



Dieter Wolff\*



Kati Jagnow\*

## AUSZUG AUS DEM MANUSKRIFT FÜR: TASCHENBUCH DER HEIZUNGS- UND KLIMATECHNIK RECKNAGEL / SPRENGER / SCHRAMEK, AUSGABE 2001

### 1.1 Verbrauchsgebundene Kosten der Heizung und Warmwasserbereitung

#### 1.1.1 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. DM/kWh) multipliziert.

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

Für die physikalisch korrekte Bilanzierung der benötigten thermischen Energiemenge über ein Jahr lassen sich Bauphysik und Anlagentechnik eines Gebäudes nicht mehr voneinander trennen. Der zunehmende Einfluß der kontrollierten Lüftung in Gebäuden führt zu Luftwechseln, die sich sowohl aus der baulichen Ausführung und aus der Nutzung eines Gebäudes ergeben (Fugenlüftung, Fensterlüftung), als auch anlagentechnisch durch Lüftungsanlagen ergänzt werden. Für die Bereiche Warmwasserbereitung und Raumheizung ergeben sich ähnliche Schwierigkeiten bei der Ausweisung von Einzelanteilen. Wärmeverluste des Warmwassersystems können als nutzbare innere Wärmegegewinne für die Heizung wirksam werden. Der in der Praxis nicht meßbare Heizwärmebedarf  $Q_h$  für ein Gebäude wird im Gegensatz zu früheren Betrachtungen von so vielen Faktoren beeinflusst, dass seine Angabe schwer möglich ist. Mit einer *Gesamtwärmebilanz*<sup>1</sup> für Gebäude und Anlage als Einheit ist dies zur Kostenermittlung nicht mehr nötig.

1

in Anlehnung an folgende Berechnungsvorschriften:  
Vornorm DIN V 4108-6 „Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs von Gebäuden“ [2000]  
Vorläufige DIN V 4701-10 „Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ [2000]  
Institut Wohnen und Umwelt, IMPULS-Programm Hessen „Energiepass Heizung/Warmwasser“ [1997]  
Institut Wohnen und Umwelt „LEG - Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung“ [1995]

Bild 1 stellt die Verknüpfung der im Gebäude auftretenden Wärmeströme dar. Die Bezeichnung der Energien wird in den folgenden Kapiteln 1.1.2 ff. erklärt. Der griechische Buchstabe  $\eta$  steht für einen Ausnutzungsgrad der Energie (vgl. Kapitel 1.1.3).

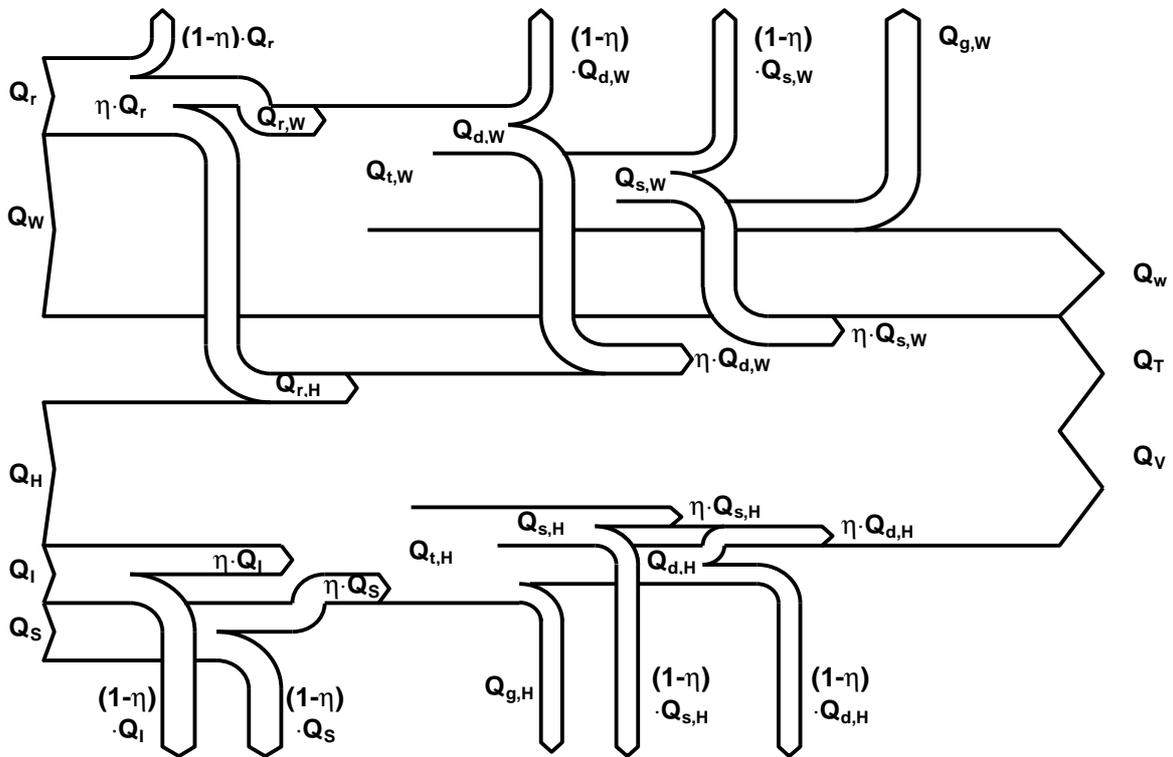


Bild 1 „Verknüpfung der im Gebäude auftretenden Wärmeströme“

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 (water)	W	Jahreswarmwasserenergie (water)

Tabelle 1 "Legende der Größen und Indizes des Bild 1 "

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 (höhere Raumtemperatur, Sommerheizung, benötigte Warmwassermenge) und Sorgfalt der Bedienung und Wartung
2. Güte des Wärmeschutzes und der Bauausführung, namentlich der Fenster und bei neuen Gebäuden der Luftdichtheit; Speicherfähigkeit des Gebäudes;
3. Verhältnis der Summe aller Wärmegewinne (passive Solarenergienutzung und innere Wärmequellen, u.a. unregelmäßige Wärmeabgabe durch Heiz- und Warmwasserverteilrohre) zu den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten: Gewinn/Verlust-Verhältnis;
4. Dauer von Betriebsunterbrechungen bzw. des eingeschränkten Heizbetriebes;
5. Höhe der Wärmeverluste bei der Erzeugung, Verteilung und Speicherung von Wärme für das Heizsystem und das Warmwassersystem;
6. Regelgüte der zentralen Wärmeerzeugung und der dezentralen Wärmeabgabe;
7. durchschnittliche Ausstattung des Gebäudes mit und Nutzung von Warmwasserzapfstellen;
8. Heizwert bzw. Brennwert der Brennstoffe;

## 1.1.2 Grundgleichungen des Jahresheizenergiebedarfs

Zur Berechnung des spezifischen flächenbezogenen Jahresheizenergiebedarfs  $q$  eines Gebäudes kann folgende Gleichung 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>2</sup> Im Gegensatz dazu wird in der EnEV<sup>3</sup> und der zukünftigen DIN 4701-10 zur Ermittlung des Jahresheizenergiebedarfs die Nutzfläche  $A_N = 0,32 \cdot V_e$  (mit  $V_e$  als externem Hüllvolumen des Gebäudes) herangezogen. Im Mittel untersuchter Gebäude liegt die Nutzfläche  $A_N$  um etwa 27% höher als die Energiebezugsfläche  $A_{EB}$ .

