

2.8	Verbrauchsgebundene Kosten der Heizung und Warmwasserbereitung	1
2.8.4	Jahresverbrauch	2
2.8.4.1	Verbrauchserfassung	2
2.8.4.2	Witterungskorrektur	3
2.8.4.3	Zeitkorrektur	6
2.8.4.4	Typische Verbrauchskennwerte im Wohnungsbau	6
2.8.5	Heiz- und Brennwert	7
2.8.6	Energiepreise	9
2.8.7	Energiekosten	10
2.8.8	Heizkosten	11
2.9	Energetische Betrachtungen	12
2.9.4	Allgemeines	12
2.9.4.1	Energiebedarf und Energieverbrauch	13
2.9.4.2	Bilanzablauf und Energieflussdiagramme	15
2.9.4.3	Abgrenzung von Nutz- und Endenergie	17
2.9.4.4	Relevante Verfahren	20
2.9.5	Energieträgerbewertung	21
2.9.6	Flächenbezug	23
2.9.7	Verbrauchsanalyse	23
2.9.7.1	Datenaufbereitung	23
2.9.7.2	Gebäudeanalyse	24
2.9.7.3	Erzeugeranalyse	26
2.9.8	Bedarfsbewertung	28
2.9.8.1	Vorgehensweise und Grundgleichungen	28
2.9.8.2	Mehrzonengebäude	30
2.9.8.3	Heizwärmebedarf	31
2.9.8.3.1	Heizperiode, Innen- und Außentemperatur	31
2.9.8.3.2	Transmission	33
2.9.8.3.3	Lüftung	37
2.9.8.3.4	Solare Fremdwärme	38
2.9.8.3.5	Innere Fremdwärme	39
2.9.8.3.6	Fremdwärmenutzungsgrad	40
2.9.8.4	Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung	41
2.9.8.5	Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung	41
2.9.8.5.1	Wärmeübergabe und Regelung	41
2.9.8.5.2	Wärmeverteilung	42
2.9.8.5.3	Wärmespeicherung	45
2.9.8.5.4	Wärmeerzeugung	47
2.9.8.5.5	Regenerative Energien	52
2.9.8.5.6	Hilfsenergien	52
2.9.8.6	Brennstoffmenge, Primärenergie und Emissionen	54
2.9.8.7	Typische Bedarfskennwerte im Wohnungsbau	54

2.8 Verbrauchsgebundene Kosten der Heizung und Warmwasserbereitung

Die Bestimmung der verbrauchsgebundenen Kosten basiert auf Energiemengen und zugehörigen Energiepreisen. In der Abrechnung werden tatsächlich erfasste Verbrauchsmengen zugrunde gelegt. Für eine Prognose (auch von Einsparungen) wird auch auf berechnete Bedarfsmengen zurückgegriffen, siehe Abschnitt 2.9.

2.8.4 Jahresverbrauch

Der erfasste Jahresverbrauch kann direkt mit Preisen belegt werden, um in Kosten umgerechnet zu werden. Für Vergleiche (unterschiedlicher Gebäude, verschiedener Abrechnungsperioden) ist eine zusätzliche Witterungs- und Zeitkorrektur sinnvoll.

2.8.4.1 Verbrauchserfassung

Die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Fernwärme werden vom Versorger mit entsprechenden Zählern als Energiemengen erfasst (bei Wärmemengenzählern durch Integration von Volumenstrom mal Temperaturdifferenz über die Zeit direkt im Rechenwerk des Zählers). Für Erdgas ergibt sich ein entsprechendes Verbrauchsvolumen im Abrechnungsintervall. Den Belegen werden die verbrauchten Mengen und die zugehörigen Messzeiträume entnommen.

Soll parallel zur Verbrauchserfassung auch eine rechnerische Energiebilanz aufgestellt werden, dienen die Verbrauchswerte der Plausibilisierung der Berechnung. Es ist sinnvoll, bei diesen Energieträgern Abrechnungsbelege der letzten 1 bis 3 Jahre auszuwerten. Nach oben sind dem Datenzeitraum keine Grenzen gesetzt, sofern die in der Vergangenheit liegenden Messperioden den zu bilanzierenden Zustand repräsentieren.

Wärmemengenzähler haben häufig ein Speicherwerk, das die Stichtagswerte (1. des Monats, 0:00 Uhr oder Monatsmittenwerte) speichert. Monatsdaten liefern weitere Erkenntnisse über die Verbraucher, siehe 2.9.7. Noch weitergehende Möglichkeiten bestehen beim Einsatz von kommunikationsfähigen Zählern (M-Bus, Funk), die in ein Energiemanagementsystem eingebunden werden können.

Bei den nicht leitungsgebundenen Energieträgern Öl, Kohle, Flüssiggas oder Holz ist zur Bestimmung von Jahresverbrauchskosten der Lagerbestand am Anfang und Ende der Messung zu achten.

Ein repräsentativer Verbrauch – z.B. für den Vergleich mit rechnerischen Energiemengen – ergibt sich aus der Auswertung längerer Zeiträume. Es empfiehlt sich, sofern vorhanden, in diesem Fall Einkaufsbelege der letzten mindestens 5 Jahre auszuwerten. Sinnvoll erfolgt die Auftragung der Verbrauchsmengen kumuliert über der Zeit in einem Diagramm mit Bildung der Ausgleichsgeraden, siehe Bild 2.8.4.1-1. Der Verbrauch innerhalb der Messzeit ergibt sich aus der Zeitdifferenz mal der Steigung.

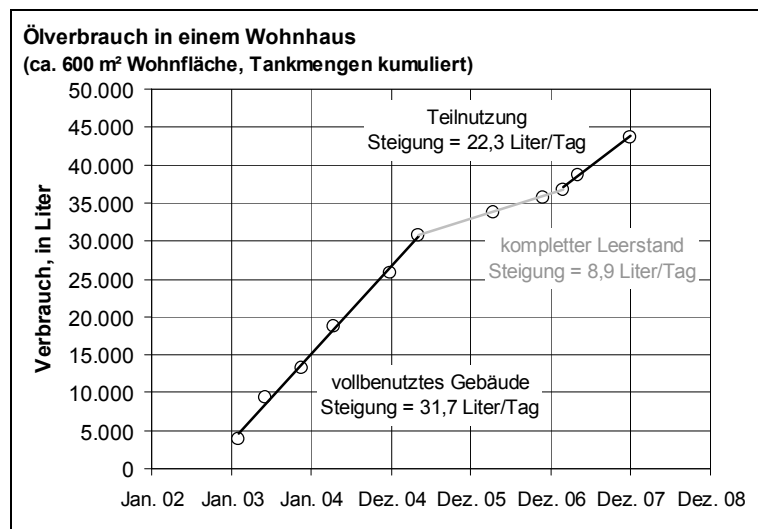


Bild 2.8.4.1-1 Kumulierter Ölverbrauch für ein Wohnhaus

Diese Art der Darstellung bietet die Chance, auch die Qualität der Messdaten oder von Einsparmaßnahmen zu überprüfen. Fehlen Rechnungsbelege, macht die Kurve einen Knick (flacher Verlauf), verläuft danach aber wieder in der typischen Steigung weiter. Wurden Einsparmaßnahmen durchgeführt oder die Nutzung geändert, ändert sich die Steigung der Gerade.

Umrechnung in Energiemengen

Sofern der Preis je Kilowattstunde angegeben ist, muss die Verbrauchsmenge entsprechend ebenfalls als Energiemenge vorliegen, um die verbrauchsgebundenen Kosten zu bestimmen. Insbesondere bei Erdgas ist die Umrechnung üblich.

Eine Tabelle mit Umrechnungsfaktoren ist in Abschnitt 2.8.5 gegeben. Sie enthält für alle Brennstoffe (Erdgas, Flüssiggas, Heizöl, Holz, Kohle) entsprechende typische Heiz- und Brennwerte. Sofern der Preis brennwertbezogen ist, muss mit dem Brennwert umgerechnet werden (Heizwert analog).

Anordnung von Zählern und Empfehlungen zur Messtechnik

Um mehr als einen Gesamtkennwert je Untersuchungsobjekt zu erhalten, empfiehlt sich die in Bild 2.8.4.1-2 beispielhaft an einem Gebäude (mit Heizung und Trinkwassererwärmung) dargestellte Ausstattung mit Zählern. Sie bietet eine genauere Analyse der Teilenergiemengen und zugehörigen Kosten.

Neben einem Primärzähler gibt es zwei Unterzähler für die vom Erzeuger abgegebenen Wärmemengen für Trinkwarmwasser und Heizung (Wärmemengenzähler bzw. Wärmezähler WMZ). Mit dem WMZ für Heizung kann in erster Näherung die dem beheizten Bereich zugeführte Wärmemenge bestimmt werden. Je nach Lage incl. oder excl. der Leitungsverluste im Keller. Analoges gilt für die Trinkwarmwasserbereitung. Aus der Differenzbildung zwischen Primärzähler und Unterzählern ergeben sich die Wärmeverluste des Erzeugers bzw. dessen Effizienz.

Sollte nur ein gemeinsamer WMZ hinter dem Erzeuger vorhanden sein, lassen sich die Anteile für Heizung und Trinkwassererwärmung nach dem in Abschnitt 2.9.7 beschriebenen Verfahren trennen. Es ist eine entsprechend häufige, unterjährige Zählerablesung erforderlich.

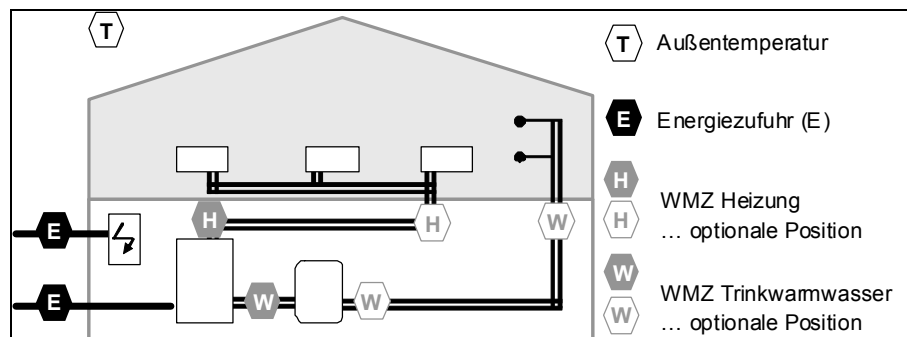


Bild 2.8.4.1-2 Positionierung von Zählern am Beispiel eines Wohngebäudes

Weitere Ausführungen zur Ausstattung von Gebäuden mit Zählern zur Detailanalyse liefert VDI 3807 Blatt 5¹.

2.8.4.2 Witterungskorrektur

Um den Energieverbrauch eines Gebäudes mit dem Verbrauch anderer (ähnlich genutzter) Gebäude oder anderer Zeiträume zu vergleichen, ist (für die witterungsabhängigen Verbrauchsanteile) eine Witterungskorrektur erforderlich. Diese gleicht zum einen unterschiedliche Außentemperaturen, zum anderen unterschiedlich lange Messintervalle aus. Streng genommen handelt es sich also nicht nur um eine reine Witterungskorrektur, sondern um eine Zeit- und Witterungskorrektur. Das Nutzerverhalten wird nicht korrigiert.

