

Energiepaß Heizung/Warmwasser

Energetische Qualität
von Baukörper und Heizungssystem

Tobias Loga
Ulrich Imkeller-Benjes

Sachbearbeitung: Rolf Born

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage
Darmstadt, März 1997

Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel.: 06151/2904-0

ISBN-Nr.: 3-932 074-05-X

Inhalt

Vorwort.....	1
A Rechenverfahren.....	11
1 Nutzenergie.....	12
1.1 Heizwärmebedarf.....	12
1.2 Warmwasserbedarf.....	20
2 Endenergie.....	21
2.1 Raumwärme.....	21
2.2 Warmwasser.....	31
2.3 Hilfsenergien.....	40
2.4 Endenergiekennwert Wärme	41
3 Umweltwirkung	42
3.1 Primärenergie	42
3.2 Kohlendioxid-Emissionen.....	43

Die Excel-Tabellen zum Energiepaß Heizung/Warmwasser sind beim Institut Wohnen und Umwelt direkt zu beziehen.

Vorwort

Nur durch Umsetzung eines Bündels von ordnungs-, förder- und bildungspolitischen Maßnahmen kann es gelingen, den Verbrauch an fossilen Energieträgern und damit die Emissionen von Luftschadstoffen und treibhauswirksamen Gasen wirksam zu reduzieren. Neben der Einführung einer Energiesteuer oder CO₂-Abgabe, Förderprogrammen von Bund, Ländern und Kommunen, neuen Regelungen zur steuerlichen Abschreibung und nicht zuletzt einer flächendeckenden Energieberatung stellt die Kennzeichnung der energetischen Qualität von Gebäuden einen wichtigen Baustein zur Reduktion des Heizenergieverbrauchs dar [Ebel et al. 1995]. Einen Vorschlag für einen derartigen Qualitätsnachweis liefert der vorliegende „Energiepaß Heizung/Warmwasser“.

Der Einführung eines Gebäude-Energiepasses kommt eine vergleichbare Bedeutung zu wie der bereits bestehenden Kennzeichnungspflicht von Haushaltsgeräten bezüglich ihres Energieverbrauchs. Bisher übliche Werbeslogans der Anbieter von Neubauten wie "Energiesparhaus", "Solarhaus", "Niedrigenergiehaus" müssen mit dem Energiepaß quantitativ belegt werden. Der Bauherr oder Käufer kann sich damit für das objektiv bessere Produkt entscheiden. Bauträger und Architekten werden durch die entstehende Wettbewerbssituation angespornt, die energetische Qualität des Hauses tatsächlich zu verbessern und nicht auf das Anbringen von sichtbaren "Öko-Komponenten" (Solaranlage, Wintergarten, Wärmepumpe etc.) zu beschränken.

Wann der Gesetzgeber die Erstellung eines Energiepasses für Gebäude und Heizungssystem bundesweit zur Pflicht macht, ist z.Zt. nicht abzusehen. Der Paß kann jedoch auch heute schon von Kommunen und Ländern für öffentlich finanzierte oder geförderte Neubauten verlangt werden (staatlicher Hochbau, sozialer Wohnungsbau, Verkauf kommunalen Baulands, etc.).

Steht für einen Altbau eine Sanierung an, so stellt die Erstellung eines Energiepasses den ersten Schritt in Richtung energetischer Verbesserung dar. Im Rahmen einer Energieberatung können die Vorzüge einer Wärmeschutzmaßnahme oder einer Heizungserneuerung herausgestellt und quantitativ belegt werden. Nach der energetischen Sanierung macht der Energiepass die Aufwertung des Gebäudes gegenüber Käufern bzw. Mietern transparent.

Wenn der Energiepaß in eine Gebäudetypologie eingebunden wird, ist die energetische Bewertung auch typweise möglich [Ebel et al. 1995]. Innerhalb einer Energie-Kurzberatung können die durch Maßnahmen erzielbaren Energieeinsparungen ohne Berechnung für das konkrete Objekt anhand eines Bauteilkatalogs standardisiert abgeschätzt werden.

Der "Energiepaß Heizung/Warmwasser" und der "Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung - Heizenergie im Hochbau"

Die im folgenden dargestellte Kalkulationsmethode für die Erstellung des „Energiepasses Heizung/Warmwasser“ basiert auf dem Kurzverfahren des "Leitfadens Energiebewußte Gebäudeplanung" [LEG]/[Ebel 1991] sowie einer Studie zu tabellierten Heizzahlen [Imkeller 1993]. Der LEG wurde 1989 im Auftrag des Hessischen Umweltministeriums entwickelt. Als Grundlage diente die Empfehlung SIA 380/1 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins, die in der Schweiz schon seit mehr als 10 Jahren erfolgreich eingesetzt wird. Er beinhaltet neben der Gebäude-Energiebilanz auch eine Effizienzbetrachtung für das Heizungssystem.

Das Verfahren wurde inzwischen verschiedenen Richtlinien hessischer Ministerien zugrundegelegt (Nachweis erhöhter Anforderungen für Bauten des Landes und für den sozialen Wohnungsbau), findet aber auch zunehmend in anderen Bundesländern (Schleswig-Holstein, Brandenburg), in Landkreisen, Städten und Gemeinden (Frankfurt/M., Freiburg i.Br., Fulda, Geisenheim, Goslar etc.) sowie bei Architekten-Wettbewerben Anwendung. Es ist in Methode und Ergebnissen weitgehend kompatibel zum Entwurf der europäischen Norm DIN EN 832 [EN 832] [Imkeller/Loga 1996]. Die auf dem LEG basierenden Vorschriften und Richtlinien werden durch den im folgenden dargestellten Energiepaß *nicht* automatisch ersetzt.

Die Methodik des "Energiepasses Heizung/Warmwasser"

Methodisch neu an dem nachfolgend dargestellten Bilanzverfahren ist vor allem der allgemeinere Ansatz zur Bewertung von Heizsystemen. Während im LEG bisher allein die Bilanzierung von Warmwasser-Zentralheizungen möglich war, können nun alle verbreiteten Heizsysteme - und folglich auch neben Heizöl und Erdgas weitere Energieträger - betrachtet werden. Da Endenergie-Kennwerte unterschiedlicher Energieträger weder ökologisch noch ökonomisch vergleichbar sind, kann die Ausweisung von Energiekennwerten nicht mehr wie bisher auf der Endenergieebene erfolgen. Die den eingesetzten Energieträgern vorgelagerten Prozeßketten werden gemäß dem Ansatz von [GEMIS] in die Betrachtung mit einbezogen - die Bewertung des Gesamtsystems (Gebäude + Heizungstechnik) erfolgt auf der Ebene der Primärenergie (d.h. der in den Energierohstoffen enthaltenen physikalisch oder chemisch gewinnbaren Energie). Folgende Effizienzmaße werden für Teil- und Gesamtsystem verwendet:

- Die geeignete Größe zur Beurteilung der energetischen Qualität des *Baukörpers* einschließlich Luftaustausch ist der „**Energiekennwert Heizwärme**“ - also der auf die beheizte Wohn- bzw. Nutzfläche bezogene Heizwärmebedarf. Der Heizwärmebedarf beschreibt die für die Raumheizung erforderliche Nutzwärme und errechnet sich aus der Summe von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten abzüglich der nutzbaren solaren und inneren Gewinne.
- Die energetische Qualität des *Heizsystems* wird durch die „**Primärenergie-Heizzahl**“ charakterisiert. Sie wird gebildet aus dem Verhältnis von Nutzwärme (für Raumheizung und Warmwasser) zum erforderlichen Primärenergieaufwand. Neben der direkt für die Wärmeerzeugung eingesetzten Energie wird auch der Stromverbrauch für Hilfsgeräte (Pumpen, Lüfter, Regelung etc.) mit einbezogen.
- Durch Berechnung des Primärenergiebedarfs pro m² Wohn- bzw. Nutzfläche, des „**Primärenergie-Kennwerts**“, erfolgt die Beurteilung des Gebäudes in seiner *Gesamtheit*. Der Primärenergiebedarf ist ein Maß für den Aufwand an endlichen Energieressourcen zur Erbringung der Energiedienstleistungen "Raumwärme" und "Warmwasser".
- Schließlich erlaubt die Berechnung von **CO₂-Emissionen pro m² Wohnfläche** eine Einschätzung des Beitrags zum Treibhauseffekt. Über Kohlendioxid hinaus werden im Emissionskennwert weitere klimawirksame Spurengase einbezogen (Angabe in „CO₂-Äquivalenten“).

Der Niedrigenergiestandard wird für Wohngebäude bei Unterschreitung folgender Kennwerte erreicht:

	freistehende Einfamilienhäuser	Doppelhäuser, Reihenhäuser	Mehrfamilienhäuser
Energiekennwert Heizwärme $= \frac{\text{Heizwärmebedarf}}{\text{Energiebezugsfläche}}$	$\leq 70 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$	$\leq 65 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$	$\leq 55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$
Primärenergie-Heizzahl $= \frac{\text{nutzbare Wärme}}{\text{Primärenergieaufwand}}$	$\geq 0,75$		

Rechnerischer Wärmebedarf und gemessener Verbrauch

Die im Energiepaß ausgewiesenen Kennwerte liefern ein Maß für die energetische Gebäudequalität unter "*Norm-Test-Bedingungen*". Da beim Ansatz der Nutzungsbedingungen von einer Beheizung der *gesamten* Wohn- bzw. Nutzfläche ausgegangen wird, können - insbesondere bei in der Praxis oft nur teilweise beheizten Altbauten - größere Abweichungen zu gemessenen Verbrauchswerten auftreten. Bei der Erstellung eines Energiepasses für Altbauten sollte der Gebäudeeigentümer bzw. -nutzer explizit auf die Ursache einer solchen Abweichung (mittlere Raumtemperatur, Luftwechsel) hingewiesen werden.

Im Rahmen der Projektierung von Neubauten oder einer Energieberatung für Altbauten können die Nutzungs- und Klimabedingungen den gegebenen Verhältnissen angepaßt werden. **Für die Erstellung des Energiepasses sind jedoch die angegebenen Standardwerte zu verwenden.** Eine Abweichung von den Standardwerten ist im Einzelfall zu begründen und durch eine genauere Berechnung quantitativ zu belegen.

Warum reicht der in der Wärmeschutzverordnung verankerte "Wärmebedarfsausweis" nicht aus?

Die zum 1.1.1995 bundesweit in Kraft getretene 3. Wärmeschutzverordnung stellt nur im Ansatz ein Energiepaß-Verfahren dar. Oberflächlich betrachtet ähnelt die Methode dem in dieser Broschüre dargestellten Verfahren zur Berechnung des Heizwärmebedarfs. Sie weist im Detail jedoch erhebliche Schwächen auf, die die eigentliche Zielsetzung der Einführung eines Energiekennwertverfahrens konterkarieren. Dies betrifft sowohl die Bilanzierungsmethode als auch die Ansätze für die Nutzungsbedingungen (zu kleiner Teilbeheizungsfaktor, Reduktion Wärmeverluste Dach, hoher Luftwechsel, hohe interne Wärmequellen, konstante Nutzbarkeit für inneres und solares Wärmeangebot, siehe [Feist 1994-2]).

Die Mängel des Verfahrens der neuen Wärmeschutzverordnung führen - vor allem wegen der neu definierten „Gebäudenutzfläche“ - zu unrealistisch niedrigen Energiekennwerten (im Durchschnitt ca. 25% zu niedrig! [VDI 1996], [Imkeller/Loga 1996]). Beim künftigen Gebäudenutzer werden damit Erwartungen geweckt, die durch den tatsächlichen Verbrauch nicht erfüllt werden. Zu befürchten ist, daß in der Öffentlichkeit als Grund für diese Diskrepanz nicht die Rechenmethode sondern die Wirksamkeit der Wärmeschutzmaßnahmen gesehen wird. Nicht weniger schwerwiegend ist die Gefahr, daß die Mängel des Verfahrens im Planungsprozeß zu Fehloptimierungen führen.

Zudem ist eine Bewertung des Heizungssystems sowie des Primärenergieaufwands oder der CO₂-Emissionen nicht vorgesehen.