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 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 entsteht durch die zu deckenden Verlustenergiemengen aus Transmission von Wärme durch die Gebäudehülle  $Q_T$  und Lüftung durch natürliche und/oder auch Zwangslüftung  $Q_V$  (ventilation). Dieser Energiebetrag wird reduziert um den Betrag der nutzbaren Energiegewinne  $Q_G$  (gain) während der Heizzeit. Die Art der Gewinne können zunächst in zwei große Gruppen geteilt werden, zum einen die nutzbaren inneren Gewinne  $\eta_F \cdot Q_I$ , deren Verursacher innerhalb der gedämmten Hülle 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, werden an dieser Stelle nicht einzeln als Verlustwärmemenge ausgewiesen, sie können als Erhöhung der mittleren Rauminnentemperatur in der Heizzeit ggf. in erhöhten Lüftungswärmeverlusten und verlängerten Heizperioden berücksichtigt werden.

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

<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche nach BGBl. I „Verordnung über wohnungswirtschaftliche Berechnungen 1990“ (ohne Balkone und Wintergärten); beheizte Nutzfläche nach DIN 277 Teil 2 „Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau; Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen“ [06.1987]

<sup>3</sup> künftige Energie-Einspar-Verordnung als nationale Umsetzung der europäischen DIN EN 832

### 1.1.3 Heizwärmebedarf und Nutzwärmebedarf der Warmwasserbereitung

#### - 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*  $z$  entspricht der Anzahl der Tage im Jahr, die ein Gebäude abhängig von der Heizgrenztemperatur durch die Heizungsanlage versorgt wird. Je nach *Heizgrenztemperatur*  $y$  (z.B. 12°C) wird die Heizperiode  $z_y$  (z.B.  $z_{12}$ ) 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 Wärmegewinne für ein Gebäude auftreten, liegt die theoretische Heizgrenztemperatur z.B. bei  $\vartheta_i = \vartheta_{HG} = 20^\circ\text{C}$ .

Für verschiedene Standorte Deutschlands ist die *Gradtagszahl*  $Gt$  dokumentiert.<sup>4</sup> Sie stellt die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen Außentemperatur und *mittlerer Innentemperatur*  $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$  über alle Tage einer *Heizperiode* mit der *Heizgrenztemperatur*  $\vartheta_{HG} = 15^\circ\text{C}$  dar.

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

Dieser Zusammenhang kann durch die Angabe einer korrigierten *Gradtagszahl*  $Gt_{x,y}$  eines Gebäudes ausgedrückt werden. Dabei steht der Index  $x$  für die *mittlere Innentemperatur* und der Index  $y$  für die *Heizgrenztemperatur* des Gebäudes (z.B.  $Gt_{20,12}$  bei  $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$  und  $\vartheta_{HG} = 12^\circ\text{C}$ ).

Für andere *mittlere Innentemperaturen* als 20°C (hervorgerufen durch andere Nutzung eines Gebäudes, aber auch durch Regelabweichungen der Wärmeübergabe) kann der Wert der *Gradtagszahl*  $Gt$  näherungsweise wie folgt korrigiert werden.

$$Gt_{x,y} = Gt_{20,y} + z_y \cdot (\vartheta_i - 20^\circ\text{C})$$

Nach diesem Ansatz bedeutet eine Änderung der Raumtemperatur um  $\Delta\vartheta_i = 1\text{K}$  eine Veränderung der Gradtagszahl um etwa  $\pm 6...7\%$ .

Folgende Übersichten (Bild 2) gelten für einen mittleren Standort in Deutschland.

<sup>4</sup> Gradtagszahlen können der VDI 3808 „Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien heiztechnischer Anlagen“ [01.1993] entnommen werden bzw. aus den Wetterdaten der DIN 4710 „Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs“ [11.1982] ermittelt werden.

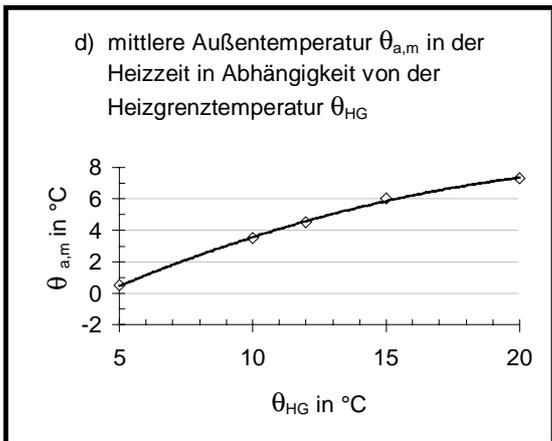
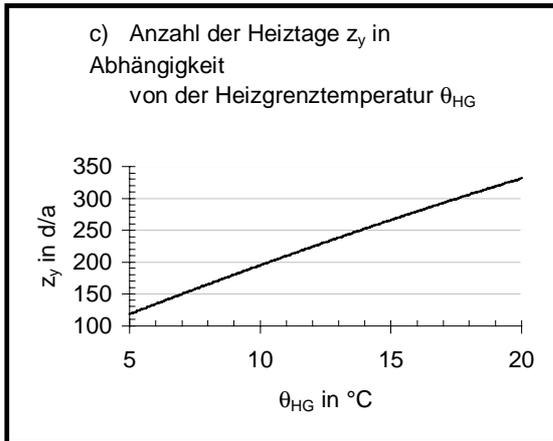
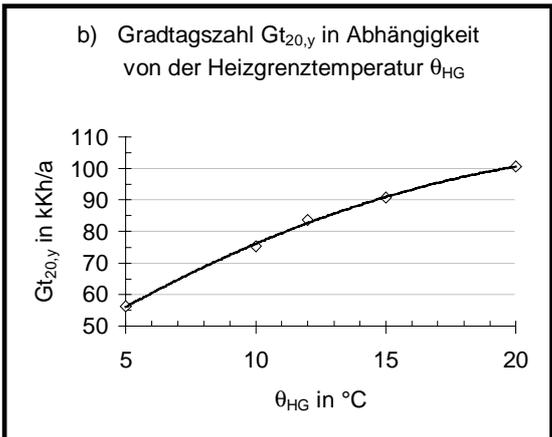
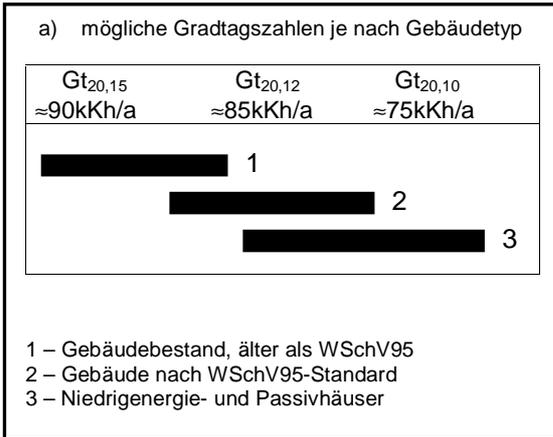