Sofern Verbrauchswerte über sehr viele Jahre vorliegen, ergibt deren Auswertung auch ohne explizite Witterungskorrektur einen repräsentativen Langzeitwert.

¹ VDI 3807; Verbrauchskennwerte für Gebäude; Blätter 1 bis 5; Beuth; Berlin; 2008 bis 2015.

Gradtagszahl und Heizgradtage

Zur Erläuterung der Thematik wird eine Unterscheidung von Gradtagszahlen und Heizgradtagen vorgestellt. Die Grafiken in Bild 2.8.4.2-1 dienen der Veranschaulichung.

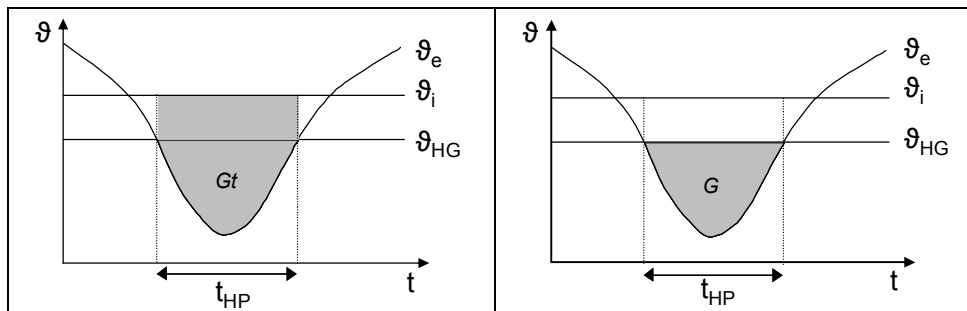


Bild 2.8.4.2-1 Schematische Darstellung von Gradtagszahlen G_t und Heizgradtagen G

Gradtagszahlen G_t sind das Flächenintegral zwischen der Innentemperatur ϑ_i und der Außentemperatur ϑ_e im Verlauf einer Heizperiode t_{HP} . Heizgradtage G sind das Flächenintegral zwischen der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und der Außentemperatur ϑ_e in einer Heizperiode t_{HP} . Praktisch gebildet werden diese Werte nicht als Flächenintegrale, sondern als tageweise summierte Temperaturdifferenzen zwischen Innen- oder Heizgrenz- und Außentemperatur, z.B. vom Deutschen Wetterdienst DWD.

Die aktuell geltende VDI 3807 unterscheidet nicht (mehr) zwischen diesen beiden Größen. Sie definiert allein die Gradtagszahl und nennt diese "Gradtage" [Kd].

Grundkorrekturgleichungen

Im Sinne der theoretischen Energiebilanzierung ist die Gradtagszahl proportional zu der Energiemenge, die ein Gebäude in der Heizzeit aufgrund von Wärmeverlusten für Transmission und Lüftung verliert. Diese Verluste werden gedeckt aus zwei Quellen: der aktiven Beheizung, z.B. mit Heizkörpern sowie aus Fremdwärmequellen (innere und solare Wärmeeinträge). Den "Umschlagpunkt" zwischen einer Versorgung des Gebäudes ausschließlich über Fremdwärmequellen ("Gewinne") beschreibt die Heizgrenztemperatur.

Liegt die Außentemperatur oberhalb der Heizgrenztemperatur werden die Verluste des Gebäudes allein von den Wärmegewinnen gedeckt. Liegt sie darunter, wird zusätzlich aktiv geheizt. Die Heizgradtage sind daher proportional zu der Energiemenge, die dem Gebäude als Nutzwärmemenge (von der Heizung z.B. über Heizkörper) zuzuführen ist. Formal korrekt müsste demnach die Witterungskorrektur mit den Heizgradtagen G erfolgen. In der Praxis werden jedoch beide Ansätze parallel nebeneinander benutzt.

Der Anteil am Gesamtwärmeverbrauch eines Gebäudes, der von der Witterung abhängt, wird nachfolgend Q_H genannt. Die Ansätze der Witterungsbereinigung gleichen aus, dass im Untersuchungsjahr eine andere Außentemperatur und damit Heizzeitlänge aufgetreten ist. Es gibt folgende zwei Witterungskorrekturgleichungen:

$$Q_{H,\text{bereinigt}} = Q_{H,\text{mess}} \cdot \frac{G_{t,\text{standard}}}{G_{t,\text{mess}}}$$

$$Q_{H,\text{bereinigt}} = Q_{H,\text{mess}} \cdot \frac{G_{\text{standard}}}{G_{\text{mess}}}$$

Ein verändertes Lüftungsverhalten der Bewohner in unterschiedlich warmen Jahren sowie die unterschiedliche Solarstrahlung werden nicht korrigiert. In der Praxis zeigt sich jedoch eine starke Abhängigkeit des Luftwechsels von der Außentemperatur bzw. vom Wetter.

Das "korrekte Verfahren" liefert für eine große Anzahl von Objekten bei zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Jahren identische witterungskorrigierte Verbräuche. Je nach Untersuchung, Witterung in den Messjahren und Umfang Stichprobe führt mal die Gradtagszahl- mal die Heizgradtagbereinigung zu einer besseren Übereinstimmung.

Im Rahmen der Energieausweiserstellung und nach VDI 3807 werden Gradtagszahlen eingesetzt. Viele Praktiker verwenden die physikalisch begründbaren Heizgradtage. In jedem Fall werden im Zähler des Korrekturbruches meist 30-Jahres-Mittelwerte für das Klima eingesetzt, im Nenner die Werte für den Messzeitraum.

Wahl einer Heizgrenztemperatur

Die Heizgrenztemperatur eines Gebäudes ist die Außentemperatur, unterhalb der geheizt wird. Oberhalb reichen die inneren und solaren Wärmegevinne aus, um auch ohne aktive Beheizung das Raumklima aufrecht zu erhalten. Für eine Witterungskorrektur muss die Heizgrenztemperatur festgelegt werden.

In der theoretischen Energiebilanzierung gilt: je geringere Wärmeverluste und je höhere Wärmegevinne ein Gebäude hat, desto niedriger liegt die rechnerische Heizgrenze. In der Praxis verwischen die gemessenen Grenzwerte. Bei unbekanntenen Verhältnissen wird daher von 15 °C als Heizgrenze ausgegangen, da dies in der Mehrzahl untersuchter – auch sehr gut gedämmter Gebäude – anzutreffen ist.

Die Höhe der Heizgrenztemperatur hängt stark von der Innentemperatur im Gebäude ab. Die real feststellbaren geringen Unterschiede von Heizgrenztemperaturen im Alt- und Neubau sprechen dafür, dass bei Gebäuden mit guter Dämmung deutlich höhere mittlere Innentemperaturen erreicht werden. Ein Hilfsmittel zur Zuordnung ist in Bild 2.8.4.2-2 gegeben.

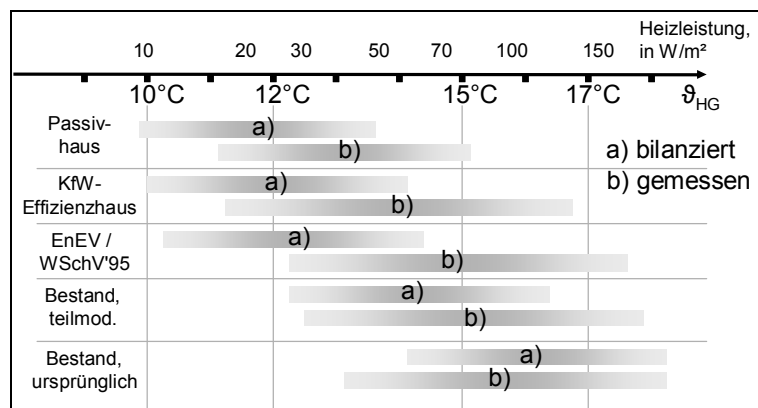


Bild 2.8.4.2-2 Typische Heizgrenztemperaturen

Eine Heizgrenztemperatur kann im konkreten Einzelfall auch messtechnisch bestimmt werden, siehe Abschnitt 2.9.7.

Ergebnisverwertung

Wird in der Witterungskorrektur das typische Klima am Standort ins Verhältnis gesetzt zum Klima in der Messperiode, ergibt sich ein typischer Verbrauch am Standort (Korrektur der speziellen Witterung im Untersuchungszeitraum). Das Ergebnis ist relevant für die Energieberatung und für die Erstellung von Energiekonzepten. Hier besteht freie Wahl hinsichtlich der Verwendung von G oder Gt zur Bereinigung.

Wird in der Witterungskorrektur ein mittleres Klima ins Verhältnis gesetzt zum Klima in der Messperiode, ergibt sich ein typischer standortunabhängiger Verbrauch (Korrektur der speziellen Witterung im Untersuchungszeitraum sowie des Standorteinflusses). Diese Vorgehensweise eignet sich für bundesweite Vergleiche. Auch der Energieausweis wird unter dieser Maßgabe erstellt. Referenzort ist in diesem Fall Potsdam. Hierbei legt die EnEV fest, dass Gradtagszahlen Gt zur Bereinigung verwendet werden müssen.

2.8.4.3 Zeitkorrektur

Zum Vergleich von Verbrauchsanteilen, die nicht (oder nur schwach) von der Witterung abhängen, erfolgt eine Zeitkorrektur. Diese gleicht unterschiedlich lange Messintervalle aus. Das Nutzerverhalten wird dabei nicht korrigiert.

Grundkorrekturgleichung

Der Anteil am Gesamtverbrauch eines Gebäudes, der nicht von der Witterung abhängt, wird nachfolgend Q_W genannt. Es gibt folgende Korrekturgleichung:

$$Q_{W,\text{bereinigt}} = Q_{W,\text{mess}} \cdot \frac{t_{\text{standard}} \text{ (bzw. } 365 \text{ d/a)}}{t_{\text{mess}}}$$

Der Index "W" wurde gewählt, weil beispielsweise der Warmwasseranteil an der Gebäudeversorgung nahezu witterungsunabhängig ist. Aber auch Stromverbrauchskennwerte für Elektrogeräte, viele Prozessenergien u. ä. fallen darunter.

Ergebnisverwertung

In jedem Bruch sind im Zähler und Nenner die entsprechenden Messtage bzw. 365 Tage/Jahr zu ergänzen. Diese Art der Normierung ist standortunabhängig. Sie kommt für die Energieberatung ebenso wie für die Energieausweiserstellung zum Einsatz.

Anteiliger witterungsunabhängiger Verbrauch

Die getrennte messtechnische Erfassung von witterungsabhängigen und witterungsunabhängigen Verbrauchsanteilen mit je einem Zähler ist optimal. Ist nur ein gemeinsamer Zähler vorhanden, ist die Bestimmung des witterungsunabhängigen Grundverbrauchs durch eine Sommermessung oder Energieanalyse möglich, vgl. Abschnitt 2.9.7. Alternativ erfolgt eine rechnerische Abschätzung, siehe Abschnitt 2.9.8.