Gliederung der vorliegenden Dokumentation

Im Teil A der vorliegenden Dokumentation wird der Berechnungsgang zur Bestimmung der genannten Kennwerte dargestellt. Abschnitt 1 behandelt die energetische Bilanzierung des Baukörpers und die Bestimmung des Energiekennwerts Heizwärme, Abschnitt 2 die Bilanzierung des Heizungssystems und Abschnitt 3 die Bestimmung von Primärenergie-Heizzahl und CO₂-Emissionen. Teil B liefert die für die Kalkulation erforderlichen Handrechenblätter, Teil C und D je ein Berechnungsbeispiel für ein Reihenhaus in Niedrigenergiebauweise und ein Einfamilienhaus aus dem Gebäudebestand.

Die im Anhang dargestellten Handrechenblätter stehen auch in Form von EXCEL-Kalkulationsblättern zur Verfügung.

Darmstadt, im März 1997

Verwendete Formelzeichen

Energiebilanz Baukörper

A_{EB}	Energiebezugsfläche [m ²] = Summe aller Wohn- bzw. Nutzflächen eines Gebäudes, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist. Die beheizte Wohnfläche berechnet sich nach der 2. Berechnungsverordnung (ohne Balkone und Wintergärten), die beheizte Nutzfläche von Zweckbauten nach der DIN 277, Teil 2.
$A_{EB/P}$	Wohnfläche pro Person [m ² /P]
A_i	Fläche des Bauteils i [m ²]
$A_{F,i}$	Fensterfläche mit Orientierung i (Rohbaumaße) [m ²]
f_{Abs}	Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenendabsenkung [-]
f_i	Reduktionsfaktor Transmissionswärmeverluste des Bauteils i [-]
G_i	Globalstrahlung während der Heizzeit auf eine Fläche mit Orientierung i [kWh/(m ² a)]
$g_{senkr,i}$	Gesamtenergiedurchlaßgrad der Verglasung (für Globalstrahlung bei senkrechter Einstrahlung) [-]
k_i	k-Wert des Bauteils i [W/(m ² K)]
n	energetisch wirksamer Luftwechsel [1/h]
n_{Anlage}	durch die Lüftungsanlage erbrachter mittlerer Luftwechsel [h ⁻¹]
n_{Rest}	Restluftwechsel durch Undichtigkeiten und (unvermeidliches) Öffnen von Türen [h ⁻¹]
Q_F	Freie Wärme [kWh/a]
Q_G	nutzbare Wärmegewinne [kWh/a]
Q_H	Heizwärmebedarf (Nutzenergiebedarf Raumwärme) [kWh/a]
Q_I	innere Wärmequellen [kWh/a]
Q_L	Lüftungswärmeverluste [kWh/a]
Q_S	solaren Einstrahlung [kWh/a]
Q_T	Transmissionswärmeverluste [kWh/a]
Q_V	Gesamte Wärmeverluste [kWh/a]
$Q_{W/P}$	jährlicher Warmwasserbedarf pro Person [kWh/(P·a)]
q_W	jährlicher Warmwasserbedarf pro m ² Energiebezugsfläche [kWh/(m ² a)]
Φ_T	Wärmeabgabe-Leistung innerer Wärmequellen in der Heizzeit pro m ² Energiebezugsfläche [W/m ²]
r_i	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Minderung der solaren Strahlung durch das Fenster
r_{Rahmen}	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung des nicht-transparenten Anteils der Fensterflächen.
$r_{Schatten}$	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Beschattung durch Nachbargebäude, Bäume, auskragende Bauteile etc.
$r_{Schmutz}$	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung
$r_{nicht-senkr}$	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der verminderten Transmission bei nicht-senkrechtem Strahlungseinfall
t_h	Länge der Heizzeit [d/a]
V_L	Luftvolumen Gebäude [m ³]
η_F	Anteil der Freien Wärme, der für die Raumheizung genutzt werden kann [kWh/a]
η_{WRG}	Wärmerückgewinnungsgrad der kontrollierten Lüftung
Θ	Gradstunden [kKh/a] (= 0,024 · Gradtagszahl nach VDI 3807)

Energiebilanz Heizungssystem

E	jährlicher Endenergiebedarf allgemein (bei Brennstoffen der untere Heizwert H_u) [kWh/a]
E_H	jährlicher Endenergiebedarf Raumheizung (bei Brennstoffen der untere Heizwert H_u) [kWh/a]
E_W	jährlicher Endenergiebedarf Warmwasserbereitung (bei Brennstoffen der untere Heizwert H_u) [kWh/a]
E_{H+W}	jährlicher Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser [kWh/a]
E_S	Strombedarf elektrische Hilfsgeräte
E_{SE}	Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung
E_{SH}	Strombedarf Hilfsgeräte Raumheizung (Umwälzpumpe, Brenner, Regelung)
E_{SL}	Strombedarf kontrollierte Lüftung
E_{SW}	Strombedarf Hilfsgeräte Warmwasser (Zirkulationspumpe, Speicherladepumpe, Solarkreispumpe, Regelung)
e_{H+W}	Endenergiekennwert Wärme (Heizung und Warmwasser) [kWh/a]
L_H	Länge der Verteilungen des Raumheizungssystems im unbeheizten Bereich (Vor- + Rücklauf) [m]
L_Z	Länge der Zirkulations- und Förderleitungen der Warmwasserbereitung (Vor- + Rücklauf) [m]
L_U	Länge der Einzelleitungen (Zapfleitungen) der Warmwasserbereitung [m]
ρ	Primärenergiefaktor für einen Energieträger [$\text{kWh}_{\text{Prim}} / \text{kWh}_{\text{End}}$]
Q	jährlicher Nutzwärmebedarf allgemein [kWh/a]
Q_H	jährlicher Heizwärmebedarf [kWh/a]
Q_{HL}	jährliche Wärmeverluste der Heizungsverteilung [kWh/a]
Q_P	jährlicher Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser [kWh/a]
Q_W	jährlicher Nutzenergiebedarf Warmwasser [kWh/a]
Q_{WL}	jährliche Wärmeverluste Wärmeverteilung und -speicherung Warmwasser [kWh/a]
q_{HL}	jährlicher Wärmeverlust pro m Rohrlänge [$\text{kWh}/(\text{m} \cdot \text{a})$]
q_P	Primärenergie-Kennwert [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]
Φ_{WZ}	Wärmeverlustleistung Zirkulations- und Förderleitungen [W]
Φ_{WU}	Wärmeverlustleistung Einzelleitungen [W]
Φ_{WS}	Wärmeverlustleistung zentraler Speicher [W]
Φ_U	Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge [W/m]
Φ_Z	Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge [W/m]
s_H	solarer Deckungsgrad Raumheizung
s_W	solarer Deckungsgrad Warmwasserbereitung
t_{WL}	Betriebszeit der zentralen Warmwasserbereitung [d/a]
u_{CO_2}	Emissionskennwert CO_2 -Äquivalent [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]
U_{CO_2}	jährliche Emissionen CO_2 -Äquivalent [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]
x_{CO_2}	Emissionsfaktor CO_2 -Äquivalent

η_a	Nutzungsgrad des Heizsystems allgemein [-]
$\eta_{a,H}$	Jahresnutzungsgrad des Raumheizungssystems [-]
$\eta_{a,HE}$	Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeugung für das Raumheizungssystem [-]
$\eta_{a,HL}$	Jahresnutzungsgrad der Wärmeverteilung für das Raumheizungssystem [-]
$\eta_{a,P}$	Primärenergie-Heizzahl [-]
$\eta_{a,W}$	Nutzungsgrad des Systems zur Warmwasserbereitung [-]
$\eta_{a,WL}$	Nutzungsgrad Wärmeverteilung und -speicherung Warmwasser [-]
$\eta_{a,WE}$	Nutzungsgrad Wärmeerzeugung Warmwasser [-]
$\eta_{t,WL}$	Nutzungsgrad Wärmeverteilung und -speicherung Warmwasser über den Zeitraum t [-]
$\eta_{t,WE}$	Nutzungsgrad Wärmeerzeugung Warmwasser über den Zeitraum t [-]
$\eta_{a,th}$	thermischer Jahresnutzungsgrad einer Heizkraftanlage (Verhältnis Nutzwärmemenge zu Brennstoffeinsatz in H_u) [-]
$\eta_{a,WÜ}$	Jahresnutzungsgrad einer Fernwärme-Übergabestation [-]
β	Jahresarbeitszahl einer elektrischen Wärmepumpe nach VDI 2067, Teil 7 (Verhältnis Nutzwärmebedarf zu Strombedarf) [-]
ζ	Jahresheizzahl einer Brennstoff-betriebenen Wärmepumpe nach VDI 2067, Teil 7 (Verhältnis Nutzwärmebedarf zu Brennstoffbedarf in H_u) [-]
σ	Stromkennzahl einer Heizkraftanlage (Verhältnis Stromproduktion zu Nutzwärmemenge)

A Rechenverfahren

1 Nutzenergie

1.1 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf Q_H (Nutzenergiebedarf Raumwärme) ergibt sich aus den rechnerischen Wärmeverlusten des Gebäudes, abzüglich im Gebäude anfallender und als Heizwärmebeitrag nutzbarer Gewinne:

$$Q_H = Q_V - Q_G \quad [kWh/a] \quad (1-1)$$

Q_V Wärmeverluste [kWh/a]
 Q_G nutzbare Wärmegewinne [kWh/a]

1.1.1 Wärmeverluste

Die Wärmeverluste eines Gebäudes Q_V entstehen durch Wärmeleitung durch die Hüllflächen (Transmissionswärmeverluste) sowie durch Luftaustausch mit der Außenluft (Lüftungswärmeverluste):

$$Q_V = Q_T + Q_L \quad [kWh/a] \quad (1-2)$$

Q_T Transmissionswärmeverluste [kWh/a]
 Q_L Lüftungswärmeverluste [kWh/a]

Transmissionswärmeverluste

Die Transmissionswärmeverluste Q_T berechnen sich wie folgt:

$$Q_T = \left(\sum_i f_i \cdot k_i \cdot A_i \right) \cdot \Theta \quad [kWh/a] \quad (1-3)$$

f_i Reduktionsfaktor
 k_i k-Wert des Bauteils i [W/(m²K)]
 A_i Fläche des Bauteils i (Außenmaß) [m²]
 Θ Gradstunden [kKh/a] (= 0,024 * Gradtage)

Der Reduktionsfaktor f_i ist gleich

- 1,0 für alle Bauteile, die an Außenluft oder einen nach außen ständig belüfteten Bereich (Dachboden, hinterlüftete Konstruktionen etc.) grenzen,
- 0,5 für alle Bauteile, die an einen Kellerraum, das Erdreich oder eine andere unbeheizte, jedoch gut gegen Außenluft isolierte Gebäudezone grenzen.

Für die Ermittlung der Hüllflächen werden Bauteilaußenmaße verwendet.

Fenster

Für Fenster werden generell die k-Werte des Gesamtfensters (also Rahmen + Verglasung) verwendet. Für gängige Fenstergrößen, Verglasungstypen und Rahmenklassen sind Fenster-k-Werte in Tab. 1-2 angegeben. Die Definition der verwendeten Verglasungstypen zeigt Tab. 1-1.

Die Wärmeverluste und -gewinne von Glasvorbauten („Wintergärten“) können mit Hilfe des in DIN EN 832 angegebenen Verfahrens berücksichtigt werden.