Bild 2 „Zuordnung von Gradtagszahlen zu Gebäudetypen (a) sowie Gradtagszahlen Gt<sub>x,y</sub> (b), Anzahl der Heiztage  $z_y$  (c) und mittlere Außentemperatur  $\theta_{a,m}$  (d) je nach Heizgrenztemperatur  $\theta_{HG}$  für einen mittleren Standort in Deutschland“

## - 2 Transmissionswärmebedarf $Q_T$

Der *Transmissionswärmebedarf* eines Gebäudes  $Q_T$  hängt von den Gradtagszahlen Gt<sub>x,y</sub>, also der Summe der Temperaturdifferenzen innen – außen über die Heizperiode, sowie dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aller Umschließungsflächen des Gebäudes  $U_m$  und der Größe der wärmeübertragenden Hüllfläche  $A_{Hülle}$  ab. Die Gebäudeeigenschaft  $U_m \cdot A_{Hülle}$  kann durch die spezifische Transmissionsheizlast  $H_T$  ausgedrückt werden.

$$Q_T = q_T \cdot A_{EB} = H_T \cdot Gt_{x,y} \quad \text{mit} \quad H_T = U_m \cdot A_{Hülle}$$

Für Gebäude verschiedenen Baualters bzw. Dämmstandards können als Näherungswerte mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten nach Tabelle 2 für die Gebäudehülle herangezogen werden.

Gebäudeart	Gebäude-Altbestand	Gebäude nach WSchV95	Niedrigenergiestandard	Passivhaus-Standard
$U_m$ in W/m <sup>2</sup> K	1,0...1,5	0,5...0,8	0,25...0,5	0,1...0,25
$q_T$ in kWh/(m <sup>2</sup> a)	200...100	100...40	70...30	20...10

Tabelle 2 „Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_m$  und mittlerer spezifischer Transmissionswärmebedarf  $q_T$  je nach Gebäudeart“

### - 3 Lüftungswärmebedarf $Q_V$

Zur Bestimmung des *Lüftungswärmebedarfs*  $Q_V$  ist der wirksame Luftwechsel  $n$  für ein Gebäude maßgeblich. 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 Restundichtigkeiten  $n_{Rest}$  und natürliches Fensterlüftungsverhalten. Für Gebäude ohne Lüftungsanlage gelten die Anhaltswerte für  $n$  nach Tabelle 3.

a) Anhaltswerte für mittlere Luftwechsel in der Heizzeit in $h^{-1}$						b) Restluftwechsel $n_{Rest}$ durch Undichtigkeiten in $h^{-1}$	
		Wohnen	Heime	Verwaltung	Schulen		
natürlicher Luftwechsel durch Fenster und Fugen	$n$	0,6	0,6	0,43	0,37	ohne Drucktest	0,2
mechanischer Luftwechsel	$n_{Anl}$	0,4	0,4	0,23	0,17	mit bestandenem Drucktest ( $n_{50} \leq 1$ bei 50Pa Differenzdruck)	0,1

Tabelle 3, „Anhaltswerte für mittlere Luftwechsel  $n$  bzw.  $n_{Anl}$  (a) und Restluftwechsel  $n_{Rest}$  (b)“

Der jährliche Lüftungswärmeverlust  $Q_V$  für ein Gebäude kann analog zum Transmissionswärmeverlust aus der spezifischen Lüftungsheizlast  $H_V$  und den Gradtagszahlen  $G_{t,x,y}$  bestimmt werden. Dabei ist die Größe  $H_V$  nicht mehr 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  $V_L = A_{EB} \cdot 2,5m$ ), die mittlere Luftwechselzahl  $n$  sowie das Produkt aus Dichte und spezifischer Wärmespeicherkapazität der Luft  $0,34Wh/(m^3K)$ .

$$Q_V = H_V \cdot G_{t,x,y} = 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot n \cdot V_L \cdot G_{t,x,y}$$

Für Gebäude unterschiedlichster Nutzung ergeben sich spezifische flächenbezogene Lüftungswärmeverluste von  $q_V = 20...50...(75) kWh/(m^2a)$ . Den oberen Grenzwert von  $75 kWh/(m^2a)$  und höher findet man vor allem in von Rauchern benutzten Räumen.

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

### - 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  $\eta_F$  ist in erster Näherung eine Funktion des Verhältnisses von Energiegewinnen aus passiver solarer Strahlung und inneren Wärmequellen ( $Q_S + Q_I$ ) zu den Energieverlusten durch Transmission und Lüftung ( $Q_T + Q_V$ ).

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

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

Die Berechnung 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.  $Q_S = \Sigma A_F \cdot G \cdot g \cdot r$ .

Überschlägig kann mit Werten für den spezifischen auf die beheizte Nutzfläche bezogenen nutzbaren Solarenergiegewinn von  $\eta_F \cdot q_S = 10...19...(32) kWh / m^2a$  gerechnet werden.

## - 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, 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 unregelmäßigen inneren Energiequellen 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.

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

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

Für Gebäudetypen verschiedener Nutzung kann ohne Wärmegutschriften aus der Heiz- und Warmwasserverteilung (ggf. auch -speicherung) mit Anhaltswerten der Tabelle 4 für die spezifische innere Gewinnleistung  $\dot{q}_i$  gerechnet werden.

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

Tabelle 4 „Mittlere spezifische Wärmeabgabeleistung innerer Wärmequellen (ohne Wärmegutschriften aus der Heiz- und Warmwasserverteilung)“

In guter Näherung ergeben sich spezifische anrechenbare innere Gewinne in der Größenordnung von  $\eta_F \cdot q_I = 6...35 kWh / (m^2a)$ .

Einen genaueren Ansatz liefert die Ermittlung der im Gebäude tatsächlich anfallenden Wärmeenergien. 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. mit Speicher) betrachtet werden.

## - 6 Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung $Q_w$

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

$$Q_w = q_w \cdot A_N$$

$Q_w$  ist ebenfalls stark von der Art der Nutzung des Gebäudes abhängig. Für Wohngebäude kann mit Energiewerten von etwa  $400...700 kWh / (Person \cdot a)$  für die Bereitung von Warmwasser rechnen. Dies entspricht einer spezifischen flächenbezogenen Nutzenergiemenge für Wohngebäude von

$q_w = 6...20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  . Bei Gebäuden mit anderer Nutzung müssen Planungswerte eingesetzt werden.

## - 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 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.

## - 8 Mehrzonengebäude

Besteht ein Gebäude aus Zonen verschiedener Nutzung oder auch unterschiedlicher technischer Ausstattung, zum Beispiel ein kombiniertes Wohn- und Bürogebäude, so ist der Heizwärmebedarf  $Q_h$ , aber auch der Nutzwärmebedarf der Warmwasserbereitung  $Q_w$  für jede Zone separat zu bestimmen. Die Bestimmung des Jahresenergiebedarfs erfolgt anschließend für jede Zone getrennt.<sup>5</sup>

### 1.1.4 Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung

Der *Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung*  $Q$  beinhaltet sowohl den Nutzen für den Verbraucher (Heizwärme  $Q_h$  und 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 der beiden Wärmeverteilssysteme (Warmwasser 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.

## - 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  $G_{t,x,y}$  ausgedrückt werden. Für die Warmwasserübergabe werden keine Verluste angenommen.

## - 2 Wärmeverteilung

Die Ermittlung der Wärmeabgabe der Verteilungen von Warmwasser- und Heizungsrohren  $Q_d$  erfolgt nach zwei verschiedenen Ansätzen. 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 Stichleitungen) und die ständig auf Temperatur gehaltenen Zirkulations- und Förderleitungen des Warmwassernetzes angesehen werden. Periodisch durchflossen sind Stichleitungen der Heizung und Warmwasserbereitung, die nur bei Zapfung bzw. Wärmeanforderung der Heizflächen erwärmt werden.

<sup>5</sup> Hinweise zur Berechnung von Mehrzonengebäuden in der vorläufigen DIN V 4701-10 und im LEG/Energiepass

Für die Verteilung des Heizsystems ergibt sich folgender Ansatz.

$$Q_{d,H} = (\dot{Q}_{d,H,Z} + \dot{Q}_{d,H,S}) \cdot z_y \quad \text{mit} \quad \dot{Q}_{d,H} = \Sigma[(k \cdot A / L)_Z \cdot (\vartheta_{i,Z} - \vartheta_a) \cdot L]$$

$$\dot{Q}_{d,H,S} = \dot{q}_{d,H,S} \cdot L = \Sigma[(k \cdot A / L)_S \cdot (\vartheta_{i,S} - \vartheta_a) \cdot L]$$

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  $z_y$  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 der spezifischen Wärmeverlustleistung je Meter Rohr und Kelvin ( $k \cdot A / L$ ).

Die Betriebszeit kann für das Heizungsverteilsystem von  $z_y$  verschieden sein, wenn das System am Wochenende oder Nachts abgeschaltet ist. Ist dies der Fall, dann muß die vorliegende Betriebszeit zu 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  $\vartheta_{\approx 38^\circ\text{C}}$ .<sup>6</sup> Die mittlere Temperatur der umgebenden Luft hängt von der Lage des Rohrabschnittes ab. Verläuft er innerhalb der beheizten thermischen Hülle eines Gebäudes wird die mittlere Rauminnentemperatur angesetzt, liegt er jedoch außerhalb der thermischen Hülle, z.B. im Keller, kann mit  $\vartheta_a \approx 10 \dots 15^\circ\text{C}$  im Jahresmittel gerechnet werden.

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

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

$$\text{und} \quad \dot{Q}_{d,W,S} = \dot{q}_{d,W,S} \cdot L = \Sigma[(k \cdot A / L)_S \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)_{d,S} \cdot L]$$

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, dann muß die vorliegende Betriebszeit zu Berechnung herangezogen werden.

Die mittlere Temperatur eines ständig auf Temperatur gehaltenen Rohrabschnittes der Warmwasserverteilung kann mit  $\vartheta_{i,Z} = 50 \dots 55^\circ\text{C}$  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 die spezifische Verlustleistung ständig auf Temperatur gehaltener Rohre je Meter Länge und Kelvin Temperaturdifferenz  $(k \cdot A / L)_Z$  finden sich in Bild 3.

<sup>6</sup> Ermittlung der mittleren Heizkreistemperatur sowie weitere Beispiele in der vorläufigen DIN V 4701-10

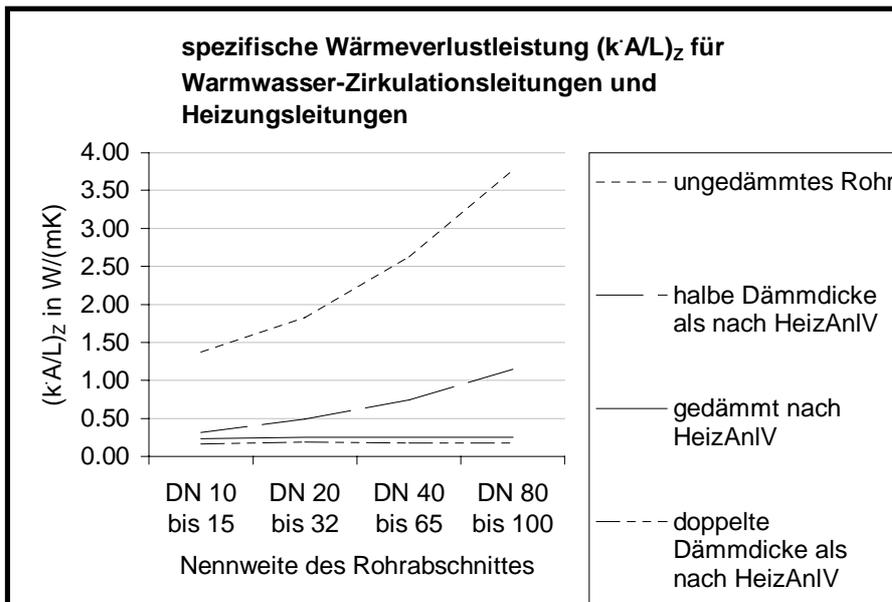


Bild 3 „Spezifische Wärmeverlustleistung für Warmwasser-Zirkulationsleitungen und Heizungsleitungen“

Für Stichleitungen der Heizungsverteilung, die nicht ständig durchflossen sind, kann mit  $(k \cdot A \cdot L)_S \approx 0,8 \cdot (k \cdot A \cdot L)_Z$  gerechnet werden.

Für Stichleitungen der Warmwasserverteilung kann die spezifische Verlustleistung je Meter Rohrlänge  $\dot{q}_{d,w,s}$  bei Verlegung in der gedämmten Hülle aus Bild 4 abgeschätzt werden.