Insgesamt genauer ist die Abschätzung der Endenergie für die Trinkwassererwärmung anhand von Personenzahlen. Jedoch sind dann zusätzlich Anlagentechnikverluste (Verteilung, Speicherung, Erzeugung) zu berücksichtigen. Im Wohnbau kann der Trinkwarmwasseranteil anhand nachfolgender Gleichung mit Hilfe der Personenzahl geschätzt werden:

$$Q_{W,\text{mess}} \approx \frac{1}{\eta_{\text{Gesamt}}} \cdot 600 \frac{\text{kWh}}{\text{Person} \cdot \text{a}} \cdot \text{Personen}$$

Ein typischer Nutzwärmeverbrauch für Trinkwarmwasser (= aus dem Hahn gezapfte Energiemenge) liegt bei 600 kWh/(Person a). Als Nutzungsgrade für das Gesamtsystem können in Anlehnung an die Heizkostenverordnung $\eta_{\text{Gesamt}} = 0,5$ für Kesselanlagen und $\eta_{\text{Gesamt}} = 0,6$ für Fernwärmeanlagen verwendet werden. Sind genauere Angaben über die Nutzungsgrade bzw. Technikverluste bekannt, können selbstverständlich diese Werte eingesetzt werden.

2.8.4.4 Typische Verbrauchskennwerte im Wohnungsbau

Für Gebäude im Allgemeinen und den Wohnungsbau im speziellen gibt es eine sehr gute Datenbasis für Vergleichskennwerte und Typologien. Nachfolgende Tafeln geben einen Überblick über statistische Mittelwerte des Verbrauchs nach Energieträger, Art der Warmwasserbereitung und Baustandard.

Der typische mittlere Verbrauch eines Wohnbaus mit vollständig zentraler Versorgung durch einen Kessel liegt bei knapp 160 kWh/(m²a), wovon etwa 30 kWh/(m²a) auf die Trinkwarmwasserbereitung entfallen. Beide Werte sind auf den Heizwert und die Wohnfläche bezogen. Wenn ein Gebäude keine zentrale Warmwasserbereitung aufweist, ist sein Raumheizungsbedarf um etwa 16 kWh/(m²a) höher. Es gibt mehrere Gründe, unter anderem auch die fehlende Abwärme der Trinkwarmwasserzirkulationsleitungen, die in der genannten Größenordnung liegt.

Tafel 2.8.4.4-1 Energieverbrauch MFH-Wohnungsbau nach Energieträger und Art der Warmwasserbereitung, witterungskorrigiert, heizwertbezogen und auf die Wohnfläche bezogen²

in kWh/(m ² a)	Gebäude		
	mit dezentraler Warmwasserbereitung	Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung	
Energieträger	Raumheizung	Raumheizung	Warmwasser
Erdgas	142	127	32
Heizöl	140	129	28
Fernwärme	112	91	26

Tafel 2.8.4.4-2 Heizenergieverbrauch MFH-Wohnungsbau nach Gebäudegröße, Energieträger und Baustandard, witterungskorrigiert, heizwertbezogen und auf die Wohnfläche bezogen²

in kWh/(m ² a)	Fernwärme		Gas/Öl	
	2 WE	>16 WE	2 WE	>16WE
Altbau bis 1977 unsaniert	... 126	... 94	... 147	... 130
1977 – 1994	126 ... 102	94 ... 80	147 ... 127	130 ... 110
1995 - 2001	102 ... 78	80 ... 70	127 ... 103	110 ... 91
2002 - 2008	78 ... 56	70 ... 57	103 ... 76	91 ... 66
2009 und jünger	56 ...	57 ...	76 ...	66 ...

Hinsichtlich des Vergleiches von Energiekennwerten aus unterschiedlichen Datenquellen ist im Wohnungsbau zu beachten:

- die Mehrzahl der in der Literatur veröffentlichten Kennwerte sind heizwertbezogen angegeben, nur sehr selten gibt es brennwertbezogene Werte (bei Unklarheit der Datenlage: Heizwert annehmen),
- es existieren parallel nebeneinander wohnflächenbezogene Kennwerte (regulär von Abrechnungsunternehmen oder aus der Wohnungswirtschaft veröffentlicht) und gebäudenutzflächenbezogene Werte (regulär im Zusammenhang mit der EnEV veröffentlicht, z.B. von der Deutschen Energieagentur und in Studien der Ministerien),
- es sind verbrauchs- und bedarfsbezogene Kennwerte veröffentlicht, wobei in Studien zu künftigen Entwicklungsszenarien, den Begleitstudien zur EnEV, der Mehrzahl von Forschungsvorhaben zum Thema Energieeinsparung eher der Bedarf dominiert.

Zum Vergleich finden sich Bedarfskennwerte in Abschnitt 2.9.8.7.

2.8.5 Heiz- und Brennwert

Zur Umrechnung des Brennstoffverbrauchs in Energiemengen kommen Heiz- oder Brennwerte zur Anwendung. Typische Werte siehe Tafel 2.8.4.4-1. Die Angaben beziehen sich auf die an Endkunden (Haushalte, Kleinabnehmer) gelieferten Stoffe und deren Qualitäten.

Der dimensionslose Umrechnungsfaktor $f_{HS/HL}$ gibt dabei an, welchen möglichen (nicht garantierten!) Mehrnutzen die Abgaskondensation bei dem jeweiligen Brennstoff hat. Je höher der Kohlenstoffanteil und geringer der Wasserstoffanteil in dem Brennstoff ist, desto geringer fällt der Brennwerteffekt aus (da der Wasserdampfanteil im Abgas sinkt) und desto kleiner ist der Umrechnungsfaktor.

Real verfügbare Erdgase weisen Brennwerte im Bereich der genannten Qualitäten L (low) bis H (high) auf. Seltener liegen Werte außerhalb des tabellierten Bereiches. Der Brennwert kann vom Versorger erfragt werden. Der Umrechnungsfaktor $f_{HS/HL} = 1,11$ gilt in erster Näherung für alle Erdgase.

² Techem, Energiekennwerte 2014 – Hilfen für den Wohnungswirt; Eschborn; 2014.

Tafel 2.8.4.4-1 Typische Heizwerte H_i und Brennwerte H_s zur Umrechnung in Energiemengen

	Einheit	Heizwert H_i (H_u)	Brennwert H_s (H_o)	Umrechnung $f_{HS/Hi}$	Kondensations-temperatur	Anmerkungen
Erdgas H	kWh/m ³	10,4	11,5	1,11	56°C	Bezug: Normkubikmeter ca. 0,76 kg/m ³
Erdgas L		8,9	9,8	1,11	56°C	Bezug: Normkubikmeter ca. 0,76 kg/m ³
Flüssiggas		30,4	32,8	1,08	53°C	Bezug: Normkubikmeter ca. 2,36 kg/m ³
Heizöl EL	kWh/l	10,0	10,6	1,06	47°C	ca. 860 kg/m ³
Braunkohlebriketts	kWh/kg	5,3	5,6	1,06	k. A.	ca. 700 kg/m ³ geschüttet ca. 1000 kg/m ³ gesetzt
Steinkohlebriketts		9,0	9,2	1,02	k. A.	ca. 760 kg/m ³ Schüttdichte für Nüsse und Eierbriketts
Koks		8,2	8,3	1,01	k. A.	
Laubholz, Mix	kWh/kg	4,1	4,36	1,06	k. A.	ca. 560 kg/m ³ (Festmeter) ca. 440 kg/rm (geschichtet) ca. 300 kg/srm (Scheitholz geschüttet)
Nadelholz, Mix		4,4	4,68	1,06	k. A.	ca. 450 kg/m ³ (Festmeter) ca. 330 kg/rm (geschichtet) ca. 230 kg/srm (Scheitholz geschüttet)
Holzhack-schnitzel, Mix		4,3	4,57	1,06	k. A.	ca. 210 ... 250 kg/m ³ ge- schüttet
Holzpellets		4,9	5,21	1,06	k. A.	ca. 1200 kg/m ³ (Einzelpellet) ca. 650 kg/m ³ geschüttet

Wie aus Tafel 2.8.4.4-1 ersichtlich ist, können zu jedem Brennstoff zwei Angaben – heiz- und brennwertbezogene Energiemengen – erfolgen. Tafel 2.8.4.4-2 gibt Hinweise, wann die heiz- und die brennwertbezogene Angabe üblich bzw. vorgesehen ist.

Tafel 2.8.4.4-2 Anwendungsfälle für heiz- und brennwertbezogene Größen

Heizwert	Brennwert
End- und Primärenergie im Verbrauchsausweis der EnEV (bei Wohn- und Nichtwohnbauten)	Verbrauchsabrechnung (der Gasversorger)
End- und Primärenergie im Bedarfsausweis der EnEV bei Berechnung nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 (bei Wohnwohnbauten)	-
Primärenergie im Bedarfsausweis der EnEV bei Berechnung nach DIN V 18599 (bei Wohn- und Nichtwohnbauten)	Endenergie im Bedarfsausweis der EnEV bei Berechnung nach DIN V 18599 (bei Wohn- und Nichtwohnbauten)
frühere und meist heute noch gebräuchliche Effizienzangaben (Wirkungs- und Nutzungsgrade usw.) für Kessel, BHKW u. a. brennstoffbetriebene Wärmeerzeuger von Geräteherstellern	neuere und noch nicht flächendeckend gebräuchliche Effizienzangaben (Wirkungs- und Nutzungsgrade usw.) für Kessel, BHKW u. a. brennstoffbetriebene Wärmeerzeuger von Geräteherstellern
Effizienzangaben (Wirkungsgrad, Aufwandszahl usw.) für Kessel bei Energiebilanzierung nach DIN V 4701-10	Effizienzangaben (Wirkungsgrad, Nutzungsgrad usw.) für Kessel, BHKW, brennstoffbetriebene Wärmepumpen bei Energiebilanzierung nach DIN V 18599
die Mehrzahl der Energiekennwerte (Bedarf und Verbrauch) aus der Literatur, z.B. in VDI 3807	-

Soll ein Vergleich von Größen aus der linken und rechten Spalte erfolgen, kommt der Umrechnungsfaktor $f_{HS/Hi}$ aus Tafel 2.8.4.4-1 zum Einsatz.

2.8.6 Energiepreise

Da Endenergiemengen heiz- und brennwertbezogen angegeben werden können, gilt das auch für die Preise, siehe Beispiel in Tafel 2.8.4.4-1. Bei der Kostenbilanz müssen beide Größen – Energiemengen und Preise – den gleichen Bezug haben.

Tafel 2.8.4.4-1 Beispielhafte heiz- und brennwertbezogene Preise

	stoffbezogene Angaben	brennwertbezogene Angaben	heizwertbezogene Angaben
Erdgasverbrauch, beispielhaft	1000 m ³	1000 m ³	1000 m ³
Energiegehalt, beispielhaft	- nicht notwendig -	H _s = 10,58 kWh _{Hs} /m ³	H _i = 9,53 kWh _{Hi} /m ³
Energiemenge	- nicht notwendig -	10.580 kWh _{Hs}	9.530 kWh _{Hi}
gerundeter Preis	0,686 €/m ³	0,065 €/kWh _{Hs}	0,072 €/kWh _{Hi}
Kosten	686 €	686 €	686 €
Anmerkungen	so wird nicht abgerechnet, weil Erdgase schwankende Energiegehalte je Kubikmeter haben.	übliche Abrechnungsart beim Gasversorger, aber unübliche Angabe für Endenergiemengen in Bedarfsbilanzen.	so wird nicht abgerechnet, aber die Preise sind kompatibel zu den meisten Energieangaben aus Bedarfsbilanzen.