Tab. 1-1

k- und g-Werte von Verglasungen			
Verglasungstyp	Abkürzung	k-Wert Verglasung k_v [W/(m ² K)]	Gesamtenergiedurchlaßgrad für senkrechte Einstr. $g_{\text{senkr.}}$ [-]
Einfach-Verglasung	EV	5,8	0,86
Zweischeiben-Isolierglas / Doppelverglasung	2 IV / DV	3,0	0,76
Dreischeiben-Isolierglas	3 IV / EV+2 IV	2,1	0,69
Zweischeiben-Wärmeschutz-Verglasung	2 IV-IR-Ar	1,3	0,63
Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasung	3 IV-2 IR-Kr	0,7	0,49

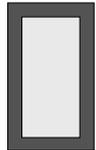
IR, 2 IR: selektive Beschichtung (niedrige IR-Emissivität) auf einer bzw. zwei Scheiben
 Ar, Kr: Füllung des Scheibenzwischenraums mit Argon bzw. Krypton

Wärmebrücken

Verluste über geometrische Wärmebrücken sind in der Regel bereits in den berechneten Transmissionswärmeverlusten enthalten.¹ Weist das Bauwerk gravierende konstruktive Wärmebrücken auf, so müssen diese in der Berechnung mitberücksichtigt werden. Analog zu den Außenflächen werden lineare Wärmebrücken berechnet aus dem Produkt des Wärmebrückenverlustkoeffizienten k_i^* in [W/(m·K)] und der Länge der Wärmebrücke L_i in [m]. Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten können aus einem Wärmebrückenkatalog entnommen werden (auf Außenmaß bezogene Wärmebrückenverlustkoeffizienten verwenden!).

Tab. 1-2

¹ Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten von geometrischen Wärmebrücken sind bei Bezug auf Außenmaße i.a. negativ. Die Verluste werden durch das Rechenverfahren daher in der Regel überschätzt.

k-Werte und Glas-Flächenanteile von Fenstern				
	große Fenster und Fenstertüren	mittlere Fenster	kleine Fenster	Sprossenfenster
				
Fensterfläche	von bis 2,0 m ² 4,0 m ²	von bis 1,0 m ² 2,0 m ²	von bis 0,3 m ² 1,0 m ²	von bis 0,5 m ² 3,0 m ²
"Super-Rahmen" mit $k_R \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				
Glasanteil der Fensterfläche	0,65	0,52	0,33	0,38
Verglasungstyp	k-Wert des Fensters in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			
3 IV-2 IR-Kr ($k_V=0,7$)	0,74	0,75	0,77	0,76
"Niedrigenergie-Rahmen" Holz oder Kunststoff oder anderes Material mit $k_R \leq 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				
Glasanteil der Fensterfläche	0,68	0,57	0,39	0,44
Verglasungstyp	k-Wert des Fensters in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			
2 IV-IR-Ar ($k_V=1,3$)	1,33	1,34	1,36	1,36
3 IV-2 IR-Kr ($k_V=0,7$)	0,92	1,00	1,12	1,10
Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4: Holz oder Kunststoff oder anderes Material mit $k_R \leq 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				
Glasanteil der Fensterfläche	0,68	0,57	0,39	0,44
Verglasungstyp	k-Wert des Fensters in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			
EV ($k_V=5,8$)	4,60	4,17	3,50	3,65
2 IV / DV ($k_V=3,0$)	2,68	2,57	2,39	2,44
2 IV-IR-Ar ($k_V=1,3$)	1,52	1,60	1,72	1,70
3 IV-2 IR-Kr ($k_V=0,7$)	1,11	1,26	1,49	1,43
Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4: wärmedämmte Metall- oder Betonprofile mit $2,0 < k_R \leq 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				
Glasanteil der Fensterfläche	0,74	0,65	0,49	0,53
Verglasungstyp	k-Wert des Fensters in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			
EV ($k_V=5,8$)	5,03	4,74	4,28	4,39
2 IV / DV ($k_V=3,0$)	2,95	2,93	2,90	2,91
2 IV-IR-Ar ($k_V=1,3$)	1,69	1,83	2,06	2,01
3 IV-2 IR-Kr ($k_V=0,7$)	1,24	1,44	1,76	1,69
Rahmenmaterial der Gruppe 2.2 nach DIN 4108 Teil 4: wärmedämmte Metall- oder Betonprofile mit $2,8 < k_R \leq 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				
Glasanteil der Fensterfläche	0,74	0,65	0,49	0,53
Verglasungstyp	k-Wert des Fensters in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			
EV ($k_V=5,8$)	5,21	4,99	4,63	4,72
2 IV / DV ($k_V=3,0$)	3,13	3,18	3,25	3,24
2 IV-IR-Ar ($k_V=1,3$)	1,87	2,08	2,41	2,33
3 IV-2 IR-Kr ($k_V=0,7$)	1,42	1,69	2,12	2,02
Rahmenmaterial der Gruppe 2.3 nach DIN 4108 Teil 4: Beton, Stahl oder Aluminium mit $k_R > 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				
Glasanteil der Fensterfläche	0,78	0,70	0,57	0,60
Verglasungstyp	k-Wert des Fensters in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			
EV ($k_V=5,8$)	5,63	5,56	5,45	5,48
2 IV / DV ($k_V=3,0$)	3,44	3,60	3,87	3,80
2 IV-IR-Ar ($k_V=1,3$)	2,11	2,41	2,91	2,79
3 IV-2 IR-Kr ($k_V=0,7$)	1,64	1,99	2,57	2,43
Die der Berechnung des Gesamt-Fenster-k-Wertes zugrundeliegenden Rahmen-k-Werte entsprechen der jeweils angegebenen Obergrenze der Klasse.				

Lüftungswärmeverluste

Die Lüftungswärmeverluste berechnen sich im Falle der freien Lüftung (Fenster und Fugen) aus:

$$Q_L = 0,34 \cdot n \cdot V_L \cdot \Theta \quad [\text{kWh/a}] \quad (1-4)$$

n energetisch wirksamer Luftwechsel [1/h]

V_L Luftvolumen Gebäude [m³]

Das Luftvolumen V_L ist das Produkt aus Energiebezugsfläche und mittlerer (lichter) Raumhöhe. Da der hygienisch begründete Frischluftbedarf eher von der Wohn- bzw. Nutzfläche als von dem vorliegenden Raumluftvolumen abhängt, kann als Standardwert für die lichte Raumhöhe 2,5 m verwendet werden.

Wird eine mechanische Lüftungsanlage eingesetzt, berechnet sich der energetische Luftwechsel wie folgt:

$$n = (1 - \eta_{WRG}) \cdot n_{Anlage} + n_{Rest} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (1-5)$$

η_{WRG} Wärmerückgewinnungsgrad

n_{Anlage} durch die Anlage erbrachter mittlerer Luftwechsel [h⁻¹]

n_{Rest} Restluftwechsel durch Undichtigkeiten und (unvermeidliches) Öffnen von Türen [h⁻¹]

Die Werte für den natürlichen und mechanischen Luftwechsel können Tab. 1-3, die Werte für den Restluftwechsel Tab. 1-4 entnommen werden. Für eine genauere Berechnung des Restluftwechsels bei vorliegendem n_{50} -Meßwert kann das entsprechende Verfahren der DIN EN 832 herangezogen werden.

Tab. 1-3

Zeitliches Mittel für Luftwechsel in der Heizzeit in 1/h						
		Wohnen	Heime	Verwaltung ¹	Schule ²	andere
natürlicher Luftwechsel (Fenster + Fugen)	n	0,6	0,6	0,43 ³	0,37 ³	genauere Berechnung
mechanischer Luftwechsel	n_{Anlage}	0,4	0,4	0,23 ⁴	0,17 ⁴	genauere Berechnung

¹) Nutzungszeit: 69% der Heizzeit

³) während Nutzung 1,0 h⁻¹; außerhalb 0,2 h⁻¹

²) Nutzungszeit: 52% der Heizzeit

⁴) während Nutzung 0,8 h⁻¹; außerhalb 0,0 h⁻¹

Tab. 1-4

Restluftwechsel n_{Rest} durch Undichtigkeiten in 1/h	
ohne Drucktest	0,2
mit bestandenem Drucktest* <i>Anforderung Drucktest bei 50 Pa Differenzdruck</i>	0,1 $n_{50} \leq 1$

*) oder Gewährleistung durch Qualitätssicherung

Gradstunden

Für die Gradstunden² Θ und die Länge der Heizzeit t_H werden pauschal die in Tab. 1-5 angegebenen Werte angesetzt. Bei genauerer Berechnung kann auch der für das lokale Klima relevante Wert verwendet werden.

Tab. 1-5

Temperaturdaten*		
Gradstunden Θ	[kKh/a]	84
Länge Heizzeit t_H	[d/a]	225

*) für eine Heizgrenze von 12°C und eine mittlere Raumtemperatur von 20°C

Für von 20°C abweichende Innentemperaturen ϑ_i können die Gradstunden korrigiert werden - solange die Raumtemperatur größer als die Heizgrenztemperatur (12°C) ist:

$$\Theta(\vartheta_i) = \Theta(20^\circ C) + 5400 \text{ h/a} \cdot (\vartheta_i - 20^\circ C)$$

Nacht- und Wochenendabsenkung

Soll eine Nacht- oder (bei Verwaltungsgebäuden) eine Wochenendabsenkung durchgeführt werden, so hängt der Einspareffekt davon ab, wie schnell die Temperatur im Gebäude absinkt. Je geringer die Wärmeverluste eines Gebäudes, desto langsamer geht die Temperatur zurück - entsprechend geringer ist der Einspareffekt. Auch eine höhere thermische Speicherkapazität reduziert die mögliche Energieeinsparung. Dies wird allerdings teilweise durch eine bessere Nutzbarkeit des solaren und inneren Wärmeangebots kompensiert. Bei Absenkbetrieb wird Gleichung (1-2) entsprechend modifiziert:

$$Q_V = (Q_T + Q_L) \cdot f_{Abs} \quad [\text{kWh/a}] \quad (1-2a)$$

f_{Abs} Reduktionsfaktor Nacht- Wochenendabsenkung

Die in Tab. 1-6 für Nachtabsenkung und Tab. 1-7 für kombinierte Nacht- und Wochenendabsenkung angegebenen Korrekturfaktoren wurden durch dynamische Simulation ermittelt [Kahlert/Laidig/Lude 1994]. Der Korrekturfaktor bewirkt im Prinzip eine Reduktion der Gradstunden Θ . Beispielsweise reduziert ein Korrekturfaktor 0,95 bei den verwendeten Klimadaten das Tagesmittel der Raumlufttemperatur von 20°C auf 19,2°C. Der in der Tabelle angegebene spezifische Wärmeleitwert berechnet sich wie folgt:

$$\text{spezifischer Wärmeleitwert} = \frac{Q_V}{\Theta \cdot A_{EB}} \quad [\text{W} / (\text{m}^2 \text{K})]$$

Vielfach werden bei Wohnungs-Neubau-Projekten höhere Tagestemperaturen als 20°C angetroffen, was die durch Nachtabsenkung erzielbare Energieeinsparung wieder reduziert. Für das Nachweisverfahren im

² Die üblicherweise in der Einheit Kd/a angegebenen Gradtage rechnen sich mit 1 d = 24 h und k = 1000 um in Gradstunden: 1 kKh/a = 0,024 Kd/a.

Wohnungsneubau wird daher die Verwendung des Faktors 1 vorgeschrieben. Damit wird das Verfahren vereinfacht und das Ergebnis realistischer.

Tab. 1-6

Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nachtabsenkung*					
	spezif. Heizlast** [W/m ²]	spezif. Wärmeleitwert** [W/(m ² K)]	spezif. Wärmespeicherfähigkeit** [Wh/(m ² K)]		
			50	100	150
			Bauweise***		
			leicht	mittel	schwer
Altbau	100	3,3	0,90	0,92	0,93
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,92	0,94	0,95
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,93	0,95	0,96
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,95	0,96	0,97

*) Nachtabsenkung 8 h, Nacht-Solltemperatur 15°C / Zwischenwerte können interpoliert werden

***) pro m² Energiebezugsfläche

***) Bauweise (betr. Bauelemente Außen-, Innenwände, Geschoßdecken, Dach):

"leicht": ausschließlich Leichtbauteile; "schwer": ausschließlich massive Bauteile

Tab. 1-7

Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nacht- und Wochenendabsenkung*					
	spezif. Heizlast** [W/m ²]	spezif. Wärmeleitwert** [W/(m ² K)]	spezif. Wärmespeicherfähigkeit** [Wh/(m ² K)]		
			50	100	150
			Bauweise***		
			leicht	mittel	schwer
Altbau	100	3,3	0,79	0,82	0,84
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,82	0,84	0,85
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,83	0,85	0,86
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,86	0,89	0,92

*) Nachtabsenkung 12 h, Wochenendabsenkung 60 h, Nacht/Wochenend-Solltemperatur 15°C
 Zwischenwerte können interpoliert werden

***) pro m² Energiebezugsfläche

***) Bauweise (betr. Bauelemente Außen-, Innenwände, Geschoßdecken, Dach):

"leicht": ausschließlich Leichtbauteile; "schwer": ausschließlich massive Bauteile

1.1.2 Wärmegewinne

Der als Heizwärmebeitrag nutzbare Wärmegewinn Q_G ist der nutzbare Anteil η_F der Freien Wärme Q_F

$$Q_G = \eta_F \cdot Q_F \quad [\text{kWh/a}] \quad (1-6)$$

Die Freie Wärme setzt sich zusammen aus den inneren Wärmequellen Q_I und der solaren Einstrahlung Q_S , jeweils während der Heizzeit:

$$Q_F = Q_S + Q_I \quad [\text{kWh/a}] \quad (1-7)$$

Der Ausnutzungsgrad Freie Wärme η_F beschreibt den Anteil der Freien Wärme, der für die Raumheizung genutzt werden kann. Er ist abhängig vom Verhältnis des Angebots an Freier Wärme zu den Wärmeverlusten des Gebäudes (vgl. [SIA 380/1], [LEG]):

$$\eta_F = 1 - 0,3 \cdot \frac{Q_F}{Q_V} \quad (1-8)$$

Solarstrahlung

Die Solarstrahlung wird wie folgt berechnet:

$$Q_S = r_i \cdot g_{\text{senkr},i} \cdot \sum_i G_i \cdot A_{F,i} \quad [\text{kWh/a}] \quad (1-9)$$

$$r_i = r_{\text{Rahmen}} \cdot r_{\text{Schatten}} \cdot r_{\text{Schmutz}} \cdot r_{\text{nicht-senkr}}$$

- G_i Globalstrahlung während der Heitztage auf eine Fläche mit Orientierung i [kWh/(m²a)]
- $A_{F,i}$ Fensterfläche mit Orientierung i (Rohbaumaße) [m²]
- $g_{\text{senkr},i}$ Gesamtenergiedurchlaßgrad der Verglasung (für Globalstrahlung bei senkrechter Einstrahlung)
- r_i Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Minderung der solaren Strahlung durch das Fenster;
Standardwert: 0,36 (bei unverschatteter Lage: 0,48 - Nachweis mit Lageplan)
- r_{Rahmen} Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung des nicht-transparenten Anteils der Fensterflächen;
Standardwert: 0,70
- r_{Schatten} Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Beschattung durch Nachbargebäude, Bäume, auskragende Bauteile etc.; **Standardwert: 0,63** (bei unverschatteter Lage: 0,84 - Nachweis mit Lageplan)
- r_{Schmutz} Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung; **Standardwert: 0,95**
- $r_{\text{nicht-senkr}}$ Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der verminderten Transmission bei nicht-senkrechttem Strahlungseinfall; **Standardwert: 0,85**

Der Reduktionsfaktor r berücksichtigt den Rahmenanteil der Fenster, mögliche Beschattungen und Verschmutzungen sowie den nicht-senkrechten Strahlungsdurchgang. Als Standardwert für r wird 0,36 verwendet. Hiervon abweichende Werte müssen gesondert begründet bzw. nachgewiesen werden. Werte für den Gesamtenergiedurchlaßgrad g_{senkr} typischer Verglasungen können Tab. 1-1 entnommen werden.

Für die Globalstrahlung G_i während der Heizzeit (Heizgrenze 12°C) werden pauschal die in Tab. 1-8 angegebenen Werte angesetzt. Bei genauerer Berechnung können auch die für das lokale Klima relevanten Werte verwendet werden (aus [LEG] oder DIN 4108, Teil 6).

Tab. 1-8

Globalstrahlung an Heiztagen* in kWh/(m²a)							
horizontal	G_H	360					
		vertikal	45° geneigt			vertikal	45° geneigt
Ost	G_O	220	320	Nord-Ost	G_{NO}	175	253
Süd	G_S	370	460	Süd-Ost	G_{SO}	285	384
West	G_W	230	330	Süd-West	G_{SW}	292	390
Nord	G_N	140	200	Nord-West	G_{NW}	179	257

*) für eine Heizgrenze von 12°C

Innere Wärmequellen

Die inneren Wärmequellen Q_i setzen sich zusammen aus der während der Heizzeit freiwerdenden Abwärme der Personen und der im Haushalt verwendeten Geräte (einschließlich Warmwasserbereitung). Abgezogen wird die Energie zum Aufheizen des Kaltwassers und zur Verdunstung von Wasser, die wie eine negative innere Wärmequelle wirkt.

Für die während der Heizzeit t_H anfallenden inneren Wärmequellen wird für die unterschiedlichen Nutzungsbedingungen pauschal ein flächenbezogener Standardwert verwendet (die Zusammensetzung dieses Wertes gibt Tab. 1-9 wieder, Wohnnutzung nach [Feist 1994-2]):

$$Q_i = 0,024 \cdot \phi_i \cdot t_H \cdot A_{EB} \quad [\text{kWh} / \text{a}] \quad (1-10)$$

ϕ_i Wärmeabgabe-Leistung innerer Wärmequellen in der Heizzeit pro m² Energiebezugsfläche [W/m²]

Tab. 1-9

Spezifische Wärmeabgabeleistung innerer Wärmequellen* q_i in W/m²						
	EFH	MFH	Heime	Verwaltung	Schulen	andere
elektr. Geräte	1,78	2,28	2,66	2,57	1,54	
Personen	1,11	1,43	2	1,14	1,74	
Kaltwasser-Ablauf	-0,64	-0,83	-0,97	-0,17	-0,44	
Warmwasserbereitung	0,69	0,88	1,03	0	0	
Verdunstung	-0,43	-0,56	-0,65	0	0	
Summe (Standardwert)	2,5	3,2	4,1	3,5	2,8	genauere Berechnung

* zeitliches Mittel während der Heizzeit

1.2 Warmwasserbedarf

Der Nutzenergiebedarf Warmwasser Q_W berechnet sich aus dem jährlichen Warmwasserbedarf pro Person $Q_{W/P}$ und der Wohnfläche pro Person $A_{EB/P}$. Als Standardwert wird ein wohnflächenbezogener Warmwasserbedarf vorgegeben.

$$Q_W = \frac{Q_{W/P}}{A_{EB/P}} \cdot A_{EB} = q_W \cdot A_{EB} \quad [kWh / a] \quad (1-11)$$

- $Q_{W/P}$ jährlicher Warmwasserbedarf pro Person [kWh/(P·a)]; **Standardwert: 600 kWh/(P·a)**
 $A_{EB/P}$ Wohnfläche pro Person [m²/P]; **Standardwert: 35 m²/P**
 q_W jährlicher Warmwasserbedarf pro m² Energiebezugsfläche [kWh/(m²a)]
Standardwert: 17 kWh/(m²a) (Wohngebäude), bei anderen Nutzungen Planungswerte

2 Endenergie

Der Endenergiebedarf E für Raumheizung bzw. Warmwasserbereitung berechnet sich allgemein aus dem jeweiligen Nutzenergiebedarf Q und dem Nutzungsgrad des betreffenden Systems zur Wärmebereitstellung η_a :

$$E = \frac{Q}{\eta_a} \quad [kWh / a] \quad (2-1)$$

Q Nutzwärmebedarf [kWh/a]
 η_a Nutzungsgrad des Heizsystems [-]

Wegen der aus ökologischer Sicht unterschiedlichen Wertigkeit der einzelnen Energieträger müssen Endenergiebedarf und Nutzungsgrade für jeden Energieträger getrennt ermittelt und ausgewiesen werden. Auf unterschiedliche Energieträger bezogene Werte sind nicht unmittelbar vergleichbar.

2.1 Raumwärme

Analog Gl. 2-1 ist der Endenergiebedarf für die Raumheizung definiert:

$$E_H = \frac{Q_H}{\eta_{a,H}} \quad [kWh / a] \quad (2-2)$$

Q_H Heizwärmebedarf [kWh/a]
 $\eta_{a,H}$ Nutzungsgrad des Raumheizungssystems [-]

Der Nutzungsgrad des Raumheizungssystems $\eta_{a,H}$ wird berechnet aus:

$$\eta_{a,H} = \eta_{a,HL} \cdot \eta_{a,HE} \quad [-] \quad (2-3)$$

$\eta_{a,HL}$ Nutzungsgrad Wärmeverteilung Raumheizung
 $\eta_{a,HE}$ Nutzungsgrad Wärmeerzeugung Raumheizung

Im Nachweisverfahren wird für alle Heizungsanlagen die Erbringung der gleichen Energiedienstleistung vorausgesetzt. Sie werden im Standardfall daher so betrieben, daß sich im zeitlichen Mittel die in Abschnitt 1.1.1 angesetzten Raumlufttemperaturen einstellen. Ein Nutzungsgrad für die regelungstechnische Ausstattung muß daher hier nicht berücksichtigt werden.

2.1.1 Wärmeverteilung

Bei Verwendung **dezentraler** (d.h. in einzelnen Räumen installierter) Heizgeräte wird der Nutzungsgrad für die Wärmeverteilung und -speicherung $\eta_{a,HL}$ gleich 1 gesetzt.

Bei einem **zentralen** Heizungssystem ergibt sich $\eta_{a,HL}$ aus:

$$\eta_{a,HL} = \frac{Q_H}{Q_H + Q_{HL}} \quad [-] \tag{2-4}$$

- Q_H jährlicher Heizwärmebedarf, berechnet nach Abschnitt 1 [kWh/a]
- Q_{HL} Wärmeverluste der Heizungsverteilung [kWh/a]

Die Wärmeverluste der Heizungsverteilung im unbeheizten Teil des Gebäudes (Keller etc.) werden wie folgt ermittelt:

$$Q_{HL} = L_H \cdot q_{HL} \quad [\text{kWh/a}] \tag{2-5}$$

- L_H Länge der Verteilleitungen (Vor- + Rücklauf) im unbeheizten Bereich [m]
- q_{HL} jährlicher Wärmeverlust pro m Rohrlänge [kWh/(m*a)]

Der spezifische Wärmeverlust der Verteilleitungen q_{HL} kann entsprechend der vorliegenden Netztemperatur (Auslegungstemperatur Vor-/Rücklauf), Rohrdurchmessern und Dämmstärke der Tab. 2-1 entnommen werden.

Für den Wärmeschutz von Rohrleitungen gibt die geltende Heizungsanlagenverordnung Mindestanforderungen vor. Die in der Tabelle angegebenen Werte orientieren sich an diesen gesetzlichen Vorgaben.

Tab. 2-1

Jährlicher Wärmeverlust Heizwärmeverteilung pro m Rohrlänge q_{HL} in kWh/(m*a)								
Netz- auslegungs- temperaturen	Durchmesser DN 10-15				Durchmesser DN 20-32			
	Art der Dämmung				Art der Dämmung			
	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV
55/45 °C	78	40	20	15	129	55	25	16
75/55 °C	99	48	24	18	163	66	30	20
90/70 °C	167	74	37	28	276	102	47	31
Netz- auslegungs- temperaturen	Durchmesser DN 40-65				Durchmesser DN 80-100			
	Art der Dämmung				Art der Dämmung			
	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV
55/45 °C	212	77	24	16	324	104	24	16
75/55 °C	269	93	29	19	410	127	29	19
90/70 °C	454	143	45	29	692	195	45	29

Zwischenwerte können interpoliert werden.

Art der Dämmung: *mäßig* = gegenüber HeizAnIV halbierte Dämmstärke
HeizAnIV = Dämmstärke entspricht der Mindestanforderung der HeizAnIV
"doppelte" HeizAnIV = gegenüber HeizAnIV verdoppelte Dämmstärke

2.1.2 Wärmezeugung

Heizkessel

Der Jahres-Nutzungsgrad $\eta_{a,HE}$ eines Heizkessels ist das Verhältnis von erzeugter Nutzwärme zum Brennstoffbedarf. Er berücksichtigt sowohl Abgas- als auch Bereitschaftsverluste und wird wie üblich auf den unteren Heizwert des Brennstoffes bezogen. Tab. 2-2a...d gibt Nutzungsgrade für Kessel unterschiedlicher Bauart in zwei Baujahrsklassen wieder. Den Werten liegen Bereitschaftsverluste und Wirkungsgrade der VDI 2067, Blatt 2 sowie Angaben verschiedener Hersteller zugrunde.