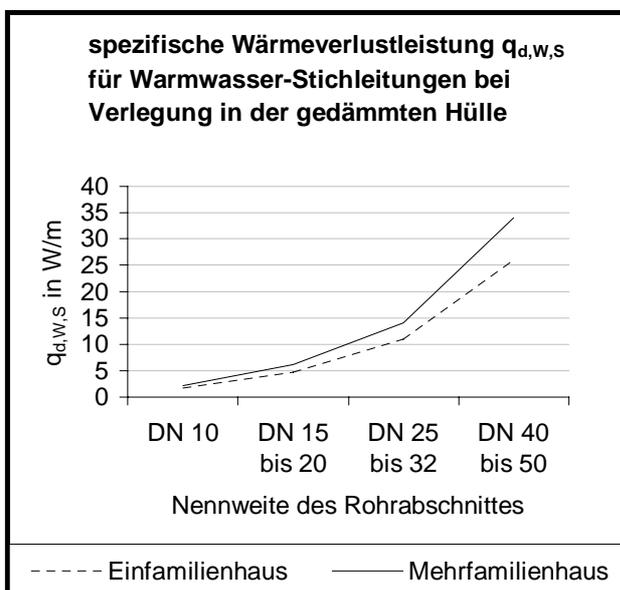


Bild 4 „Spezifische Wärmeverlustleistung für Warmwasserstichleitungen“

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

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

### - 3 Wärmespeicherung

Die Berechnung der *Wärmeverluste eines Speichers*  $Q_s$  können 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 ist die Betriebszeit des Speichers ( $z_y$  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 der Speicheroberfläche  $A_s$  und dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_s$  der Speicherhülle ab.

$$Q_{s,H} = \dot{Q}_s \cdot z_y \quad \text{bzw.} \quad Q_{s,W} = \dot{Q}_s \cdot 365d/a \quad \text{mit} \quad \dot{Q}_s = (k \cdot A)_s \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)_s$$

Die Betriebszeit kann für einen Pufferspeicher des Heizsystems von  $z_y$  verschieden sein, wenn das System am Wochenende oder Nachts abgeschaltet ist. Dies gilt auch für die Betriebszeit eines Warmwasserspeichers. Ist dies der Fall, dann muß näherungsweise die vorliegende Betriebszeit zur Berechnung herangezogen werden.

Die mittlere Innentemperatur des Speichers über ein Jahr kann für einen Trinkwasserspeicher mit etwa  $\vartheta_{i,s}=50...60^\circ\text{C}$  angenommen werden. Bei Heizwasser-Pufferspeichern richtet sie sich nach der mittleren Heizkreistemperatur des angeschlossenen Heizsystems. Für einen Pufferspeicher eines auf  $55/45^\circ\text{C}$  ausgelegten Heizsystems kann die mittlere Speichertemperatur etwa bei  $\vartheta_{i,s}\approx 38^\circ\text{C}$  liegen.<sup>7</sup> Die maßgebliche Umgebungslufttemperatur  $\vartheta_{s,a}$  ergibt sich aus dem Aufstellort des Speichers. Innerhalb der beheizten thermischen Hülle eines Gebäudes wird die mittlere Rauminnentemperatur angesetzt, ist der Speicher außerhalb der thermischen Hülle, z.B. im Keller aufgestellt, kann mit  $\vartheta_{a,s}\approx 10...15^\circ\text{C}$  im Jahresmittel gerechnet werden.

Sind über die Größe des Speichers keine Angaben bekannt, dann kann diese mit Hilfe des Bild 5 abgeschätzt werden.

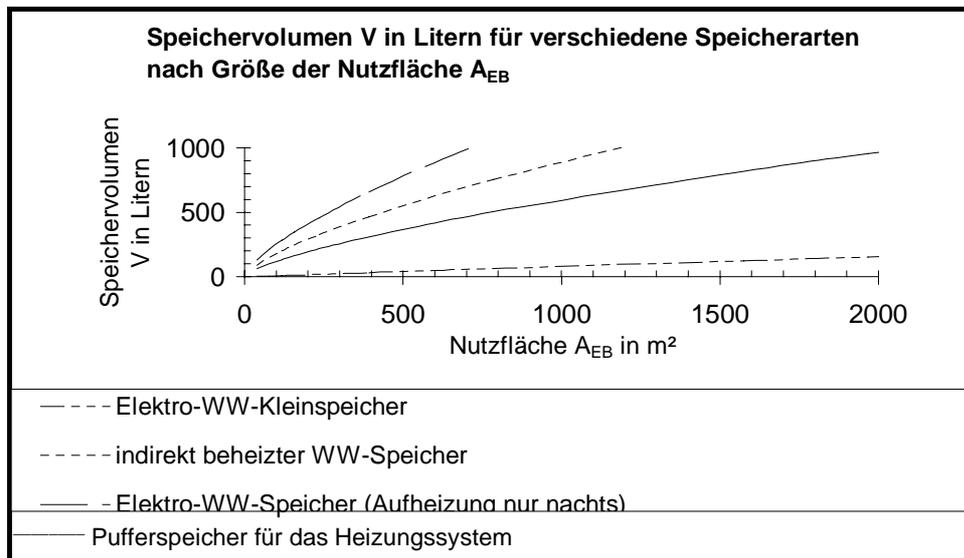


Bild 5 „Speichervolumen für Verschiedene Speicherarten nach Größe der Nutzfläche“

Eine Näherung für die spezifische Verlustleistung eines Speichers je nach Dämmstandard der Speicherhülle kann der folgenden Graphik Bild 6 entnommen werden.

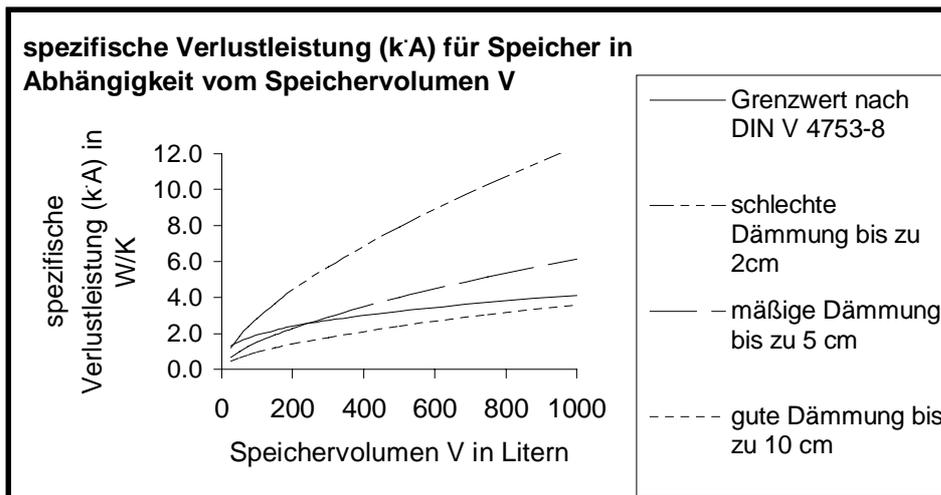


Bild 6 „Spezifische Verlustleistung für Speicher je nach Speichervolumen“

Mit den oben getroffenen Annahmen liegt der spezifische flächenbezogene Wärmeverlust der Speicherung für Warmwasserspeicherung bei etwa  $q_{s,W} = 2...10...(14) kWh / m^2a$ . Für Pufferspeicher sind Werte von  $q_{s,H} = 1...5...(9) kWh / m^2a$  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 innerhalb der gedämmten Gebäudehülle auftreten den inneren Gewinnen  $Q_i$  zugerechnet werden. Der für die Raumheizung nutzbare Anteil kann, wie bereits oben erläutert, über den Nutzungsgrad der freien Wärme  $\eta_F$  ermittelt werden.

## - 4 Wärmeerzeugung

Die *Wärmeverluste der Wärmeerzeugung*  $Q_g$  werden näherungsweise mit Hilfe des Jahresnutzungsgrades  $\eta_a$  bzw. der Erzeugungsaufwandzahl  $e_g$  bei der Berechnung des *Jahresenergiebedarfs* der Heizung  $Q_H$  und Warmwasserbereitung  $Q_W$  indirekt ermittelt. Dabei hängt die Höhe des Wärmeverlustes  $Q_{g,H}$  oder  $Q_{g,W}$  von der Summe der zu deckenden Energien (Nutzenergie  $Q_h$  oder  $Q_w$ , Energie zur Deckung der Verteilverluste  $Q_d$ , Energie zur Deckung der Speicherverluste  $Q_s$ ) sowie der Art und Betriebsweise des Wärmeerzeugers - ausgedrückt durch den Jahresnutzungsgrad  $\eta_a$  bzw. die Erzeugungsaufwandzahl  $e_g$  (beide noch bezogen auf den Heizwert  $H_U$ ) - ab.

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

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

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

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>8</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 stellen die Kessel (Konstanttemperaturkessel, Nietertemperatur-Kessel und Brennwertkessel) dar. 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 wird um so größer, je höher der Kesselwirkungsgrad  $\eta_K$  ist. Dieser hängt wesentlich von den Abgasverlusten ab. Mit geringeren Betriebsbereitschaftsverlusten  $q_B$ , die ein Maß der Wärmeverluste der Kesseloberfläche an die Umgebung und der schornsteinabhängigen inneren Auskühlverluste sind, steigt der Jahresnutzungsgrad ebenfalls. Ein weiterer Einflußfaktor auf die Höhe des Jahresnutzungsgrades eines Kessels ist die Kesselauslastung  $\varphi$ . Sie gibt das Verhältnis der mittleren benötigten Leistung  $\dot{Q}_m$  zur Kesselheizenleistung  $\dot{Q}_K$  wieder. Dies 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 durchgängig mit nur 5% seiner Nennleistung.

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

Die Standardwerte in Tabelle 5 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. 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>9</sup> (Tabellierte Werte berücksichtigen die Kesselverschmutzung.)

<sup>8</sup> Berechnung von Erzeugungsaufwandzahlen  $e_g$  vgl. vorläufige DIN V 4701-10

<sup>9</sup> Berechnung von Erzeugungsaufwandzahlen  $e_g$  vgl. vorläufige DIN V 4701-10

Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und Aufwandzahlen $e_g$ ) für Niedertemperatur- und Brennwertkessel (bezogen auf $H_U$ )			
Kesselbauart	Leistung in kW	Gasbefuerter Kessel	Ölbefuerter Kessel
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	bis 50	0,91 (1,10)	-
	> 50...120	0,91 (1,10)	-
	>120...350	0,92 (1,09)	-
	>350...1200	0,92 (1,09)	-
NT-Kessel mit Gebläse	bis 50	0,92 (1,09)	0,90 (1,11)
	> 50...120	0,92 (1,09)	0,90 (1,11)
	>120...350	0,92 (1,09)	0,90 (1,11)
	>350...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...350	0,99 (1,01)	0,93 (1,08)
	>350...1200	0,99 (1,01)	0,93 (1,08)

Tabelle 5 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für Niedertemperatur- und Brennwertkessel (bezogen auf  $H_U$ )“

Eine vor allem im Altanlagenbestand zu findende Gruppe der Wärmeerzeuger stellen die Konstanttemperaturkessel dar. 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.

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. 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.

Anhaltswerte für Jahresnutzungsgrade bzw. Erzeugungsaufwandzahlen verschieden befeuerter Konstanttemperaturkessel<sup>10</sup> können Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8 entnommen werden (die Werte berücksichtigen die Kesselverschmutzung).

Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und 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)

<sup>10</sup> nach Energiepass/LEG

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 Wechselbrand-kessel	< 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)

Tabelle 6 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für gasbefeuerte Konstanttemperaturkessel (bezogen auf H<sub>U</sub>)“

Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und Aufwandzahlen $e_g$ ) für ölbefeuerte Konstanttemperaturkessel (bezogen auf H <sub>U</sub> )									
Kesselbauart	Leistung in kW	Baujahr bis 1978				Baujahr ab 1979			
		Auslastungsgrad $\phi$				Auslastungsgrad $\phi$			
		<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 Wechselbrand-kessel	< 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)

Tabelle 7 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für ölbefeuerte Konstanttemperaturkessel (bezogen auf H<sub>U</sub>)“

Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und Aufwandzahlen $e_g$ ) für mit Festbrennstoff befeuete Konstanttemperaturkessel (bezogen auf H <sub>U</sub> )									
Kesselbauart	Leistung in kW	Baujahr bis 1978				Baujahr ab 1979			
		Auslastungsgrad $\phi$				Auslastungsgrad $\phi$			
		<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 Wechselbrand-kessel	< 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)

Tabelle 8 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für mit Festbrennstoff befeuete Konstanttemperaturkessel (bezogen auf H<sub>U</sub>)“

Werden Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung eingesetzt, so können diese als alleinige Erzeuger installiert sein (monovalenter 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 monovalent eingesetzter Wärmepumpen der Heizung und Warmwasserbereitung bietet Tabelle 9.<sup>11</sup> Höhere Jahresarbeitszahlen sind vor allem für niedrige mittlere Heizwassertemperaturen (z.B. für 35/28°C Auslegung einer Fußbodenheizung) sowie exakte Dimensionierung der Wärmepumpe nach Bedarf des Gebäudes und regelmäßige gewartete Wärmepumpen zu erwarten.

Jahresarbeitszahlen $\beta$ und Jahresheizzahlen $\zeta$ sowie 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

Tabelle 9 „Jahresarbeitszahlen, Jahresheizzahlen und Erzeugungsaufwandzahlen für Wärmepumpen“

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 Tabelle 10 entnommen werden.

Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und 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)	1,00 (1,00)	0,85 (1,18)
	mäßig gedämmt	0,90 (1,11)	1,00 (1,00)	0,80 (1,25)

Tabelle 10 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für Wärmeübergabestationen“

Wird für die Heizung oder Warmwasserbereitung ein Blockheizkraftwerk verwendet, so kann der Jahresnutzungsgrad nach Tabelle 11 abgeschätzt werden.

Thermische Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und 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)

Tabelle 11 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für Motor-Heizkraftanlagen (BHKW)“

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 im in Tabelle 12 und Tabelle 13 gegeben.

<sup>11</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]

Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und 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
Elektro- geräte	Kochendwasser- geräte	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)								
Gas- geräte	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 Zün- dung	0,84 (1,19)								

Tabelle 12 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für dezentrale Geräte zur Warmwasserbereitung“

a) Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und Aufwandzahlen $e_g$ ) für Einzelöfen		b) Jahresnutzungsgrade $\eta_a$ (und Aufwandzahlen $e_g$ ) für Elektro-Widerstandsheizungen	
ölbefuerter Einzelofen mit Ver- dampfungsbrenner	0,85 (1,18)	Nachtspeicherofen bis 50kW	0,95 (1,05)
Kachelofen	0,70 (1,43)	Nachtspeicherofen >50kW	0,97 (1,03)
kohlebefeuerte eiserne Öfen	0,67 (1,49)	Direktheizgeräte	0,98 (1,02)
Außenwand-Gasöfen	0,75 (1,33)		

Tabelle 13 „Jahresnutzungsgrade und Erzeugungsaufwandzahlen für Einzelöfen (a) und Elektro-Widerstandsheizungen (b)“

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

Die bei der Wärmeerzeugung innerhalb der thermischen Hülle eines Gebäudes (dezentrale Warmwasserbereitung, wandhängende Kombiwasserheizer zur dezentralen Wohnungsversorgung etc.) anfallenden Wärmeverluste durch Abstrahlung können als innere Gewinne gutgeschrieben werden. Sie müssen – wie Speicherwärmeverluste und Wärmeverluste der Verteilleitungen – 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 Jahresheizwärmebedarf zu bestimmen (Deckungsanteil) und die Berechnung der Wärmeerzeugungsverluste  $Q_g$  für jeden Anteil getrennt vorzunehmen.<sup>12</sup>

### 1.1.5 Eingeschränkter Heizbetrieb, Einfluß der Regelung der Wärmeabgabe

Wie bereits oben beschrieben kann der erhöhte Energieaufwand, der durch die Regelung der Wärmeabgabe entsteht, 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.

$$Gt_{x,y}^* = Gt_{x,y} \cdot F_{RED} \cdot F_{INC}$$

Bild 7 bietet einen Überblick über mittlere Reduktionsfaktoren  $f_{RED}$  für den Einfluß des *eingeschränkten Heizbetriebes* mit Nachtabsenkung/Wochenendabsenkung des Sollwertes der Raumtemperatur um  $\Delta\vartheta=5K$ . Reduktionsfaktoren für andere Gegebenheiten können mit Simulationsberechnungen ermittelt werden.

<sup>12</sup> Nähere Ausführungen zu anderen Betriebsweisen in der vorläufigen DIN V 4701-10 bzw. LEG/Energiepass

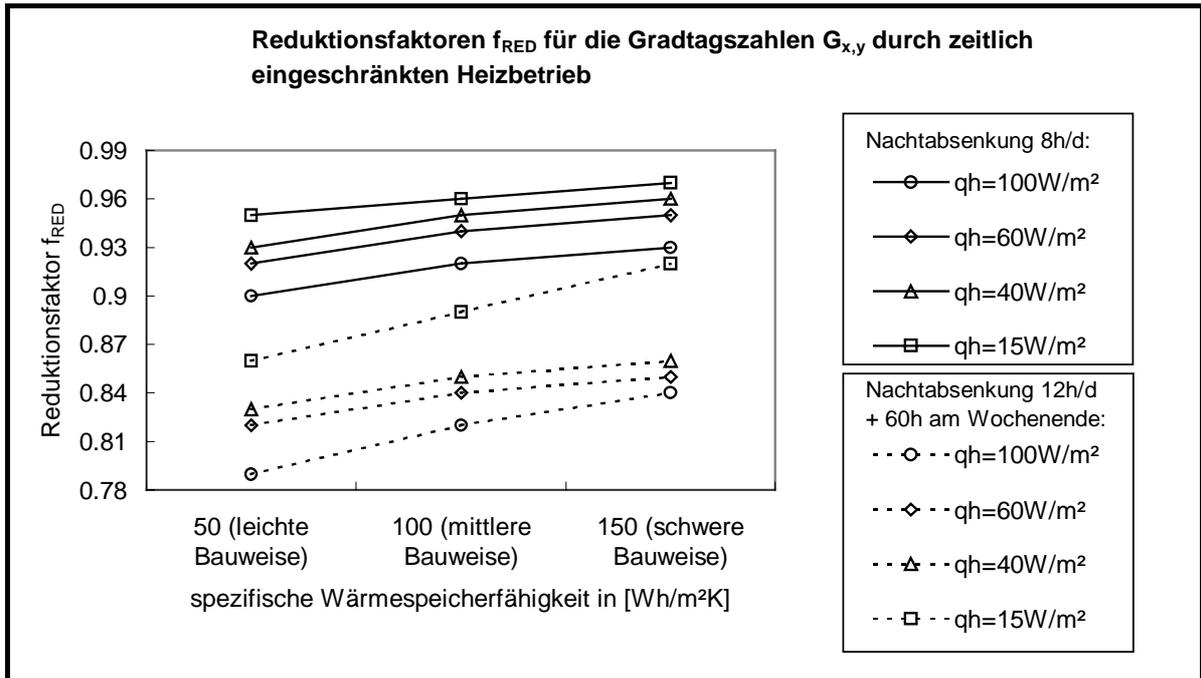


Bild 7 „Reduktionsfaktoren  $f_{RED}$  zur Bewertung des zeitlich eingeschränkten Heizbetriebs“

Der *Einfluß der Art der Regelung der Wärmeübergabe* an den zu beheizenden Raum kann mit den nachfolgend tabellierten Überschlagswerten des Faktors  $f_{INC}$  zur Korrektur der Gradtagszahl abgeschätzt werden. Da die Gradtagszahl  $G_{t_{x,y}}$  nur zur Ermittlung des Jahrestransmissions- und Lüftungswärmeverlustes verwendet werden, 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 Tabelle 14 genannten Werte beziehen sich auf ein mittleres Verhältnis der Wärmegewinne ( $Q_T+Q_S$ ) zu den Verlusten ( $Q_T+Q_V$ ) von 0,5. Genauere Ergebnisse liefern auch hier Simulationberechnungen.

Art der Regelung der Wärmeübergabe	Faktor $f_{INC}$ für die Gradtagszahl $G_{t_{x,y}}$
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

Tabelle 14 „Faktor  $f_{INC}$  zur Bewertung der Regelgüte“

Mit diesem Ansatz kann die Schwankungsbreite des Einflusses der Art der Regeleinrichtung abgeschätzt werden. Als Überschlagswert kann hier  $\Delta Q_h=(1)...2...8...(10)$  kWh/(m²a) verwendet werden.

### 1.1.6 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.

Tabelle 15 gibt Anhaltswerte für mittlere Leistungen und Laufzeiten für die zu berücksichtigenden Hilfsenergien. (Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Größe  $z_y$  entspricht der Länge der Heizperiode in d/a je nach Heizgrenztemperatur  $y$ .)

Betriebszeiten und mittlere Leistungsaufnahme 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	$z_y \cdot 24\text{h/d}$	$\frac{5}{6} \cdot z_y \cdot 24\text{h/d}$	$\frac{3}{4} \cdot z_y \cdot 24\text{h/d}$	$\frac{1}{2} \cdot z_y \cdot 24\text{h/d}$	0,4	0,2
Umwälzpumpe Zirkulation	8760 h/a	$\frac{5}{6} \cdot 8760 \text{ h/a}$	$\frac{3}{4} \cdot 8760 \text{ h/a}$	$\frac{1}{2} \cdot 8760 \text{ h/a}$	0,2	0,1
Regelung Heizung/Warmwasser	8760 h/a				0,1	0,0 (<0,01)
Regelung Heizung ohne WW	$z_y \cdot 24\text{h/d}$				0,1	0,0 (<0,01)
Umwälzpumpe Solar-kreis	$\frac{1}{8} \cdot z_y \cdot 24\text{h/d}$				0,4	0,2
Abluftanlage	$z_y \cdot 24\text{h/d}$				0,3	0,1
Zu-/ Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	$z_y \cdot 24\text{h/d}$				0,6	0,2

Tabelle 15 „Betriebszeiten und mittlere Leistungsaufnahme für Elektrohilfsgeräte“

Als überschlägigen Wertebereich für den spezifischen flächenbezogenen Hilfsenergiebedarf einer Heizungsanlage mit ggf. Warmwasserbereitung und Gebäudelüftung kann  $q_{el} = 0,5 \dots 4 \dots (19) \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{a}$  angesetzt werden.

Eine Übersicht über weitere Größen, die zur Ermittlung von Hilfsenergien eines Gebäudes herangezogen werden können, bietet Tabelle 16.

mittlerer R-Wert von Rohrleitungen des Heizsystems	(30)...50...100...(250) Pa/m
Druckabfall über Regelventilen des Heizsystems	(1)...2,5...(5) kPa
Druckabfall über Thermostatventilen	(2,5)...5...(10)kPa
Pumpenleistungen des Heizsystems	(0,001...0,05) · $\dot{Q}_{Gebäude}^{13}$

Tabelle 16 „Hilfsgrößen zur Abschätzung des Hilfsenergiebedarfs eines Heiznetzes“

<sup>13</sup> Gebäudeheizlast nach DIN 4701 „Regeln für Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden“ Teil 1 bis Teil 3

Wird die Angabe des *Jahresbrennstoffverbrauches*  $B_a$  (in l/a oder m<sup>3</sup>/a) eines Gebäude benötigt, dann ist der Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung  $Q$  mit dem unteren Heizwert  $H_U$  des Brennstoffes zu multiplizieren.

$$B_a = Q \cdot H_U$$

Brennwerte verschiedener Brennstoffe können Tabelle 17 entnommen werden.

Brennstoff	Einheit	Heizwert $H_U$ in kWh/Einheit
Braunkohle Briketts	kg	5,34
Steinkohle, koks	kg	8,60
Heizöl EL	l	10,00
Heizöl S	kg	11,40
Erdgas H	m <sup>3</sup>	10,40

Tabelle 17 „Brennwerte verschiedener Brennstoffe“

Eine langfristige Umstellung auf den Bezugswert  $H_O$  wird empfohlen.

Der *Jahresprimärenergiebedarf*  $Q_P$  kann aus dem Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung  $Q$  sowie dem Hilfsenergiebedarf  $Q_{el}$  – und gegebenenfalls auch der elektrischen inneren Fremdwärme (Geräte, Beleuchtung) – bestimmt werden. Dabei wird jede der Energiemengen 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 Heizenergieanteile  $Q_1 \dots Q_n$  jedes Energieträgers notwendig. Nur dann kann eine korrekte primärenergetische Bewertung der Anlage erfolgen.

Übliche Primärenergiefaktoren werden in Tabelle 18 gegeben.<sup>14</sup>

Endenergieträger		Primärenergiefaktor $f_P$
Brennstoffe Bezugswert ist unterer Heizwert $H_U$	Heizöl EL	1,10
	Erdgas H	1,07
	Flüssiggas	1,06
	Steinkohle	1,07
	Braunkohle	1,20
	Brennholz	1,01
	Holz hackschnitzel	1,06
	Strommix	2,97
„Fernwärme“	70% KWK	0,71
Steinkohle-Kondensations-Kraftwerk=Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) plus Heizöl-Spitzenlastkessel	35% KWK	1,10
	0% KWK	1,49
	70% KWK	0,62
„Nahwärme“ Erdgas-BHKW=Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) plus Erdgas-Spitzenlastkessel	35% KWK	1,03
	0% KWK	1,43

Tabelle 18 „Übliche Primärenergiefaktoren“

<sup>14</sup> nach Fritsche/Leuchtner/Matthes/Rausch/Simon „Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme“ (GEMIS 3.0)

## 1.1.7 Übersicht der Ergebnisse

Zur Zusammenfassung der Ergebnisse bietet nachfolgende Tabelle grobe Übersichtswerte der Höhe und Zusammensetzung des spezifischen Jahresenergiebedarfs der Heizung und Warmwasserbereitung  $q = Q / A_{EB}$  je nach Gebäude- und Anlagenstandard.

Gebäude- und Anlagenstandard spezifische Energie in kWh/(m²a)	Standard vor 1977	Standard 1977 bis 1995	Standard WSchV 1995	Standard EnEV (Niedrigenergiehaus)	Passivhaus
$\eta (e_q)$ - Kessel <sup>15</sup>	0,75 (1,33)	0,85 (1,18)	0,87 (1,15)	0,90 (1,11)	0,80 (1,25)
$\eta (e_q)$ - Wärmepumpe	-	0,37 (2,7)	0,33 (3,0)	0,28 (3,5)	0,28 (3,5)
$q_T$	200...150	160...100	100...40	70...30	20...10
$q_V$	80...70	70...60	60...50	40...30	20
$\eta_F \cdot q_S$	32...20	27...17	25...16	22...15	16...10
$\eta_F \cdot q_I$	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>16</sup>	80...50	35...20	20...10	9...4	8...4
$q_H$	340...230	230...160	170...80	100...40	40...20
$q_w$	20...6	20...6	20...6	20...6	20...6
$q_{d,W}$	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>16</sup>	17...13	7...5	6...4	4...3	7...5
$q_W$	70...50	50...35	45...30	40...25	40...25
$q$	410...280	280...195	215...110	140...65	80...35

Tabelle 19 „Übersichtswerte der Höhe und Zusammensetzung des spezifischen Jahresenergiebedarfs q“

Die Werte ergeben sich nach folgenden Bilanzgleichungen für den spezifischen 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:  $q_W = q_w + q_{d,W} + q_{s,W} + q_{g,W}$  (spezifischer Jahres-Warmwasserenergiebedarf)

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

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

### Die Autoren

#### Dieter Wolff

Prof. Dr.- Ing.; Professor für Heizungs- und Regelungstechnik im Fachbereich Versorgungstechnik der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

#### Kati Jagnow

Dipl.-Ing. (FH); wissenschaftliche Mitarbeiterin am Trainings- und Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel e.V. und Promotionsstudentin an der Universität Dortmund

<sup>15</sup> bis 1977 Standardkessel, ab 1977 Niedertemperaturkessel

<sup>16</sup>  $q_g$  wurde mit der in der Tabelle genannten Kesselauflandzahl  $e_g$  ermittelt