Arbeitspreis und Mischpreis

Strenggenommen sind die verbrauchsgebundenen Kosten reine Arbeitskosten (Verbrauchsmenge x Arbeitspreis). In der Realität enthält die Kostenabrechnung zusätzliche Anteile für:

- leistungsunabhängige Anschlusskosten [€/a] oder [€/(m²a)]
- Leistungsbereitstellung (Leistungspreis) [€/(kW · a)]
- Zählermieten, Messpreise, Ablesegebühren [€/a]

Die genannten Kostenbestandteile können in einen Energiemischpreis eingerechnet werden. Es ist dann die Abhängigkeit von der Energiemenge zu bedenken, insbesondere bei Berechnungen von Energiekosteneinsparungen, siehe Beispiel in Bild 2.8.4.4-1.

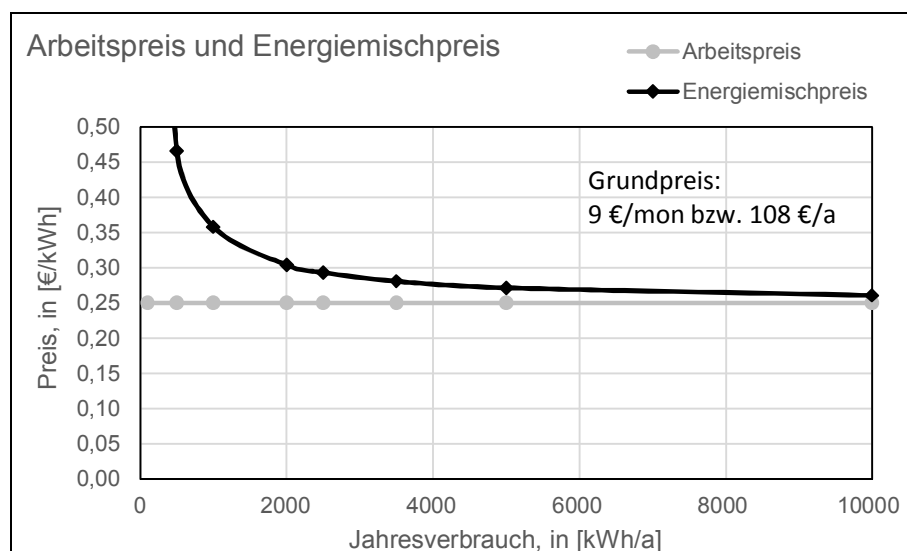


Bild 2.8.4.4-1 Beispielhafter Energiemischpreis für Strom bei einem Kleinverbraucher

Beispiel: vor Umsetzung von Einsparmaßnahmen beträgt der Strombezug 4000 kWh/a, die Gesamtkosten betragen 1108 €/a (1000 €/a + 108 €/a). Der Mischpreis liegt bei 0,277 €/kWh. Mit Einsparmaßnahmen soll die Endenergiemenge halbiert werden, somit ergeben sich Gesamtkosten von 608 €/a (500 €/a + 108 €/a) und ein Mischpreis von 0,304 €/kWh. Die Energiekostensparnis liegt bei 500 €/a. Falsch wäre die Berechnung: 0,277 €/kWh · 2000 kWh/a = 555 €/a.

Preissteigerungen

Bild 2.8.4.4-2 zeigt Endverbraucherpreise verschiedener Energieträger. Die Angaben sind nominal (nicht inflationsbereinigt) und enthalten alle Steuern und Abgaben.

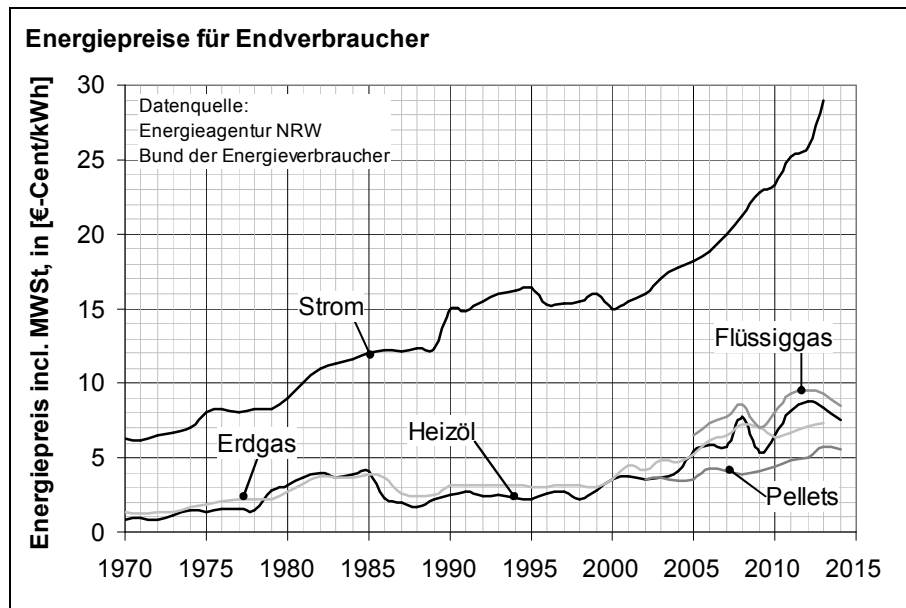


Bild 2.8.4.4-2 Energiepreisentwicklung für Endverbraucher³

Trends der Energiepreisentwicklung werden regulär bei der Erstellung von Energiekonzepten oder anderen Prognosen der Entwicklung von Heizkosten berücksichtigt. Im Jahr 2015 ergab sich für die Heizölpreise ein drastischer Abfall. Von einzelnen Seiten wird ein weiteres Absinken bzw. kein weiterer Anstieg über längere Zeiträume erwartet (ähnliche Situation wie im Zeitraum 1985 ... 2004). Da die Höhe der Preissteigerung nicht prognostizierbar ist, ergeben sich Berechnungsszenarien, z.B.

- eine Variante ohne Energiepreisverteuerung,
- weitere Varianten mit nominaler Energiepreisverteuerung von 3 ... 6 ... 9 %/a (dies entspricht je nach Annahme der allgemeinen Inflation realen Preissteigerungen von 1 ... 6 %/a)

2.8.7 Energiekosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten K [€/a] einer Heizungsanlage setzen sich im Wesentlichen aus zwei Teilkomponenten zusammen:

- Kosten für den thermischen Hauptenergieträger – meist ein Brennstoff – resultierend aus der Endenergiemenge Q und zugehörigem Preis k je Energieeinheit (z.B. €/kWh)
- Kosten für elektrische Hilfsenergien Q_{el} der Fördereinrichtungen (Pumpen, Ventilatoren), die unmittelbar bei der Versorgung des Gebäudes auftreten

Jede Gruppe dieser Energien wird zur Kostenermittlung mit ihrem spezifischen Preis multipliziert. Werden mehrere Energieträger eingesetzt, ergeben sich summierte Kosten.

$$K = \sum k_x \cdot Q_x + k_{el} \cdot Q_{el}$$

³ Energieagentur Nordrhein-Westfalen, Bund der Energieverbraucher, 2015.

2.8.8 Heizkosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung sind Teile der Heizkosten. Darüber hinaus fallen unter die Heizkosten folgende Aufwendungen: Betriebsstrom, Überwachung und Pflege der Anlage, Reinigung der Anlage und des Betriebsraumes, Schornsteinfegerkosten, Zählermieten, Abrechnungsgebühren und Eichkosten.

Detaillierte Regelungen siehe aktuelle Heizkostenverordnung (vom 05.10.2009) sowie zugehörige Rechtsprechung. Die Verordnung regelt u. a. die Verteilung der Kosten auf die Nutzer. Der Gebäudeeigentümer ist verpflichtet den anteiligen Verbrauch der Nutzer an Wärme und Warmwasser zu erfassen und dafür verbrauchserfassende Geräte installieren. Nutzer müssen dieses dulden.

Der Warmwasseranteil an der Energiemenge ist seit 1.1.2014 mit Wärmemengenzähler zu erfassen. In Ausnahmefällen ist die Berechnung über Jahreswarmwassermenge oder Wohnfläche zulässig.

Der Wärmeverbrauch einer jeden Nutzeinheit ergibt sich aus einer Anteilsberechnung. Es werden ins Verhältnis gesetzt die in der Nutzeinheit erfassten Einheiten zu den Gesamteinheiten im Objekt. "Einheiten" sind erfasste Energiemengen aus Wärmehzählern oder dimensionslose Messwerte aus Heizkostenverteilern. Analog erfolgt die Aufteilung der Warmwassermengen.

Die Heizkosten ergeben sich aus einer gewichteten Abrechnung nach Fläche (30 ... 50 %) und Verbrauch (70 ... 50 %). Anstelle der Wohn- oder Nutzfläche kann auch umbauter Raum zugrunde gelegt werden.

Die Heizkostenverordnung muss nicht angewendet werden in Gebäuden mit einem Heizwärmebedarf von $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$, d.h. Passivhäusern. Wegen der sehr geringen Energiekosten, sind die Kosten der Abrechnung unverhältnismäßig hoch.

In Alters-, Pflege-, Studenten- und Lehrlingsheimen können ebenfalls Warmmietverträge geschlossen werden. Gleiches gilt für Gebäude, die überwiegend mit Wärme aus Wärmerückgewinnungs-, Wärmepumpen-, Solar-, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen oder Abwärmeeanlagen versorgt werden.

Beispiel:

- Mehrfamilienhaus, 10 WE
- Gesamtkosten incl. Schornsteinfeger usw.: 9000 €
- Gesamtverbrauch: 100.000 kWh für Heizöl
- gemessene Warmwassermenge: 23.000 kWh, d.h. 23 % Warmwasseranteil und 77 % Heizungsanteil
- Umlageprinzip: 40 % nach Fläche, 60 % nach Verbrauch
- Wohnfläche: gesamt 650 m², Beispielwohnung 78 m² (entspricht 12 % Flächenanteil)
- Erfasste Warmwasservolumina: gesamt 158 m³, Beispielwohnung 23,7 m³ (entspricht 15 % Warmwasserverbrauchsanteil)
- Erfasste Einheiten der Heizkostenverteiler: gesamt 58.000, Beispielwohnung 5220 (entspricht 9 % Heizungsverbrauchsanteil)
- Heizkosten:

$$\begin{aligned}K_{\text{Wohnung}} &= 9000\text{€} \cdot (0,23 \cdot [0,4 \cdot 0,12 + 0,6 \cdot 0,15] + 0,77 \cdot [0,4 \cdot 0,12 + 0,6 \cdot 0,09]) \\ &= 2070\text{€} \cdot [0,4 \cdot 0,12 + 0,6 \cdot 0,15] + 6930\text{€} \cdot [0,4 \cdot 0,12 + 0,6 \cdot 0,09] \\ &= 828\text{€} \cdot 0,12 + 1242\text{€} \cdot 0,15 + 2772\text{€} \cdot 0,12 + 4158\text{€} \cdot 0,09 \\ &= 99,36\text{€} + 186,30\text{€} + 332,64\text{€} + 364,22\text{€} \\ &= 992,52\text{€}\end{aligned}$$

Anteilig müssen auf alle Nutzer für Warmwasser 2070 € und für Heizung 6930 € umgelegt werden. Wegen des gewählten Umlageschlüssels werden im Bereich Warmwasser 828 € nach Fläche und 1242 € nach Verbrauch verteilt. Die Beispielwohnung hat 12 % Flächenanteil, zahlt also für Trinkwarmwasser 99,36 € flächenbezogen. Darüber hinaus hat sie 15 % Warmwasserverbrauchsanteil und zahlt dafür weitere 186,30 €. Heizung analog. Insgesamt sind 992,52 € zu zahlen.

Die Wohnung ist mit 12 % Flächenanteil überdurchschnittlich groß. Der Heizungsanteils von 9 % ist unterdurchschnittlich, 15 % Verbrauchsanteil Warmwasser sind deutlich überdurchschnittlich. Alles in allem zahlen die Nutzer dieser Wohnung ca. 11 % der Gesamtrechnung.

Ungerechtigkeitsprobleme

Folgende Ungerechtigkeitsprobleme sind insbesondere im Neubau oder nach baulichen Modernisierungen festzustellen:

Wegen der guten Wärmedämmung der Gebäude nach außen (aber hohen U-Werten zwischen den Nutzeinheiten) nimmt die Relevanz der Wärmeströme zwischen den Wohnungen stark zu. Schon kleine Temperaturdifferenzen reichen aus, um Nachbarräume komplett mitzubeheizen. Abhilfe:

- Warmmietverträge und konsequente Begrenzung der Wärmeabgabe durch hydraulische Einregulierung des Systems (Vorbeugen vor Verschwendung),
- thermische Entkopplung der Nutzeinheiten untereinander.

Wärme wird im großen Maße über schlecht oder gar nicht gedämmte Leitungen (Steigestränge, Etagenringleitungen) in die Räume gebracht. Diese Wärme wird im Regelfall nicht erfasst, aber dennoch bezahlt und umgelegt. Der Anteil der nicht erfassten Rohrabwärme steigt nach der Wärmedämmung der Gebäudehülle. Es kann zu Überversorgung von Räumen (insbesondere Mittelgeschosse bzw. Räume mit hohem Rohranteil) kommen. Abhilfe:

- Dämmung der Leitungen im beheizten Bereich,
- Absenken von Systemtemperaturen (wenn möglich),
- Verkürzung der Netze, ggf. Rückbau,
- Erfassung der Rohrabwärme (behebt nicht das Überwärmungsproblem).

2.9 Energetische Betrachtungen

Die energetische Bewertung eines Gebäudes hinsichtlich der Wärmeversorgung (meist Heizung und Trinkwassererwärmung) kann mit Hilfe von gemessenen Verbrauchswerten und/oder berechneten Bedarfswerten erfolgen. Beide Ansätze werden nachfolgend erläutert.

2.9.4 Allgemeines

Die Höhe der benötigten thermischen Energie des Gebäudes Q hängt von einer großen Anzahl von Faktoren ab. Wichtige Einflüsse sind:

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

In jedem Fall beeinflussen sich Baukörper, Anlagentechnik und Nutzung eines Gebäudes gegenseitig.

2.9.4.1 Energiebedarf und Energieverbrauch

Der Energiebedarf ist eine rechnerische Energiemenge unter Annahme von definierten Nutzungsranddaten und sonstigen äußeren Einflüssen. Der Energieverbrauch ist eine gemessene Energiemenge unter Einbezug realer Nutzungsranddaten und sonstigen äußeren Einflüsse.

Sofern die Nutzungsranddaten (z.B. Raumtemperaturen bei der Gebäudebewertung, Häufigkeiten bestimmter Teillastzustände bei der Kesselbewertung), die der Energiebedarfsberechnung zugrunde liegen auch den realen Randdaten entsprechen, können Bedarf und Verbrauch zahlenmäßig gleich sein. Gleiches gilt für andere äußere Randdaten (z.B. Außentemperaturen).

Bedarfsberechnungen sind meist Grundlage für Energiekonzepte. Die Entscheidungsfindung basiert regulär auf dem rechnerischen Vergleich von mindestens zwei Alternativen – Bestand oder Sanierung, Neubaukonzept 1 oder 2, Maschine A oder B. Die rechnerische Differenzenergiemenge ΔQ wird in Emissionsänderungen oder Energiekostensparnis umgerechnet.

Der rechnerischen Einsparprognose sind möglichst realistische Randdaten zugrunde zu legen. Dies spricht für den Einbezug von Verbrauchswerten in die Bestandsenergiebilanz (Abgleich von Bedarf und Verbrauch).

Es ist sinnvoll, vor einer geplanten Verbesserung, also begleitend zur theoretischen Ausarbeitung des Energiekonzeptes Messungen von Verbrauchs- und Betriebsdaten vorzunehmen.

Sinnvoll und in der Praxis erprobt sind Zeiträume von einem Jahr (mit permanenten oder punktuellen Messungen). Diese Empfehlung ergibt sich für ein Einfamilienhaus genauso wie für eine Wäscherei oder eine Schule. Lediglich bei witterungsunabhängigen Prozessen oder Maschinen (Produktionsstrecke, Aufzüge) können Messzeiträume auch kürzer ausfallen.

Wohnungsbau

Dass die Verwendung von Standardranddaten bei der energetischen Bewertung von Wohnbauten auch zu deutlichen Abweichungen zwischen der berechneten Endenergie (Abszisse) und dem witterungskorrigierten Verbrauch (Ordinate) führen kann, zeigt Bild 2.9.4.1-1. Es lassen sich Abweichungen um den Faktor 2 ... 4 in beide Richtungen feststellen.

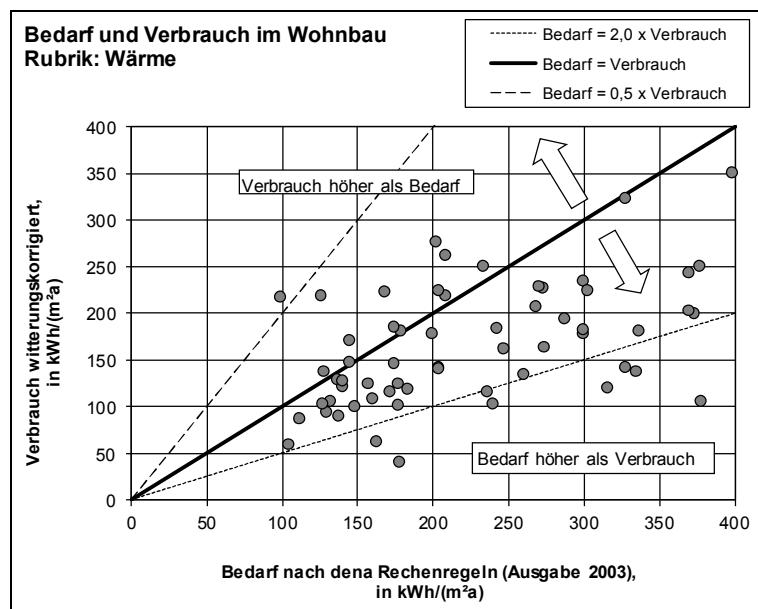


Bild 2.9.4.1-1 Endenergiebedarf und -verbrauch Wärme für eine Stichprobe von ca. 60 Wohnbauten, Werte heizwertbezogen und bezogen auf die Fläche A_N der EnEV⁴

⁴ Wolff, Jagnow; Optimus; Abschlussbericht zum DBU Projekt; Wolfenbüttel; 2005.

Als Grundlage für eine sinnvolle Energiekostenschätzung (und Einsparprognosen) sind viele Datenpunkte unbrauchbar, weil die Abweichung zwischen rechnerischem Bedarf und der Realität deutlich zu groß ist. Insbesondere beim Altbau mit Verbrauchskennzahlen über ca. 150 kWh/(m²a) und Bedarfskennzahlen über ca. 200 kWh/(m²a) geht die Schere weit auseinander. Der rechnerische Kennwert liegt weit über dem gemessenen.

Größte Fehlerpotentiale und Fehlannahmen bei der Berechnung des Energiebedarfs – in der Reihenfolge einer für den Wohnbaubestand typischen Ergebnisrelevanz der Einflussparameter:

- Innentemperatur (incl. räumliche und zeitliche Teilbeheizung des Gebäudes),
- wärmetechnische Qualität der Regelbauteile (U-Werte) und Wärmebrücken,
- Leitungslängen und Temperaturen der Wärmeverteilnetze für Heizung und Trinkwarmwasser,
- Qualitätssicherung in Planung und Ausführung (z. B. Hydraulischer Abgleich)
- Luftwechsel (incl. räumliche und zeitliche Teilbelüftung des Gebäudes),
- Warmwasserbedarf,
- Erzeugereffizienz (bei Anlagen älter 20 ... 30 Jahre ggf. relevanter als die vorgenannten Einflüsse)

Nichtwohnungsbau

Die Problematik ist im Nichtwohnbau grundsätzlich ähnlich gelagert. Bild 2.9.4.1-2 zeigt eine Übersicht von Wärmeenergiebedarf und -verbrauch, Bild 2.9.4.1-3 entsprechend für den Energieträger Strom. Sowohl die Verbrauchswerte als auch die Bedarfswerte wurden so ermittelt, dass sie einem Energieausweis zugrunde gelegt werden könnten. Es gelten also u. a. Standardannahmen für das Nutzerverhalten als auch die Klimadaten.

Insbesondere bei Gebäuden im Bestand wird mit schlechter werdender Substanz die Schere zwischen Wärmebedarf und Wärmeverbrauch immer größer (Bedarf ist größer als Verbrauch).

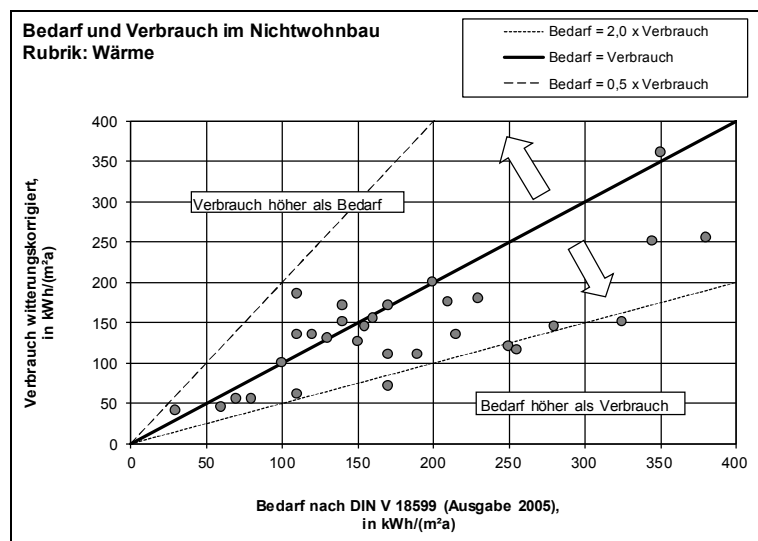


Bild 2.9.4.1-2 Endenergiebedarf und -verbrauch Wärme für eine Stichprobe von ca. 30 Nichtwohnbauten, Werte brennwertbezogen und bezogen auf die Nettogrundfläche A_{NGF} ⁵

⁵ Erhorn-Kluttig, Erhorn, Gruber; Evaluierung des dena Feldversuchs Energieausweis für Nichtwohngebäude; Stuttgart; 2005.

Die Einflüsse auf den Energiebedarf für Wärme sind vergleichbar mit denen bei Wohnbauten, jedoch wird die Ergebnisrelevanz der Einflüsse etwas anders eingeschätzt:

- Innentemperatur (incl. räumliche und zeitliche Teilbeheizung des Gebäudes),
- Luftwechsel (incl. räumliche und zeitliche Teilbelüftung des Gebäudes),
- wärmetechnische Qualität der Regelbauteile (U-Werte) und Wärmebrücken,
- Qualitätssicherung in Planung und Ausführung (z. B. Hydraulischer Abgleich)
- Leitungslängen und Temperaturen der Wärmeverteilnetze,
- Erzeugereffizienz (bei Anlagen älter 20 ... 30 Jahre ggf. relevanter als die vorgenannten Einflüsse)
- Warmwasserbedarf.

Der Stromenergiekennwert enthält – rechnerisch – die Aufwendungen für die Beleuchtung, ggf. mechanische Lüftung, Heizung und Trinkwarmwasserbereitung und alle Hilfsaufwendungen der Wärme-, Kälte- und Lüftungsanlagen (Pumpen, Regelung usw.). Das erklärt den sehr großen Unterschied zum Verbrauch, der auch alle anderen Stromnutzungen enthält. Dies führt zu einer teilweise riesigen Abweichung (bis Faktor 9 Bild 2.9.4.1-3) in zwischen Bedarf und Verbrauch, wenn Produktions- und Werkstätten bewertet werden.

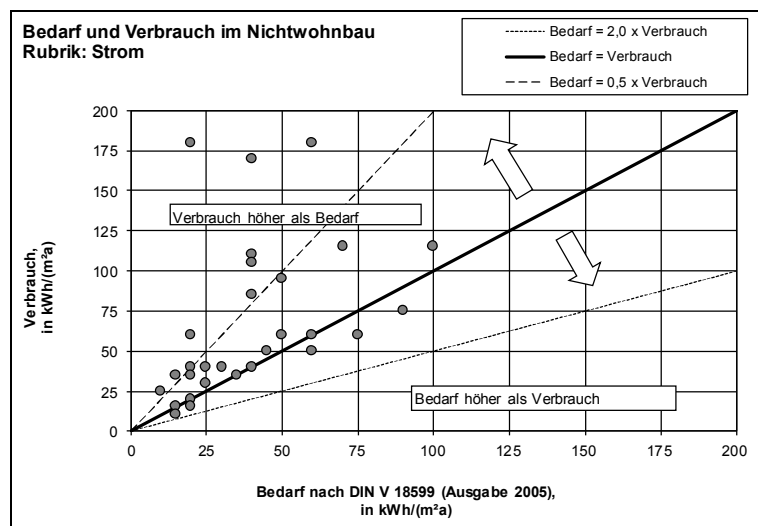


Bild 2.9.4.1-3 Endenergiebedarf und -verbrauch Strom für eine Stichprobe von ca. 30 Nichtwohnbauten, Werte bezogen auf die Nettogrundfläche A_{NGF} ⁵

2.9.4.2 Bilanzablauf und Energieflussdiagramme

Die Verbrauchsanalyse folgt dem Energiefluss. Beginnend mit der gemessenen Energiemenge (z. B. Endenergie ⑦) werden Verluste und Gewinne bestimmt (Zwischenschritte "a" bis "c") und somit der Nutzen ermittelt (Nutzen ①) – wenn er keine Messgröße ist. Bilanzierung von links nach rechts, also vom Aufwand zum Nutzen.

Die Energiebedarfsbilanz beginnt regulär bei der Feststellung oder Festlegung eines Nutzens. Die Rechenoperationen für komplexe Verbraucher verfolgen alle vorgelagerten Prozesse anschließend entgegen des Energieflusses. Die Bilanzrichtung erfolgt in Richtung der Bedarfsentwicklung (vom Nutzen ① über die Zwischenschritte "a" bis "c" bis zur Endenergie ⑦). Bilanzierung von rechts nach links, also vom Nutzen zum Aufwand, entgegen des Energieflusses, siehe Bild 2.9.4.2-1.

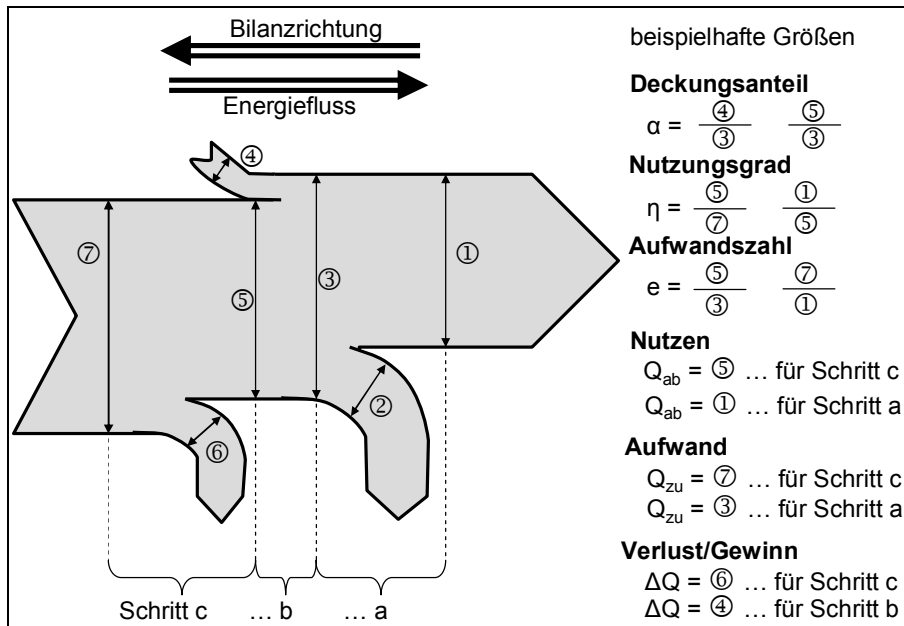


Bild 2.9.4.2-1 Energiefluss und Bilanzrichtung, wichtige Bilanzgrößen

Erläuterung zu Bild 2.9.4.2-1: dargestellt ist das Energieflussdiagramm für die Trinkwassererwärmung.

Zunächst wird die benötigte Nutzenergie (①) ermittelt, d.h. die im gezapften Trinkwarmwasser enthaltene Energiemenge. Anschließend werden mit der Anlagentechnik verbundene Verlust- und Gewinngrößen bestimmt. In der Reihenfolge entgegen des Energieflusses: Verteil- und Speicherverluste (②, Schritt "a"), Gewinn einer Solarthermieanlage (④, Schritt "b"), Abgas-, Strahlungs- und Betriebsbereitschaftsverluste der Erzeugung über einen Kessel (⑥, Schritt "c"). Ergebnis ist die Endenergie (⑦)

Die Bewertung aller Prozesse zwischen Nutz- und Endenergie erfolgt mit Hilfsgrößen bzw. Teilkennwerten. Dies sind absolute bzw. einheitenbehaftete Größen (②, ④, ⑥, in kWh, kWh/m² o. ä.), die addiert oder subtrahiert werden. Oder es wird auf relative bzw. dimensionslose Größen zurückgegriffen. Dies sind Nutzungsgrade η (Nutzen je Aufwand) oder Aufwandszahlen e (Aufwand je Nutzen), die einen oder mehrere zusammengefasste Prozessschritte bewerten. In Bild 2.9.4.2-1 sind einige, aber nicht alle möglichen Nutzungsgrade und Aufwandszahlen dargestellt.

Bei der Beschreibung einer Energiebilanz werden auch Deckungsanteile α verwendet, wenn parallel ablaufende Prozesse beschrieben werden. Im Beispiel wären das die Solarthermieanlage (Deckungsanteil ④/③) und der Kessel (Deckungsanteil ⑤/③). Die Summe aller Deckungsanteile (eines Prozessschrittes) ist 1,0. Deckungsanteile sind dimensionslose, relative Größen (Anteilswerte).

Das Bilanzflussbild ist reproduzierbar, wenn für jeden Prozessschritt zwischen Aufwand und Nutzen entweder eine Verlust/Gewinnenergiemenge (additiv, einheitenbehaftet) oder relative Größen (multiplikativ, dimensionslos) zur Beschreibung bekannt sind. Viele Energiebilanzverfahren mischen die Verwendung von einheitenbehafteten und dimensionslosen Größen.

Hinweis: die Begriffe "Gewinne und Verluste" stehen (unter anderem in vielen einschlägigen Regelwerken) für Energieströme, die in den vorher definierten Bilanzraum von außen eindringen oder ihn nach außen verlassen.

Hinweise zur Erstellung von Energieflussbildern

Für die Erstellung von Energieflussbildern gibt es keine normativen Festlegungen. Üblich sind in der Darstellung:

- Energiefluss von links (Aufwand) nach rechts (Nutzen)
- Gewinne von oben oder links zugeführt
- Verluste nach unten oder rechts abgeführt
- Summe aller ein- und austretenden Energieströme ist gleich groß

Das Energieflussbild kann auf Basis von gemessenen Größen, von berechneten Größen und mit gemischter Datenherkunft erstellt werden.

2.9.4.3 Abgrenzung von Nutz- und Endenergie

Die Endenergie ist eine zentrale Rechengröße vieler Energiebilanzverfahren. Sie ist nicht eindeutig definiert und hängt vom gewählten bzw. festgelegten Bilanzraum ab. Sie ist meist die Energiemenge, die über die Gebäudegrenze (als Bilanzraumgrenze) fließt. Dabei werden regulär nur fossile Energiemengen bzw. mit Energiekosten verbundene Energiemengen als Endenergien angesehen. Beispiele:

- bilanzierte Endenergie ist das Heizöl zum Betrieb des Kessels,
- bilanzierte Endenergie ist die aus einem Nah- oder Fernwärmenetz bezogene und über einen Wärmemengenzähler gemessene Wärme,
- bilanzierte Endenergie ist der Strom zum Betrieb der im Gebäude aufgestellten Wärmepumpe, jedoch nicht die kostenlos damit gewonnene Umweltwärme (obwohl diese auch über die Bilanzraumgrenze fließt),
- bilanzierte Endenergie ist regulär weder die aktiv gewonnene Solarthermie, noch die passive Solarenergie, die sich als Eintrag über Glasflächen ergibt (weil in beiden Fällen kostenlos),

Die meisten Bilanzverfahren legen die Gebäudegrenze als Bilanzraum zugrunde. Bei einem Erzeuger innerhalb der Bilanzgrenze wird der eingesetzte Brennstoff (oder Energieträger) als Endenergie bilanziert: Gas, Öl, Holz, Kohle, aber auch Strom für den Betrieb von Wärmepumpen.

Es ergeben sich Abgrenzungs- und Definitionsprobleme für die Endenergie, sobald ein Erzeuger außerhalb der Bilanzgrenze angeordnet ist, siehe Bild 2.9.4.3-1.

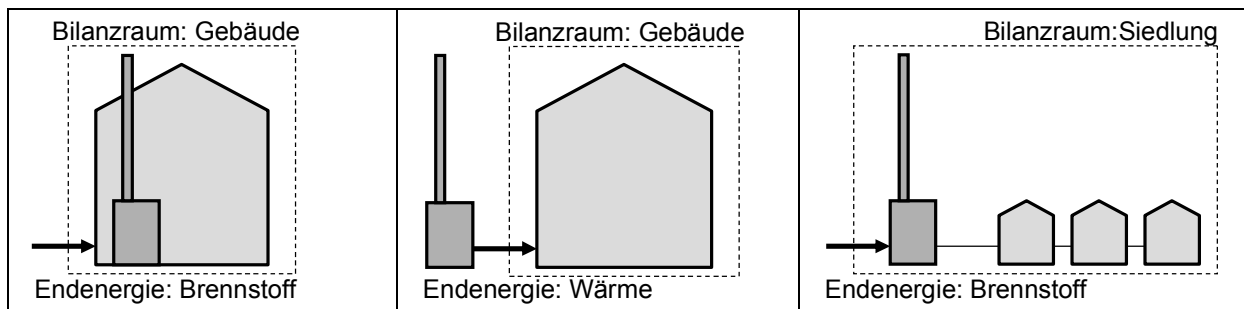


Bild 2.9.4.3-1 Beispielhafte Endenergien je nach Bilanzraum und Anordnung des Erzeugers

Lösungen:

- Der Bilanzraum (Gebäude) bleibt erhalten und als Endenergie wird beispielsweise die gelieferte Wärme bilanziert. Alle Verluste außerhalb des Bilanzraumes werden als "Vorkette" zusammengefasst (im Primärenergiefaktor, CO₂-Äquivalent und den Preisen für Wärme). Dieses Modell kommt beispielsweise für einen Gebäudeanschluss an ein Fernwärmenetz zum Einsatz.
- Der Bilanzraum (Gebäude) bleibt erhalten, wird aber fiktiv auf den Erzeuger ausgedehnt. Dieser wird so berechnet als stünde er im Gebäude. Bilanziert wird als Endenergie der Energieträger, der dem Erzeuger zugeführt wird. Dieses Modell kommt beispielsweise zum Einsatz für einen im Nebengebäude stehenden Erzeuger, aber auch für die Kleinwindkraftanlage im Garten. Dies ist praktikabel, wenn die Endenergien sich unabhängig vom Aufstellort des Erzeugers eindeutig dem bilanzierten Gebäude zuordnen lassen.
- Der Bilanzraum wird ausgedehnt (Siedlung), so dass sich weitere Verlustketten innerhalb der Bilanzierung befinden; allerdings befinden sich nun auch weitere Abnehmer im Bilanzraum. Bilanziert wird als Endenergie der Energieträger, der dem Erzeuger zugeführt wird. Dieses Modell kommt beispielsweise zum Einsatz, wenn Siedlungs- oder Quartierskonzepte erstellt werden.

Der Bilanzraum bzw. die Bilanzgrenzen sind eindeutig festzulegen.

Werden von der Endenergie die technischen Verluste (Umwandlung/Erzeugung, Speicherung, Transport/Verteilung) innerhalb der Bilanzgrenzen abgezogen, ergibt sich die Nutzenergie. Sie ist ebenfalls nicht eindeutig definiert. Drei Beispiele für eine Nutzenergiedefinition zeigt Bild 2.9.4.3-2.

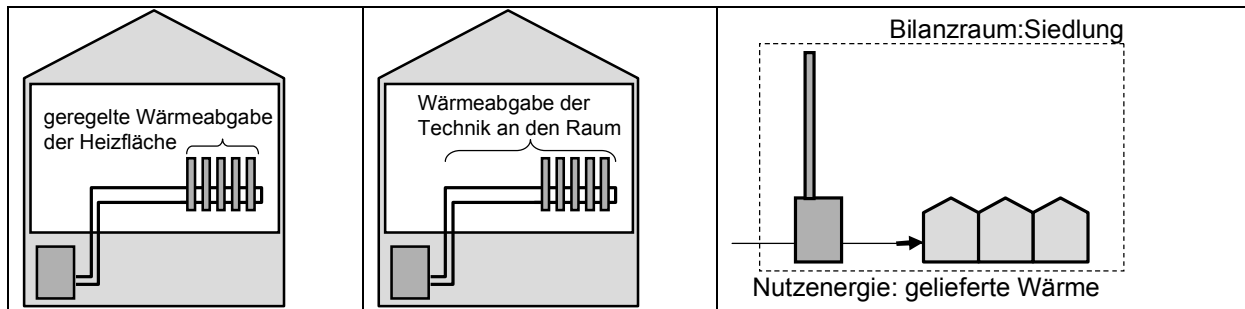


Bild 2.9.4.3-2 Beispielhafte Nutzenergien je nach Definition

Sofern einzelne Gebäude bilanziert werden, beschreibt die Nutzenergie häufig die von einem System an den Endanwender gelieferten Energiemengen. Im Falle der Warmwasserbereitung das gezapfte Warmwasser, wenn es den Hahn verlässt. Für die Heizung existieren uneinheitliche Festlegungen. Der Nutzwärmebedarf der Heizung (=Heizwärmebedarf) ist allgemein wie folgt definiert:

- Differenz aus Verlusten (Transmission und Lüftung) und nutzbaren Gewinnen.

Abgesehen davon, dass die einzelnen Rechenverfahren unterschiedliche Randdaten für die Berechnung vorschlagen oder vorgeben, was zu abweichenden Ergebnissen führt, gibt es keine einheitliche Definition der "Gewinne". Dies bedeutet beispielsweise:

- in DIN V 18599⁶ ist die geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen als Heizwärmebedarf definiert; alle unregelmäßigen Wärmeabgaben von Rohrleitungen, Speichern, Erzeuger usw. (der Heizung, Trinkwarmwasserversorgung usw.) zählen nicht zum Heizwärmebedarf, sondern zu den internen Wärmegegewinnen; der Heizwärmebedarf ergibt sich rechnerisch aus den Verlusten (Transmission, Lüftung) des Raumes abzüglich aller nutzbaren Gewinne (Personen, Beleuchtung, Geräte, passive Solargewinne, unregelmäßige Wärmeeinträge der Technik);
- in VDI 2067⁷ wird die gesamte Wärmeabgabe der Technik an den Raum als Nutzen bezeichnet; das ist die Summe aller geregelten und unregelmäßigen Wärmeeinträge der Technik; der Heizwärmebedarf ergibt sich rechnerisch aus den Verlusten (Transmission, Lüftung) des Raumes abzüglich aller nutzbaren Gewinne (Personen, Beleuchtung, Geräte, passive Solargewinne, aber keine Technik);
- die DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10⁸ wählen ein gemischtes Verfahren; DIN V 4108-6 errechnet einen Heizwärmebedarf analog zu VDI 2067; DIN V 4701-10 korrigiert ihn um die Abwärme nur der Trinkwarmwasserbereitung innerhalb des beheizten Bereiches, jedoch nicht um die Wärmeabgabe von Heizungsleitungen.

Sofern nicht das Gebäude als Bilanzraum zugrunde gelegt wird, kann der Begriff der Nutzenergie auch noch anders besetzt sein. Beispielsweise mit der an die Gebäude gelieferten Energiemenge, siehe Bild 2.9.4.3-2 rechts.

Zwischen End- und Nutzenergie liegen – je nach Umwandlungskette und System – Differenzenergiemengen, die durch das (nicht ideale) technische System hervorgerufen werden. Die Namensgebung ist je nach Bilanzverfahren uneinheitlich, wenn auch die Mengen identisch sind.

⁶ DIN V 18599; Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teile 1 bis 11; Beuth; Berlin; 2011.

⁷ VDI 2067; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; zurückgezogene Ausgabe; Blätter 1 bis 7; Beuth; Berlin; 1982 bis 1993 und VDI 2067; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; Blätter 1, 10, 12, 20, 21, 22, 30, 40; Beuth; Berlin; 2000 bis 2013.

⁸ DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth; Berlin; 2003 und DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Vornorm - Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth, Berlin, 2003.

Diese Größen heißen alternativ (technischer) Verlust oder (technischer) Aufwand/Zusatzaufwand. Die eingeführten Bilanzverfahren unterscheiden in:

- Verlust/Aufwand für die Erzeugung, sofern eine verlustbehaftete Energieumwandlung innerhalb der Bilanzgrenzen stattfindet, ansonsten ersatzweise für die Bereitstellung mit einer Übergabestation,
- Verlust/Aufwand für die Speicherung (sofern vorhanden),
- Verlust/Aufwand für die Verteilung mit einem Leitungsnetz (sofern vorhanden),
- Verlust/Aufwand für die Übergabe und Regelung (nicht in jedem Bilanzverfahren), als Ausdruck des Unterschiedes an Energiebedarf zwischen einem idealen und dem realen technischen System.

Die unterschiedliche Definition von Nutz- und Endenergie (siehe Bild 2.9.4.3-2) in verschiedenen Bilanzverfahren hat Rückwirkungen auf die Verlustbewertung. Beispiel: wenn die Wärmeabgabe der Heizungsleitungen an den beheizten Bereich als Nutzenergie angesehen wird, ist sie entsprechend in den betreffenden Bilanzverfahren kein Teil der technischen Verluste.

Gekoppelte Prozesse

Bei der Berechnung von gekoppelten Prozessen – beispielsweise eine Kraft-Wärme-Kopplung – kann der Bilanzraum verschieden festgelegt werden. Bild 2.9.4.3-3 zeigt zwei Varianten.

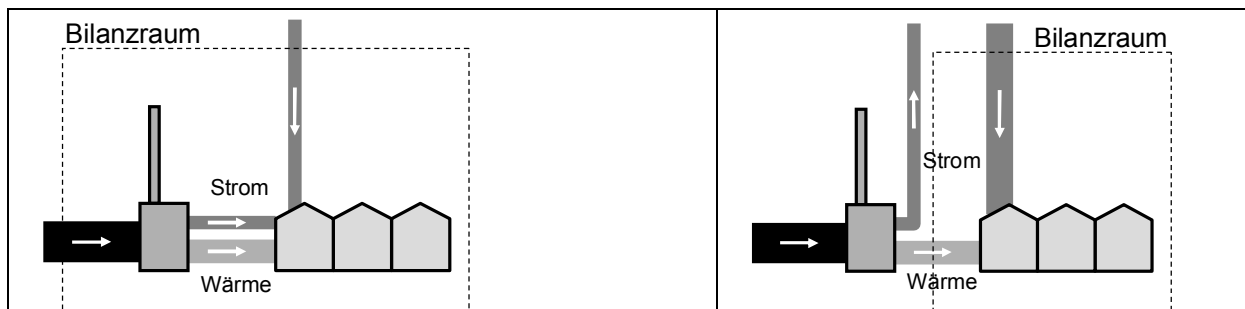


Bild 2.9.4.3-3 Varianten des Bilanzumfangs für gekoppelte Prozesse

- Bild 2.9.4.3-3 links: bilanziert werden als Endenergien eine Brennstoffmenge sowie eine Restbezugsmenge an Strom aus dem öffentlichen Netz, jeweils mit allen Vorketten.
- Bild 2.9.4.3-3 rechts: bilanziert werden als Endenergien eine Wärmemenge sowie die gesamte Strombezugsmenge aus dem öffentlichen Netz, jeweils mit allen Vorketten; es muss rechnerisch festgelegt werden, welche der Vorkettenverluste dem Strom zugeschlagen werden und welche der an die Siedlung gelieferte Wärme (hierfür gibt es verschiedene Ansätze: energetische Aufteilung, exergetische Aufteilung, Stromgutschriftmethode usw.).

Sollen bei Vergleichsrechnungen Lösungen mit und ohne Koppelprozess miteinander verglichen werden, ergibt sich die Empfehlung:

- die Bilanzierung aller (nicht nur einzelner) Nutzenergiemengen vorzunehmen, weil sonst Vergleichsaussagen schwierig sind; es werden beispielweise Wärme und Strombedarf der Gebäude nach Bild 2.9.4.3-3 bilanziert, nicht nur die Wärme,
- den Bilanzraum so zu legen, dass keine rechnerische Aufteilung der Vorkette auf die beiden Koppelprodukte notwendig ist; im Bild 2.9.4.3-3 links wird das BHKW komplett bilanziert mit einem zugeführten Brennstoffstrom, es ist bilanziell unerheblich, welcher Brennstoffanteil den beiden Nutzungen Wärme und Strom zugeordnet werden könnte.

2.9.4.4 Relevante Verfahren

Zur Erstellung rechnerischer Energiebilanzen sind mehrere Bilanzverfahren eingeführt und verfügbar (Normen/Richtlinien, Kalkulationstabellen mit erläuternder Literatur, professionelle Software). Verfahren mit häufigem Praxiseinsatz:

1. Normenpaket aus DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10, welches zur Bewertung neuer Wohnbauten eingesetzt werden kann, ergänzt um DIN V 4701-12 und PAS 1027 zur Bewertung von Bestandstechnik im Wohnbau
2. Normenpaket DIN V 18599 zur Bewertung von Wohn- und Nichtwohnbauten im Neubau und Bestand,
3. VDI 2067 in ihrer alten Ausgabe aus den 1980er/1990er Jahren, welche komplett zurückgezogen ist, aber als Softwarelösung und zur überschlägigen Berechnung noch Anwendung findet,
4. derzeit geltende VDI 2067 mit Schwerpunkt der Bilanzierung der Wirtschaftlichkeit technischer Anlagen,
5. Bilanzierungspaket vom Institut Wohnen und Umwelt bestehend aus dem "Energiepass Heizung und Warmwasser" von 1997 bzw. in aktualisierter Form "IWU Energieberatungstool" von 2001 und dem "Leitfaden Elektrische Energie LEE"⁹,
6. das TEK-Verfahren¹⁰ des Instituts für Wohnen und Umwelt zur Bewertung von Nichtwohnbauten.

Die unter 1. und 2. genannten Verfahren werden zur Energieausweiserstellung eingesetzt. Dann sind fest gelegte Randdaten (Nutzung, Klima) bei der Berechnung zu verwenden. Im Modus der freien Beratung müssen diese Nutzungs- und Klimadaten variabel gewählt werden, was alle Verfahren grundsätzlich erlauben.

Aus der jeweiligen Verfahrenshistorie heraus lässt sich auf die weitere Bewertung der Endenergie schließen. Die derzeit eingeführten EnEV-Nachweisverfahren weisen die Primärenergie aus. Die Verfahren des Instituts Wohnen und Umwelt legen daneben den Fokus auf die äquivalenten CO₂-Emissionen. Die VDI-Verfahren dienen immer der Beratung und fokussieren sich demnach auf die Energiekosten. Da die Bewertungsfaktoren (Primärenergiefaktoren, Energiepreise, Emissionsfaktoren) einfach ergänzt werden können, lassen sich alle Verfahren (ggf. manuell) auf die gewünschten Größen ausweiten.

Das Verfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10/12 dient der Wohnbaubewertung, das TEK-Verfahren der Nichtwohnbaubewertung. Alle anderen sind für beide Projektarten einsetzbar.

Alle genannten Verfahren sind geeignet, die Heizung und Trinkwassererwärmung energetisch abzubilden. Darüber hinaus gilt:

- Die DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10/12 ist ein Wohnbauverfahren, daher fehlen die im Nichtwohnbau typischen Anwendungen (Kühlung, RLT, Prozessenergie) komplett. Allerdings sieht das Verfahren auch keine Bilanz des Beleuchtungs- und sonstigen Anwenderstroms oder der Stromerzeugung vor.
- Die DIN V 18599 bilanziert die meisten der genannten Energieanwendungen. Lediglich Aufwendungen für Prozessenergien und Anwenderstrom fehlen.
- Die VDI 2067 bilanziert keine Beleuchtungs- und sonstige Anwenderstrommengen oder Prozessenergien. Die Stromerzeugung über Photovoltaik ist nicht abbildbar, nur über KWK.
- Das TEK-Verfahren ist ein Nichtwohnbauverfahren, daher ist die Wohnungslüftung nicht integriert. Die Stromerzeugung sowie thermische Prozessenergie ist nicht abbildbar. Dafür sind Stromanwendungen komplett bilanzierbar.
- Ähnliches gilt für das IWU/LEE-Verfahren, welches Wohnbauten und einfache Nichtwohnbauten ohne Kühlung und RLT abbilden kann. Elektrische Prozessenergien und der Anwenderstrom ist abbildbar, die Stromerzeugung über PV allerdings nicht.

⁹ Loga et al; Institut Wohnen und Umwelt; Energiepass Heizung/Warmwasser; 1997 und Energiebilanz-Toolbox; 2001; Hennings et al; Institut Wohnen und Umwelt; LEE – Leitfaden elektrische Energie im Hochbau; 2000.

¹⁰ Hörner und Knissel; Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden TEK; Institut Wohnen und Umwelt; 2014.

Darüber hinaus wird die VDI 3807¹¹ als relevantes Regelwerk zur Verbrauchsdatenanalyse eingesetzt. Die Blätter 1 und 2 sind hilfreiche Dokumente, wenn das zu untersuchende Gebäude zunächst eingeordnet – Vielverbraucher, Durchschnitt, Sparer – werden soll, bevor die Detailanalyse durchgeführt wird. Die Blätter 3, 4 und 5 befassen sich mit Teilkennwertbildung für den Wasser-, Strom- und Wärmeverbrauch. Diese erste Stufe der Detaillierung kann erfolgen, um vom Durchschnitt abweichende (atypische) Verbräuche zu plausibilisieren.

2.9.5 Energieträgerbewertung

Die Bewertung der verschiedenen Energieträger mit Preisen, Umweltfaktoren usw. enthält Vorketten bis zu einem Bezugspunkt. Die übliche Schnittstelle zwischen dem "Ende der Vorkette" und "Beginn der Energiebilanz" ist die Endenergie.

Das bedeutet für den Einzelfall eines konkreten Projektes, dass die Endenergie (für das Gebäude, die Anlage, den Prozess, die Siedlung...) bilanziert, wohingegen die Vorkettenbewertung regulär von anderer Stelle global vorgegeben wird.

CO₂-Äquivalente

Das CO₂-Äquivalent x_{CO_2} als Umweltindikator ist proportional zum Treibhauspotential der Verbrennungsprodukte. Es enthält die bei der Verbrennung der Endenergie entstehenden CO₂-Mengen, aber auch alle anderen Treibhausgase entsprechend ihrer Klimawirksamkeit auf CO₂ umgerechnet (Bezugszeitraum 100 Jahre). Das Umrechnungsverfahren ist in der Dokumentation zur Datenbank GEMIS/IINAS beschrieben.

Die Vorketten bei der Rohstoffgewinnung, dem Transport und ggf. die Umwandlung sind enthalten. Die CO₂-Mengen, die nachwachsende Rohstoffe in ihrer Wachstumsphase gespeichert haben, werden jedoch nicht bilanziert.

Tafel 2.9.4.4-1 CO₂-Äquivalente x_{CO_2} nach GEMIS/IINAS 4.2 bis 4.9

Energieträger		CO ₂ -Äquivalent x_{CO_2} [kg/kWh], heizwertbezogen	CO ₂ -Äquivalent x_{CO_2} [kg/kWh], brennwertbezogen
allgemeiner Strommix		605 ... 635	605 ... 635
Brennstoffe	fossil	Erdgas	240 ... 250
		Flüssiggas	260 ... 270
		Heizöl EL	300 ... 320
		Steinkohle	425 ... 440
		Braunkohle	445 ... 455
	nachwachsend	Stückholz	5 ... 20
		Holzhackschnitzel	10 ... 35
		Holzpellets	15 ... 45
Nah- und Fernwärme	fossiler Brennstoff	mit KWK	ca. 220
		ohne KWK	ca. 410
	nachwachsender Brennstoff	mit KWK	ca. -330
		ohne KWK	ca. 110
	Deutschland Mix		ca. 295

Die Werte nach Tafel 2.9.4.4-1 schwanken aufgrund veränderlicher Bewertungen insbesondere der Vorketten für die einzelnen Energieträger. Es handelt sich um übliche Werte für die Erstellung von Energiebilanzen nach den in 2.9.4.4 genannten Verfahren.

Die für "Nah- und Fernwärme mit KWK" angegebenen Werte entstehen durch eine Berechnung mit der Gutschriftenmethode, welche im Zusammenhang mit den Primärenergiefaktoren erläutert wird.

¹¹ VDI 3807; Verbrauchskennwerte für Gebäude; Blätter 1 bis 5; Beuth; Berlin; 2008 bis 2015

Primärenergiefaktoren

Für die Bereitstellung von Energieträgern als Endenergie ist mit Zusatzaufwendungen verbunden: Förderung, Aufbereitung, ggf. Umwandlung und Transport zu den Abnehmern. Alle genannten energetischen Vorketten können mit einem Primärenergiefaktor f_p beschrieben werden, der die Einheit "kWh_{Primär}/kWh_{End}" hat, aber üblicherweise dimensionslos angegeben wird. Der Primärenergiefaktor ist jedoch kein Maß für die Umweltschädlichkeit von Energieträgern. Alle fossilen Brennstoffe haben – unabhängig von ihrem Kohlenstoffgehalt und damit verbundener CO₂-Bildung dieselben oder sehr ähnliche Faktoren.

Der öffentlich-rechtliche Nachweis im Rahmen der EnEV greift auf diese Faktoren zurück. