„Fernwärme“ <sup>16</sup>	70% KWK
Steinkohle-Kondensations-Kraftwerk = Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) plus Heizöl-Spitzenlastkessel	35% KWK	1,1
	0% KWK	1,5
„Nahwärme“ <sup>16</sup>	70% KWK	0,6
	35% KWK	1,0
	0% KWK	1,4
Erdgas-BHKW = Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) plus Erdgas-Spitzenlastkessel		

<sup>14</sup> nach LEG/Energiepass

<sup>15</sup> nach DIN V 4701-10.

<sup>16</sup> nach Hessischem Energiepass.

## 5. Übersicht der Ergebnisse

Zur Zusammenfassung der Ergebnisse bietet Tafel 2.6.7-1. grobe Überschlagswerte der Höhe und Zusammensetzung des flächenbezogenen Jahresenergiebedarfs der Heizung und Warmwasserbereitung  $q = Q / A_{EB}$  je nach Gebäude- und Anlagenstandard. Anmerkungen zu einzelnen Werten sind unter der Tafel zusammengefasst. Die Werte gelten für Wohnbauten und andere Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung.

Die Werte ergeben sich nach folgenden Bilanzgleichungen für den Jahresenergiebedarf.

$$q = (q_w + q_{d,W} + q_{s,W} + q_{g,W}) + (q_T + q_V - \eta_F \cdot q_S - \eta_F \cdot q_I + q_{d,H} + q_{s,H} + q_{g,H})$$

bzw.  $q = q_W + q_H$

mit:  $q_W = q_w + q_{d,W} + q_{s,W} + q_{g,W}$  (flächenbez. Jahres-Warmwasserenergiebedarf)

$q_H = q_h + q_{d,H} + q_{s,H} + q_{g,H}$  (flächenbezogener Jahresheizenergiebedarf)

$q_h = q_T + q_V - \eta_F \cdot q_S - \eta_F \cdot q_I$  (flächenbezogener Jahresheizwärmebedarf).

**TAFEL 2.6.7-1. ÜBERSCHLAGSWERTE DER HÖHE UND ZUSAMMENSETZUNG DES FLÄCHENBEZOGENEN JAHRESENERGIEBEDARFS Q FÜR WOHNBAUTEN**

Gebäude- und Anlagenstandard flächenbezogene Energie in kWh/(m²a)	Standard vor 1977	Standard 1977 bis 1995	Standard WSchV 1995 und EnEV	Niedrigenergiehaus	Niedrigstenergiehaus (Passivhaus)
$\eta (e_g)$ - Kessel	0,75 (1,33) <sup>a</sup>	0,91 (1,10) <sup>b</sup>	0,98 (1,02) <sup>c</sup>	0,95 (1,05) <sup>c</sup>	0,85 (1,18) <sup>c</sup>
$\eta (e_g)$ - Wärmepumpe	-	2,7 (0,37)	3,0 (0,33)	3,5 (0,28)	3,5 (0,28)
$q_T$	200...150	160...100	100...40	70...30	20...10
$q_V$	80...70	70...60	60...50	40...30	20 <sup>d</sup>
$\eta_F \cdot q_S$	32...20	27...17	25...16	22...15	16...13
$\eta_F \cdot q_I$	30...20	25...15	18...12	15...10	11...8
$q_h$	240...180	190...130	130...60	70...30	20...10
$q_{d,H}$	18...9	11...6	10...5	8...4	5...3
$q_{s,H}$	9...6	5...3	4...2	3...1	3...1
$q_{g,H}$ <sup>e</sup>	80...50	30...25	15...7	6...2	6...2
$q_H$	340...230	210...150	150...70	95...35	35...20
$q_w$	20...12	20...12	20...12	20...12	20...12
$q_{d,W}$	19...14	15...8	13...7	10...6	7...5
$q_{s,W}$	14...10	9...5	7...4	4...1	4...1
$q_{g,W}$ <sup>e</sup>	17...13	5...4	5...4	4...3	4...3
$q_W$	70...50	45...35	40...27	38...25	35...25
$q^T$	410...280	255...185	190...100	135...60	70...45

Anmerkungen:

a: Konstanttemperaturkessel

b: Niedertemperaturkessel

c: Brennwertkessel

d: Lüftung mit Wärmerückgewinnung vorausgesetzt

e: Berechnung mit dem oben beschriebenen Kesseltyp. Der Wärmeverlust ist deutlich unterschiedlich, wenn ein besserer Kessel bzw. anderer Wärmeerzeugertyp eingesetzt wird. Es ist keine Solaranlage berücksichtigt. Bei Einsatz besserer Wärmeerzeugertechnik, Solartechnik o.ä. vermindern sich die Werte.

f: Entsprechen Teile der Anlagentechnik und der Zustand des Baukörpers nicht dem typischen Standard (z.B. baulich modernisierte Altbauten, bessere Wärmeerzeugung etc.) ergeben sich abweichende Teil- und Endenergiekennwerte

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff

Dr.-Ing. Kati Jagnow

Überarbeitung Recknagel/Sprenger/Schramek  
(Ausgabe 2009)