Die Jahresnutzungsgrade von Niedertemperatur- und Brennwertkesseln (Tab. 2-2a) gelten für Auslegungstemperaturen von 75°C/60°C (Vorlauf/Rücklauf). Bei Niedertemperaturheizungsanlagen (Vorlauftemperaturen im Auslegungsfall unter 60°C) kann der angegebene Nutzungsgrad von Brennwertkesseln jeweils um 0,03 erhöht werden.

Da die Nutzungsgrade älterer Geräte mit konstanter Kesseltemperatur stark von ihrer Auslastung a (Verhältnis Vollbetriebszeit zu Bereitschaftszeit) abhängen, sind hier drei Fälle unterschieden: "Raumheizung / Standardauslegung" ($a = 0,20 \dots 0,50$, Tab. 2-2b), "Raumheizung / Grundlast bei Mehrkesselanlagen" ($a = 0,50 \dots 1,00$, Tab. 2-2c), "Raumheizung / geringe Auslastung" ($a = 0,06 \dots 0,20$, Tab. 2-2d). Betriebsbedingte Verschmutzungen des Feuerraums sind bei den Nutzungsgraden der Heizöl- und Festbrennstoff-Kessel berücksichtigt.

Tab. 2-2a

Nutzungsgrad Niedertemperatur- und Brennwertkessel		Kesselnutzungsgrad* η_{HE}, η_{WE}					
		Baujahr					
		bis 1978			ab 1979		
Kesselbauart	Leistung in kW	Gas	Öl	Fest	Gas	Öl	Fest
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 50				0,91	-	-
NT-Kessel mit Gebläse					0,92	0,90	-
Brennwertkessel**					0,97	0,91	-
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	> 50 bis 120				0,91	-	-
NT-Kessel mit Gebläse					0,92	0,90	-
Brennwertkessel**					0,98	0,92	-
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	> 120 bis 350				0,92	-	-
NT-Kessel mit Gebläse					0,92	0,90	-
Brennwertkessel**					0,99	0,93	-
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	> 350 bis 1200				0,92	-	-
NT-Kessel mit Gebläse					0,92	0,90	-
Brennwertkessel**					0,99	0,93	-

*) unter Berücksichtigung der Kessel-Verschmutzung

***) bei Niedertemperaturbetrieb (Vorlauftemperatur ≤ 60°C) kann der Nutzungsgrad von Brennwertkesseln um 0,03 erhöht angesetzt werden.

Tab. 2-2b

Nutzungsgrad Konstant-Temperatur-Kessel: Raumheizung / Standardauslegung (0,20 ≤ a < 0,50)		Kesselnutzungsgrad* η_{HE}					
		Baujahr					
		bis 1978			ab 1979		
Kesselbauart	Leistung in kW	Gas	Öl	Fest	Gas	Öl	Fest
Vorrats-Wasserheizer	≤ 20	0,77	-	-	0,79	-	-
Umlauf-Gas-Wasserheizer	≤ 37	0,79	-	-	0,84	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 50	0,76	-	-	0,82	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,78	0,76	0,70	0,83	0,81	0,76
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,73	0,72	0,67	0,80	0,78	0,72
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	>50 bis 120	0,79	-	-	0,85	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,81	0,79	0,73	0,86	0,84	0,79
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,77	0,76	0,71	0,83	0,81	0,77
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 120 bis 350	0,83	-	-	0,87	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,85	0,83	0,77	0,88	0,87	0,82
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,80	0,78	0,74	-	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 350 bis 1200	0,86	-	-	0,87	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,86	0,84	0,80	0,88	0,87	0,82

*) unter Berücksichtigung der Kessel-Verschmutzung

Tab. 2-2c

Nutzungsgrad Konstant-Temperatur-Kessel: Raumheizung / Grundlast bei Mehrkesselanlagen ($0,50 \leq a < 1,00$)		Kesselnutzungsgrad* η_{HE}					
		Baujahr					
		bis 1978			ab 1979		
Kesselbauart	Leistung in kW	Gas	Öl	Fest	Gas	Öl	Fest
Vorrats-Wasserheizer	≤ 20	0,82	-	-	0,83	-	-
Umlauf-Gas-Wasserheizer	≤ 37	0,81	-	-	0,86	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 50	0,81	-	-	0,85	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,83	0,81	0,75	0,86	0,85	0,79
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,80	0,78	0,72	0,84	0,82	0,76
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 50 bis 120	0,83	-	-	0,87	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,85	0,83	0,77	0,88	0,87	0,82
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,81	0,79	0,75	0,85	0,84	0,79
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 120 bis 350	0,85	-	-	0,89	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,87	0,86	0,79	0,90	0,88	0,83
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,83	0,82	0,77	-	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 350 bis 1200	0,88	-	-	0,89	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,88	0,87	0,82	0,90	0,88	0,83

*) unter Berücksichtigung der Kessel-Verschmutzung

Tab. 2-2d

Nutzungsgrad Konstant-Temperatur-Kessel: Raumheizung / geringe Auslastung ($0,06 \leq a < 0,20$)		Kesselnutzungsgrad* η_{HE}					
		Baujahr					
		bis 1978			ab 1979		
Kesselbauart	Leistung in kW	Gas	Öl	Fest	Gas	Öl	Fest
Vorrats-Wasserheizer	≤ 20	0,63	-	-	0,65	-	-
Umlauf-Gas-Wasserheizer	≤ 37	0,71	-	-	0,80	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 50	0,60	-	-	0,72	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,62	0,60	0,55	0,72	0,71	0,66
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,56	0,55	0,51	0,66	0,65	0,60
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 50 bis 120	0,65	-	-	0,76	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,67	0,66	0,60	0,77	0,75	0,71
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,65	0,64	0,60	0,74	0,73	0,68
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 120 bis 350	0,74	-	-	0,82	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,76	0,74	0,68	0,83	0,82	0,77
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,68	0,66	0,62	-	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 350 bis 1200	0,78	-	-	0,82	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,78	0,76	0,72	0,83	0,82	0,77

*) unter Berücksichtigung der Kessel-Verschmutzung

Einzelöfen

Die Nutzungsgrade $\eta_{a,HE}$ von Einzelöfen, die mit Heizöl, Erdgas oder Festbrennstoffen befeuert werden, können der folgenden Tabelle entnommen werden. Betriebsbedingte Verschmutzungen des Feuerraums sind bei den Nutzungsgraden berücksichtigt.

Tab. 2-3

Jahresnutzungsgrade $\eta_{a,HE}$ für Einzelöfen	
ölbefueter Einzelofen mit Verdampfungsbrenner	0,85
Kachelofen	0,70
kohlebefeuerte eiserne Öfen	0,67
Außenwand-Gasöfen	0,75

Elektro-(Widerstands-)Heizung

Die Nutzungsgrade $\eta_{a,HE}$ von Elektroöfen (Widerstandsheizungen) gibt die folgende Tabelle wieder:

Tab. 2-4

Jahresnutzungsgrade $\eta_{a,HE}$ für Elektro-Widerstandsheizungen	
Nachtspeicherofen bis 50 kW	0,95
Nachtspeicherofen > 50 kW	0,97
Direktheizgeräte	0,98

Wärmepumpen

Für Wärmepumpen werden drei verschiedene Betriebsweisen unterschieden:

- monovalent* Die Heizwärme wird allein durch die Wärmepumpe erzeugt.
- parallel* Die Wärmepumpe wird durch einen Wärmeerzeuger (i.d.R. Kessel) unterstützt, wenn die Wärmeleistung der Wärmepumpe allein nicht mehr ausreicht.
- alternativ* Die Wärmepumpe und ein ergänzender Wärmeerzeuger (i.d.R. Kessel) sind nicht gleichzeitig in Betrieb.

Im Fall von elektrischen Wärmepumpen ergibt sich der Nutzungsgrad $\eta_{a,HE}$ des Wärmeerzeugers aus der "Jahresarbeitszahl" β der Wärmepumpe:

$$\eta_{a,HE} = \beta \quad (2-6)$$

Im Fall von brennstoffbetriebenen Wärmepumpen ergibt sich der Nutzungsgrad $\eta_{a,HE}$ des Wärmeerzeugers aus der "Jahresheizzahl" ζ der Wärmepumpe:

$$\eta_{a,HE} = \zeta \quad (2-7)$$

β und ζ hängen jeweils von der Temperatur des Heizungssystems (Auslegungstemperatur Vorlauf/Rücklauf) sowie von der Art der Wärmequelle ab. Die Werte können Tab. 2-5 entnommen werden. Bei einem zusätzlichen Kessel (parallel, alternativ) muß Abschnitt 2.1.4 beachtet werden.

Tab. 2-5

Jahresarbeitszahlen bzw. Jahresheizzahlen für Wärmepumpen							
Bauart	Betriebsweise	Heizwassertemperaturen*	Einsatztemperatur**	Wärmequelle			
				Grundwasser	Erdreich	Luft	Absorber
elektrische Wärmepumpen (Jahresarbeitszahl)	monovalent	50/40°C		3,0	2,6	2,2	-
		45/40°C		3,2	2,8	2,4	-
	alternativ	60/50°C	- 2°C	3,3	3,0	2,6	2,6
			+ 6°C	3,5	3,4	3,0	3,0
		45/40°C	- 6°C	3,4	3,1	2,7	2,7
			+ 6°C	3,7	3,6	3,2	3,2
	parallel	60/50°C	- 6°C	3,1	2,9	2,4	-
			+ 6°C	3,4	3,3	2,7	-
		45/40°C	- 6°C	3,4	3,0	2,5	-
			+ 6°C	3,7	3,5	2,8	-
verbrennungsmotor. Wärmepumpen (Jahresheizzahl)	monovalent	60/50°C		1,70	1,55	1,50	-
		45/40°C		1,80	1,70	1,60	-
	alternativ	60/50°C	- 2°C	1,58	1,49	1,37	1,37
			+ 6°C	1,64	1,61	1,49	1,49
		45/40°C	- 6°C	1,61	1,52	1,40	1,40
			+ 6°C	1,70	1,67	1,55	1,55
	parallel	60/50°C	- 6°C	1,58	1,56	1,45	-
			+ 6°C	1,67	1,66	1,57	-
		45/40°C	- 2°C	1,67	1,55	1,46	1,44
			+ 6°C	1,73	1,67	1,58	1,56

Angaben z.T. nach VDI 2067, Blatt 6 / Zwischenwerte werden interpoliert.

*) mittlere Heizwassertemperaturen (keine Auslegungstemperaturen)

**) Außentemperatur, bis zu der hinab die Wärmebedarfsdeckung ausschließlich durch die Wärmepumpen-Anlage erfolgt.

Blockheizkraftwerke

Für in Blockheizkraftwerken (BHKW) aufgestellte Motor-Heizkraftanlagen kann für den Nutzungsgrad $\eta_{a,HE}$ des Wärmeerzeugers der thermische Nutzungsgrad $\eta_{a,th}$ des Motors verwendet werden. Dieser beschreibt das Verhältnis aus an das Heizsystem abgegebener Wärme zum Brennstoff-Einsatz (Angabe bezogen auf unteren Heizwert) :

$$\eta_{a,HE} = \eta_{a,th} \quad [-] \quad (2-8)$$

Parallel zur Erzeugung von Nutzwärme liefert die Heizkraftanlage zusätzlich folgende elektrische Energiemenge in das Netz:

$$Q_{el} = \sigma \cdot Q_H \quad [\text{kWh/a}] \quad (2-9)$$

σ Stromkennzahl (Verhältnis Stromproduktion zu Nutzwärmemenge)

Der thermische Nutzungsgrad und die Stromkennzahl (sowie zur Information der elektrische Nutzungsgrad) sind in Tab. 2-6 in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung und dem zugeführten Brennstoff angegeben.

Tab. 2-6

Jahresnutzungsgrade für Motor-Heizkraftanlagen				
Brennstoff	elektrische Leistung	elektrischer Nutzungsgrad $\eta_{a,el}$	thermischer Nutzungsgrad $\eta_{a,th}$	Stromkennzahl σ
Erdgas/ Propan/ Butan	bis 15 kW	0,24	0,65	0,37
	> 15 bis 35 kW	0,26	0,62	0,42
	> 35 bis 100 kW	0,30	0,59	0,51
	> 100 bis 500 kW	0,34	0,58	0,59
	> 500 kW	0,35	0,52	0,67
Diesel	bis 15 kW	0,27	0,64	0,42
	> 15 bis 35 kW	0,28	0,61	0,46
	> 35 bis 100 kW	0,36	0,52	0,69
	> 100 bis 500 kW	0,38	0,48	0,79
	> 500 kW	0,40	0,45	0,89

Fern-/Nahwärmeanschluß

Im Falle eines Anschlusses an ein Fern- oder Nahwärmenetz ist für den Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers $\eta_{a,HE}$ der Nutzungsgrad der Wärmeübergabestation $\eta_{a,WÜ}$ einzusetzen. Standardwerte hierfür können Tab. 2-7 entnommen werden.

$$\eta_{a,HE} = \eta_{a,WÜ} \quad [-] \quad (2-10)$$

Tab. 2-7

Jahresnutzungsgrade $\eta_{a,HE}$ für Wärmeübergabestationen				
		Raum- heizung	Warmwasser Heizzeit* Sommer	
Kompakt-Übergabestation (mit Gehäuse)		0,98	1,00	0,90
individuelles System aus Einzelrohrleitungen	gut gedämmt	0,95	1,00	0,85
	mäßig gedämmt	0,90	1,00	0,80

*) die Bereitschaftsverluste während der Heizzeit werden der Raumheizung angerechnet

2.1.3 Thermische Solaranlagen

Wird eine thermische Solaranlage zur Deckung eines Teils des Heizwärmebedarfs herangezogen, so wird der Nutzungsgrad des Raumheizungssystems $\eta_{a,H}$ entsprechend korrigiert.

$$\eta_{a,H} = \eta_{a,HL} \cdot \eta_{a,HE} \cdot \frac{1}{(1 - s_H)} \quad [-] \quad (2-11)$$

s_H solarer Deckungsgrad Raumheizung

Der solare Deckungsgrad s_H beschreibt den Anteil des Endenergiebedarfs, der durch die Solaranlage ersetzt wird. s_H kann im Rahmen des vorliegenden Verfahrens nicht vorgegeben werden, sondern muß mit aufwendigeren Simulationsprogrammen bestimmt werden.

2.1.4 Kombinationen verschiedener Systeme

Sind mehrere Systeme zur Wärmeerzeugung für Raumwärme vorhanden, so wird zunächst der jeweilige Endenergiebedarf getrennt berechnet:

$$E_H(S_1) = \frac{f_H(S_1) \cdot Q_H}{\eta_{a,H}(S_1)} \quad [\text{kWh/a}]$$

$$E_H(S_2) = \frac{f_H(S_2) \cdot Q_H}{\eta_{a,H}(S_2)} \quad [\text{kWh/a}] \quad \textbf{(2-12)}$$

...

$E_H(S_1), E_H(S_2), \dots$	Endenergiebedarf der Systeme 1, 2, ... [kWh/a]
$\eta_H(S_1), \eta_H(S_2), \dots$	Nutzungsgrad der Systeme 1, 2, ... [-]
$f_H(S_1), f_H(S_2), \dots$	Anteile der Systeme 1, 2, ... am Heizwärmebedarf mit $f_H(S_1) + f_H(S_2) + \dots = 1$

Werden Systeme mit dem gleichen Energieträger betrieben (z.B.: $S_1 = \text{Erdgas-BHKW}$ / $S_2 = \text{Erdgas-Heizkessel}$ oder $S_1 = \text{elektrische Wärmepumpe}$ / $S_2 = \text{Nachtspeicheröfen}$), kann der Endenergiebedarf zusammengefaßt werden (bei unterschiedlichen Energieträgern ist dies nicht zulässig):

$$E_H(S_1, S_2, \dots) = E_H(S_1) + E_H(S_2) + \dots \quad [\text{kWh/a}] \quad \textbf{(2-13)}$$

Der Gesamtnutzungsgrad ergibt sich für diesen Spezialfall zu:

$$\eta_H(S_1, S_2, \dots) = \frac{(f_H(S_1) + f_H(S_2) + \dots) \cdot Q_H}{E_H(S_1, S_2, \dots)} \quad [-] \quad \textbf{(2-14)}$$

Die Anteile einzelner Wärmeerzeuger an der Deckung des Heizwärmebedarfs können je nach Betriebsweise und Nennwärmeleistung sehr unterschiedlich sein. Sind die jeweiligen Deckungsanteile nicht bekannt, kann auf die Vorschlagswerte aus Tab. 2-8 zurückgegriffen werden. Gängige Fahrweisen für Zwei-Kessel-Anlagen ergeben z.B. bei Kesseln gleicher Leistung Deckungsanteile von 50%/50%, bei einem Grundlast- und einem Spitzenkessel Deckungsanteile von 80%/20%.

Tab. 2-8

Typische Deckungsanteile von Wärmeerzeugern am Jahresheizwärmebedarf f_H			
Anlagenkombination	Einsatz-temperatur**	1. Anlage	2. Anlage
Zwei-Kessel-Anlage		Grundlastkessel 50 - 85 % *	Spitzenkessel 15 - 50 % *
Motor-Heiz-Kraft-Anlage + Kessel		MHK-Anlage 60 - 85 % *	Spitzenkessel 15 - 40 % *
Wärmepumpe + Kessel alternativ	- 6 °C	Wärmepumpe 92%	Kessel 8%
	+2 °C	54%	46%
	+ 6 °C	32%	68%
Wärmepumpe + Kessel parallel	- 6 °C	Wärmepumpe 96%	Kessel 4%
	+2 °C	93%	7%
	+ 6 °C	82%	18%

*) je nach Dimensionierung

**) Außentemperatur, unterhalb der die 2. Anlage in Betrieb geht; Zwischenwerte werden interpoliert

2.2 Warmwasser

Analog Gl. 2-1 ist der Endenergiebedarf für die Warmwasserbereitung definiert:

$$E_W = \frac{Q_W}{\eta_{a,W}} \quad [kWh / a] \quad (2-15)$$

Q_W Nutzenergiebedarf Warmwasser [kWh/a]

$\eta_{a,W}$ Nutzungsgrad des Systems zur Warmwasserbereitung [-]

Der über den Zeitraum t gemittelte Nutzungsgrad der Warmwasserbereitung $\eta_{t,W}$ wird berechnet aus:

$$\eta_{t,W} = \eta_{t,WL} \cdot \eta_{t,WE} \quad [-] \quad (2-16)$$

$\eta_{t,WL}$ Nutzungsgrad Wärmeverteilung und -speicherung Warmwasser

$\eta_{t,WE}$ Nutzungsgrad Wärmeerzeugung Warmwasser

In der Regel umfaßt t die Zeiträume Heizzeit (t_H), Sommer (365 Tage - t_H) oder das ganze Jahr.

2.2.1 Wärmeverteilung und -speicherung

Bei Vorliegen **dezentraler** Anlagen zur Warmwasserbereitung wird der Nutzungsgrad für die Wärmeverteilung und -speicherung $\eta_{a,WL}$ gleich 1 gesetzt. Die Speicherverluste dieser Geräte werden in Abschnitt 2.2.2 berücksichtigt.

Bei einem **zentralen** System ergibt sich $\eta_{a,WL}$ aus:

$$\eta_{a,WL} = \frac{Q_W}{Q_W + Q_{WL}} \quad [-] \quad (2-17)$$

$$Q_{WL} = (\dot{Q}_{WZ} + \dot{Q}_{WU} + \dot{Q}_{WS}) \cdot 0,024 \cdot t_{WL} \quad [-] \quad (2-18)$$

- Q_W Wärmebedarf Warmwasser [kWh/a]
- Q_{WL} Wärmeverluste Wärmeverteilung und -speicherung Warmwasser [kWh/a]
- \dot{Q}_{WZ} Wärmeverlustleistung Zirkulations- und Förderleitungen [W]
- \dot{Q}_{WU} Wärmeverlustleistung Einzelleitungen [W]
- \dot{Q}_{WS} Wärmeverlustleistung zentraler Speicher [W]
- t_{WL} Betriebszeit der zentralen Warmwasserbereitung [d/a]
= 365 d/a bei durchgängigem Betrieb
= 225 d/a bei Betrieb nur in der Heizzeit

Die Wärmeverlustleistung ständig auf Warmwasser-Temperatur gehaltener **Zirkulations- und Förderleitungen** ergibt sich aus:

$$\dot{Q}_{WZ} = L_Z \cdot \phi_Z \quad [W] \quad (2-19)$$

- L_Z Länge der Zirkulations- und Förderleitungen im beheizten und unbeheizten Bereich (Vor- + Rücklauf) [m]
- ϕ_Z Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge [W/m]

Die spezifische Wärmeverlustleistung ϕ_Z ist in Tab. 2-9 angegeben - in Abhängigkeit von Dämmstandard der Rohrleitungen und der täglichen Zirkulationsdauer.

Tab. 2-9

Mittlere Wärmeverlusterleistung von Zirkulationsleitungen pro m Rohrlänge q_z in W/m								
Zirkulationsdauer in h/d	Durchmesser DN 10-15				Durchmesser DN 20-32			
	Art der Dämmung				Art der Dämmung			
	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV
6	12	2,8	1,9	1,5	16	4,2	2,2	1,6
12	24	5,5	3,7	2,9	32	8,4	4,6	3,2
18	36	8,3	5,6	4,4	48	13	6,6	4,9
24	48	11	7,9	5,8	64	17	8,8	6,5
Zirkulationsdauer in h/d	Durchmesser DN 40-65				Durchmesser DN 80-100			
	Art der Dämmung				Art der Dämmung			
	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV	ungedämmt	mäßig	HeizAnIV	"doppelte" HeizAnIV
6	23	6,6	2,2	1,5	33	10	2,2	1,6
12	46	13	4,4	3,1	66	20	4,4	3,1
18	69	20	6,6	4,6	99	30	6,6	4,7
24	92	26	8,8	6,2	132	40	8,8	6,2

Zwischenwerte können interpoliert werden.

Art der Dämmung: *mäßig* = gegenüber HeizAnIV halbierte Dämmstärke
HeizAnIV = Dämmstärke entspricht der Mindestanforderung der HeizAnIV
"doppelte" HeizAnIV = gegenüber HeizAnIV verdoppelte Dämmstärke

Die Wärmeverlusterleistung von **Einzelleitungen**, die nur bei Zapfung erwärmt werden, ergibt sich aus:

$$\dot{Q}_{WU} = L_U \cdot \dot{\Phi}_U \quad [W] \quad (2-20)$$

L_U Länge der Einzelleitungen [m]
 $\dot{\Phi}_U$ Wärmeverlusterleistung pro m Rohrlänge [W/m]

Die spezifische Wärmeverlusterleistung $\dot{\Phi}_U$ kann - in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser und Nutzungsintensität (Zapfraten) - aus Tab. 2-10 abgelesen werden.

Tab. 2-10

Mittlere Wärmeverlusterleistung von WW-Zapfleitungen pro m Rohrlänge q_u in W/m					
Rohrdurchmesser	mm	12 - 18	22 - 28	35 - 42	54 - 64
Nennweite		< DN 10	DN 15 - 20	DN 25 - 32	DN 40 - 50
Einfamilienhaus		1,7	4,6	11	26
Mehrfamilienhaus		2,2	6,1	14	34

Die Wärmeverlustleistung von **Warmwasserspeichern** Q_s ist - in Abhängigkeit vom Dämmstandard des Speichers - Tab. 2-11 zu entnehmen.

Tab. 2-11

Wärmeverlustleistung von Warmwasserspeichern* Q_s in W				
Speicher- volumen in Liter	Grenzwert nach DIN V 4753, Teil 8	Art der Dämmung		
		schlecht	mäßig	gut
		bis zu 2 cm	bis zu 5 cm	bis zu 10 cm
25	59	54	30	20
50	71	83	45	29
75	79	107	57	37
100	87	128	68	43
150	98	165	86	54
200	108	199	103	64
300	123	257	131	80
500	146	357	180	108
750	168	464	231	137
1000	186	559	276	162
1500	-	727	356	207
2000	-	877	427	247

*) bei einer Temperaturdifferenz von 45 K zwischen Speichermedium und Umgebung, Zwischenwerte können interpoliert werden

2.2.2 Wärmeerzeugung

Heizkessel

Bei Verwendung eines Niedertemperatur- oder Brennwertkessels für die Warmwasserbereitung wird für $\eta_{a,w}$ der entsprechende Nutzungsgrad aus Tab. 2-2a verwendet.

Wird für die Warmwasserbereitung ein Konstant-Temperatur-Kessel eingesetzt, so sind die Nutzungsgrade Tab. 2-12a und b zu entnehmen. Tab. 2-12a gilt für die Fälle, in denen die Warmwasserbereitung unabhängig von der Raumheizung stattfindet (Auslastung $a < 0,06$). Wird mit dem gleichen Gerät auch Raumwärme erzeugt (Kombibetrieb), so gilt Tab. 2-12b - jedoch nur für die Heizzeit. Bei ganzjährigem Einsatz eines Heizkessels für die Warmwasserbereitung in Kombination mit der Raumwärmeerzeugung werden die unterschiedlichen Betriebsweisen wie zwei Einzelsysteme betrachtet und entsprechend Abschnitt 2.2.4 behandelt.

Wird ein Konstant-Temperatur-Kessel ganzjährig allein für die Brauchwassererwärmung eingesetzt (auch direkt beheizter Speicher) und ist er entsprechend dimensioniert, so sind Nutzungsgrade der Tab. 2-2b bis d entsprechend der vorhandenen Auslastung (Verhältnis Vollbetriebszeit zu Bereitschaftszeit) zu verwenden.

Tab. 2-12a

Nutzungsgrad Konstant-Temperatur-Kessel: Warmwasserbereitung / separat (a < 0,06)		Kesselnutzungsgrad* η_{WE}					
		Baujahr					
		bis 1978			ab 1979		
Kesselbauart	Leistung in kW	Gas	Öl	Fest	Gas	Öl	Fest
Vorrats-Wasserheizer	≤ 20	0,36	-	-	0,39	-	-
Umlauf-Gas-Wasserheizer	≤ 37	0,50	-	-	0,65	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 50	0,33	-	-	0,48	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,34	0,34	0,31	0,48	0,47	0,44
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,29	0,29	0,27	0,40	0,39	0,36
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 50 bis 120	0,39	-	-	0,53	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,40	0,40	0,36	0,54	0,53	0,50
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,40	0,39	0,37	0,52	0,51	0,48
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 120 bis 350	0,52	-	-	0,67	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,53	0,52	0,48	0,68	0,67	0,63
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,43	0,42	0,39	-	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 350 bis 1200	0,59	-	-	0,67	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,57	0,56	0,53	0,68	0,67	0,63

*) unter Berücksichtigung der Kessel-Verschmutzung

Tab. 2-12b

Nutzungsgrad Konstant-Temperatur-Kessel: Warmwasserber. Heizzeit (Kombibetrieb) a --> ∞		Kesselnutzungsgrad* η_{WE}					
		Baujahr					
		bis 1978			ab 1979		
Kesselbauart	Leistung in kW	Gas	Öl	Fest	Gas	Öl	Fest
Vorrats-Wasserheizer	≤ 20	0,86	-	-	0,87	-	-
Umlauf-Gas-Wasserheizer	≤ 37	0,84	-	-	0,87	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 50	0,86	-	-	0,88	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,88	0,86	0,79	0,89	0,87	0,82
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,86	0,84	0,78	0,88	0,86	0,79
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 50 bis 120	0,87	-	-	0,90	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,89	0,87	0,80	0,91	0,89	0,84
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,85	0,83	0,78	0,88	0,86	0,81
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 120 bis 350	0,88	-	-	0,90	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,90	0,88	0,81	0,91	0,89	0,84
Umstell- und Wechselbrandkessel		0,87	0,85	0,80	-	-	-
Gas-Spezialkessel mit Brenner ohne Gebläse	> 350 bis 1200	0,89	-	-	0,90	-	-
automatischer Spezialkessel mit Gebläse		0,91	0,89	0,84	0,91	0,89	0,84

*) unter Berücksichtigung der Kessel-Verschmutzung

(Niedertemperatur- und Brennwertkessel siehe Tab. 2-2a)

Sonstige zentrale Wärmeerzeuger

Für sonstige für die zentrale Warmwasserbereitung eingesetzte Wärmeerzeuger (Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke, Fern/Nahwärme) wird der Nutzungsgrad $\eta_{a,WE}$ analog Abschnitt 2.1.2 ermittelt. Vorratswasserheizer werden wie separate Kessel behandelt (s.o.).

Dezentrale Warmwasserbereitung

Der Nutzungsgrad $\eta_{a,WE}$ der dezentralen Warmwasserbereitung wird - abhängig von der jeweils von einem Gerät jährlich zu liefernden Wärmemenge - Tab. 2-13 entnommen. Die zugrundeliegenden Verluste enthalten auch die Wärmeverluste der - bei dezentraler Versorgung relativ kurzen - Zapfleitungen. Werden mehrere Geräte parallel betrieben, so ist entsprechend Abschnitt 2.2.4 zu verfahren.

Tab. 2-13

Nutzungsgrade dezentraler Geräte zur Warmwasserbereitung $\eta_{a,WE}$			250	500	750	1000	1500	2000	3000	5000	8000
zu deckender Wärmebedarf pro Gerät in kWh/a											
Elektrogeräte	Kochendwassergeräte		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96				
	Speicher	5 bis 10 l	0,56	0,72	0,80	0,84	0,89				
		>10 bis 30 l	0,50	0,67	0,75	0,80	0,86	0,89	0,92		
		> 30 bis 80 l	0,42	0,59	0,68	0,74	0,81	0,85	0,90	0,93	0,96
		> 80 bis 200 l	0,30	0,46	0,56	0,63	0,72	0,78	0,84	0,90	0,93
		> 200 bis 400 l	0,20	0,34	0,43	0,50	0,60	0,67	0,75	0,84	0,89
Durchlauferhitzer		0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	
Gasgeräte	Durchlauferhitzer mit Zündflamme	ohne Abgasklappe	0,16	0,27	0,35	0,41	0,49	0,55	0,62	0,69	0,74
		mit Abgasklappe	0,16	0,27	0,35	0,41	0,49	0,55	0,62	0,69	0,74
	Durchlauferh. mit elektron. Zündung		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84

Berücksichtigung der Wärmeverluste bei den inneren Wärmequellen

Die bei der Warmwasserbereitung im beheizten Bereich entstehenden Gewinne wirken sich als innere Wärmequelle aus. Im Verfahren zur Berechnung des Heizwärmebedarfs wurde hier ein Pauschalwert angesetzt. Für eine genauere Berechnung können die in Tab. 1-9 in Klammern angegebenen inneren Wärmelasten (ohne Berücksichtigung Warmwasserbereitung) zuzüglich der jeweiligen Wärmeabgabeleistung der einzelnen innerhalb der thermischen Gebäudehülle installierten Komponenten (Wärmeerzeuger, Speicher, Zirkulation, Zapfleitung) angesetzt werden. Für dezentrale Wärmeerzeuger können die in Tab. 2-14 tabellierten Werte verwendet werden.

Tab. 2-14

Als innere Wärmequelle wirksame Wärmeverlustleistung dezentraler WW-Bereiter in W			250	500	750	1000	1500	2000	3000	5000	8000
zu deckender Wärmebedarf pro Gerät in kWh/a											
Elektrogeräte	Kochendwassergeräte		1	2	4	5	7				
	Speicher	5 bis 10 l	22	22	22	22	22				
		>10 bis 30 l	28	28	28	28	28	28	28		
		> 30 bis 80 l	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		> 80 bis 200 l	66	66	66	66	66	66	66	66	66
		> 200 bis 400 l	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Durchlauferhitzer		0	1	1	1	2	2	3	6	9	
Gasgeräte	Durchlauferhitzer mit Zündflamme	ohne Abgasklappe	44	46	48	49	53	56	62	75	95
		mit Abgasklappe	104	108	111	115	123	130	146	176	222
	Durchlauferh. mit elektron. Zündung		2	3	5	7	10	13	20	33	52

2.2.3 Thermische Solaranlagen

Wird eine thermische Solaranlage zur Deckung eines Teils des Brauchwasserbedarfs herangezogen, so wird der Nutzungsgrad der Warmwasserbereitung $\eta_{a,W}$ entsprechend korrigiert.

$$\eta_{a,W} = \eta_{a,WL} \cdot \eta_{a,WE} \cdot \frac{1}{(1 - s_W)} \quad [-] \quad (2-21)$$

- $\eta_{a,WL}$ Nutzungsgrad Wärmeverteilung und -speicherung Warmwasser
- $\eta_{a,WE}$ Nutzungsgrad Wärmeerzeugung Warmwasser
- s_W solarer Deckungsgrad Warmwasserbereitung

Der solare Deckungsgrad s_W beschreibt den Anteil des Endenergiebedarfs, der durch die Solaranlage ersetzt wird. Er ist als Funktion des Verhältnisses Kollektorfläche zur Energiebezugsfläche bzw. zur Anzahl der versorgten Personen (Standardnutzung) in Tab. 2-15 dargestellt. Werden im Sommer und in der Heizzeit unterschiedliche Warmwasser-Systeme verwendet, so ist der jeweils für den Zeitraum angegebene Deckungsgrad zu verwenden.

Tab. 2-15

Solarer Deckungsgrad der Warmwasserbereitung s_W							
Kollektorfläche pro m ² EBF* [m ² /m ²]	Kollektorfläche pro Person* [m ² /P]	Flachkollektor			Vakuümröhrenkollektor		
		Sommer	Heizzeit	Jahr	Sommer	Heizzeit	Jahr
0,009	0,30	-	-	-	0,40	0,15	0,25
0,011	0,40	0,52	0,16	0,31	0,56	0,22	0,36
0,014	0,50	0,62	0,19	0,37	0,67	0,26	0,43
0,017	0,60	0,71	0,22	0,44	0,78	0,31	0,51
0,021	0,75	0,83	0,26	0,50	0,90	0,37	0,59
0,029	1,00	0,96	0,33	0,60	0,99	0,47	0,69
0,036	1,25	0,99	0,39	0,64	1,00	0,55	0,73
0,043	1,50	1,00	0,43	0,67	1,00	0,59	0,77

*) Randbedingungen: Speichervolumen ca. 70 Liter pro Person, jährlicher WW-Bedarf 700 kWh pro Person
 Flächenbedarf 35 m² Wohnfläche pro Person

2.2.4 Kombinationen verschiedener Systeme

Sind mehrere Systeme zur Wärmeerzeugung für die Warmwasserbereitung vorhanden, so wird zunächst der jeweilige Endenergiebedarf getrennt berechnet:

$$E_W(S_1) = \frac{f_W(S_1) \cdot Q_W}{\eta_{a,W}(S_1)} \quad [\text{kWh/a}]$$

$$E_W(S_2) = \frac{f_W(S_2) \cdot Q_W}{\eta_{a,W}(S_2)} \quad [\text{kWh/a}] \quad (2-21)$$

...
 $E_W(S_1), E_W(S_2), \dots$ Endenergiebedarf der Systeme 1, 2, ... [kWh/a]
 $\eta_W(S_1), \eta_W(S_2), \dots$ Nutzungsgrad der Systeme 1, 2, ... [-]
 $f_W(S_1), f_W(S_2), \dots$ Anteile der Systeme 1, 2, ... am Nutzenergiebedarf Warmwasser
 mit $f_W(S_1) + f_W(S_2) + \dots = 1$

Werden Warmwasserbereitungssysteme mit dem gleichen Energieträger betrieben (z.B.: S_1 = Elektro-Kleinspeicher, S_2 = Elektro-Durchlauferhitzer), kann der Endenergiebedarf zusammengefaßt werden:

$$E_W(S_1, S_2, \dots) = E_W(S_1) + E_W(S_2) + \dots \quad [\text{kWh/a}] \quad (2-22)$$

Der Gesamtnutzungsgrad ergibt sich für diesen Sonderfall zu:

$$\eta_W(S_1, S_2, \dots) = \frac{(f_W(S_1) + f_W(S_2) + \dots) \cdot Q_W}{E_H(S_1, S_2, \dots)} \quad [-] \quad (2-23)$$

Dabei ist es unerheblich, ob die Systeme gleichzeitig oder zu verschiedenen Zeiten (Sommer/Heizzeit) betrieben werden. Die Aufteilung gemäß den Faktoren $f_W(S_1), f_W(S_2), \dots$ erfolgt immer nach dem jeweiligen Anteil der Systeme an der Deckung des gesamten jährlichen Warmwasserbedarfs. Anhaltspunkte für die Aufteilung des Warmwasserbedarfs auf die Nutzungsbereiche von Wohnungen liefert Tab. 2-16.

Tab. 2-16

Anteile am WW-Bedarf im Haushalt f_H	
Bad/Dusche	60%
Küche	25%
Handwaschbecken	15%

2.3 Hilfsenergien

Die Hilfsenergien des Heizungssystems können den Primärenergieverbrauch eines Gebäudes deutlich erhöhen. Sie müssen daher in die Bilanzierung einbezogen werden. Der Strombedarf der Elektro-Hilfsgeräte E_S setzt sich wie folgt zusammen:

$$E_S = E_{SH} + E_{SW} + E_{SL} - E_{SE} \quad [\text{kWh/a}] \quad (2-24)$$

- E_{SH} Strombedarf Hilfsgeräte Raumheizung (Umwälzpumpe, Brenner, Regelung)
- E_{SW} Strombedarf Hilfsgeräte Warmwasser (Zirkulationspumpe, Speicherladepumpe, Solarkreispumpe, Regelung)
- E_{SL} Strombedarf kontrollierte Lüftung
- E_{SE} Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung

Der jeweilige Strombedarf ergibt sich aus dem Produkt der elektrischen Leistung (zeitl. Mittel) und der Betriebszeit des Gerätes, Anhaltswerte hierfür liefert Tab. 2-17.

Tab. 2-17

Betriebszeiten und mittlere Leistungsaufnahme für Elektro-Hilfsgeräte*						
	jährliche Betriebszeiten in h/a				mittl. elektr. Leistung	
	bei Nachtabschaltung in h/d				in W pro m ² EBF	
	0	4	6	12	Standard**	effizient
Umwälzpumpe Heizung	6000	5000	4500	3000	0,4	0,2
Umwälzpumpe Zirkulation	8760	7300	6570	4380	0,2	0,1
Regelung Heizung/Warmwasser	8760				0,1	0,0 (< 0,01)
Regelung Heizung (ohne WW)	6000				0,1	0,0 (< 0,01)
Umwälzpumpe Solarkreis	1000				0,4	0,2
Abluftanlage	6000				0,3	0,1
Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	6000				0,6	0,2

*) Zwischenwerte können interpoliert werden

**) wenn Projektdaten nicht bekannt

2.4 Endenergiekennwert Wärme

Der Endenergiekennwert Wärme e_{H+W} ist der auf die Energiebezugsfläche bezogene Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser. Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller Wohn- bzw. Nutzflächen eines Gebäudes, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist. Die beheizte Wohnfläche berechnet sich nach der 2. Berechnungsverordnung (ohne Balkone und Wintergärten), die beheizte Nutzfläche von Zweckbauten nach der DIN 277, Teil 2.

$$e_{H+W} = \frac{E_{H+W}}{A_{EB}} \quad [\text{kWh}/(\text{m} \cdot \text{a})] \quad (2-25)$$

E_{H+W} Endenergiebedarf Wärme (Heizung und Warmwasser) [kWh/a]
 A_{EB} Energiebezugsfläche [m²]

Der Endenergiebedarf Wärme E_{H+W} ist die Summe der jeweiligen Werte für Heizung und Warmwasser.

$$E_{H+W} = E_H + E_W \quad [\text{kWh}/\text{a}] \quad (2-26)$$

Werden mehrere unterschiedliche Energieträger eingesetzt, so wird der Endenergiebedarf und der zugehörige Endenergiekennwert jeweils für jeden Energieträger T_1, T_2, \dots getrennt ausgewiesen:

$$\begin{aligned} E_{H+W}(T_1) &= E_H(T_1) + E_W(T_1) \quad [\text{kWh}/\text{a}] \\ E_{H+W}(T_2) &= E_H(T_2) + E_W(T_2) \quad [\text{kWh}/\text{a}] \end{aligned} \quad (2-27)$$

...

Werden für die Wärmeerzeugung oder -verteilung elektrische Hilfsgeräte eingesetzt, so wird der Endenergiebedarf für den Energieträger "Strom-Mix" um einen Term ergänzt:

$$E_{H+W}(\text{Strom - Mix}) = E_H(\text{Strom - Mix}) + E_W(\text{Strom - Mix}) + E_S \quad [\text{kWh}/\text{a}] \quad (2-28)$$

E_S Strombedarf elektrische Hilfsgeräte [kWh/a]

3 Umweltwirkung

3.1 Primärenergie

Der Primärenergiebedarf für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser Q_P ist definiert:

$$Q_P = \rho(T_1) \cdot E_{H+W}(T_1) + \rho(T_2) \cdot E_{H+W}(T_2) + \dots \quad [\text{kWh/a}] \quad (3-1)$$

$\rho(T_1), \rho(T_2), \dots$ Primärenergiefaktoren der Energieträger T_1, T_2, \dots [$\text{kWh}_{\text{Prim}} / \text{kWh}_{\text{End}}$]

Der Primärenergiefaktor ρ gibt den Primärenergieaufwand für die Bereitstellung des Energieträgers wieder. Er berücksichtigt sowohl den Energieinhalt des Rohstoffs als auch die zu seinem Transport und Weiterverarbeitung ("vorgelagerte Prozeßketten") bis zur Lieferung an den Verbraucher aufgewendete Energie. Primärenergiefaktoren für übliche Endenergieträger sind in Tab. 3-1 aufgelistet.

Tab. 3-1

Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren			
		Primär- energie- Faktor	CO ₂ - Äquivalent- Emissionsfaktor ¹⁾
Endenergieträger		$\text{kWh}_{\text{Prim}} / \text{kWh}_{\text{End}}$	$\text{g} / \text{kWh}_{\text{End}}$
Brennstoffe ²⁾	Heizöl EL	1,14	310
	Erdgas	1,08	242
	Steinkohle	1,11	476
	Braunkohle	1,27	491
	Brennholz	1,07	64
Strom	Strom-Mix	3,20	666
	Heizstrom	3,04	918
"Fernwärme" ³⁾	70 % KWK	0,73	218
	35 % KWK	1,13	309
	0 % KWK	1,52	400
"Nahwärme" ⁴⁾	70 % KWK	0,72	-95
	35 % KWK	1,07	102
	0 % KWK	1,41	298

berechnet mit GEMIS 2.0
 alle Angaben für Energieträger BRD-West

¹⁾ klimawirksame Emissionen (CO₂, CH₄, CO, NMVOC, NO_x, N₂O) ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten

²⁾ Bezugsgröße: unterer Heizwert H_u

³⁾ Steinkohle-Kondensationskraftwerk (= Anteil KWK) + Heizöl-Spitzenkessel

⁴⁾ Erdaas-BHKW (=Anteil KWK) + Erdaas-Spitzenkessel
 (Zwischenwerte können interpoliert werden)

Die energetische Güte des Gebäudes einschließlich Heizungsanlage wird durch den Primärenergie-Kennwert q_P , die der Heizungsanlage durch die Primärenergie-Heizzahl $\eta_{a,P}$ charakterisiert. Damit sind Gebäude bzw. Heizungssysteme - unabhängig von dem eingesetzten Energieträger - untereinander vergleichbar.

$$q_P = \frac{Q_P}{A_{EB}} \quad [\text{kWh}/(\text{m} \cdot \text{a})]$$

$$\eta_{a,P} = \frac{Q_H + Q_W}{Q_P} \quad [-]$$

(3-2)

q_P Primärenergie-Kennwert [kWh/(m²a)]
 $\eta_{a,P}$ Primärenergie-Heizzahl [-]

3.2 Kohlendioxid-Emissionen

Auf der Basis der Endenergiebedarfswerte der jeweiligen Energieträger werden die Emissionen der klimawirksamen Gase berechnet, nämlich CO₂, CH₄, CO, NMVOC (Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe), NO_x und N₂O. Als Maß für die Treibhauswirkung wird das sogenannte äquivalente Treibhauspotential verwendet, das die Klimawirksamkeit der Gase auf äquivalente Mengen CO₂ umrechnet (CO₂-Äquivalent) /GEMIS/. Der Emissionskennwert für das CO₂-Äquivalent ist definiert:

$$u_{CO_2} = \frac{U_{CO_2}}{A_{EB}} \quad [\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{a})]$$

(3-3)

$$U_{CO_2} = \frac{1}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}} (x_{CO_2}(T_1) \cdot E_{H+W}(T_1) + x_{CO_2}(T_2) \cdot E_{H+W}(T_2) + \dots) \quad [\text{kg}/\text{a}]$$

u_{CO_2} Emissionskennwert CO₂-Äquivalent [kg/(m²a)]
 U_{CO_2} jährliche Emissionen CO₂-Äquivalent [kg/a]
 x_{CO_2} Emissionsfaktor CO₂-Äquivalent [g/kWh_{End}]

Die Emissionsfaktoren x_{CO_2} können ebenfalls Tab. 3-1 entnommen werden.

Literatur

- [Ebel 1991] Ebel, Witta: **Rechenverfahren für den Wärmeschutznachweis auf der Basis von Energiekennwerten**; IWU, Darmstadt 1991
- [Ebel et al. 1995] Ebel., W.; Eicke-Hennig, W.; Feist, W.; Groscurth, H.-M.: **Einsparungen beim Heizwärmebedarf - ein Schlüssel zum Klimaproblem**; IWU, Darmstadt 1995
- [EN 832] Europäische Norm EN 832: **Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden**, Brüssel 1994
- [Feist 1989] Feist, W.: **Das vereinfachte Heizenergiebilanzprogramm STATBIL/ENBIL. Vergleich der Ergebnisse des Programms mit Ergebnissen nach dem Netzwerkmodell von JULOTTA**; IWU, Darmstadt 1989
- [Feist 1994-1] Feist, Wolfgang: **Thermische Gebäudesimulation**; Heidelberg 1994
- [Feist 1994-2] Feist, Wolfgang: **Innere Wärmegewinne werden überschätzt**; in: **Sonnenenergie und Wärmepumpe 1/94**
- [GEMIS] Fritsche, U.; Leuchtner, J.; Matthes, F.C.; Rausch, L.; Simon, K.-H.: **Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.0**; Darmstadt 1992
- [Imkeller 1993] Imkeller-Benjes, Ulrich: **Tabellierte Heizzahlen nach dem „Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung“**; Werkbericht des Ing.-Büros ibek im Auftrag des Instituts Wohnen und Umwelt; Bremen 1993
- [Imkeller/Loga 1996] Imkeller-Benjes, Ulrich; Loga, Tobias: **Stationäre Wärmebilanzverfahren im Vergleich**; IWU, Darmstadt 1996
- [Kahlert/Laidig/Lude 1994] Kahlert, C; Laidig, M.; Lude, G.: **Parameterstudie zu Korrekturfaktoren für Nacht- und Wochenendabsenkungen**; Werkbericht des Ing.-Büros ebök im Auftrag des Instituts Wohnen und Umwelt; Tübingen 1994
- [LEG] Institut Wohnen und Umwelt: **Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung**. Hg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. 5. überarb. Aufl. Wiesbaden 1995
- [VDI 1996] Loga, T.: **Erfahrungen mit Energiekennwerten bei Wohngebäuden**; in: **Energiekennwerte - Werkzeug für den Gebäudebetrieb**. VDI-Berichte Nr. 1248; Düsseldorf 1996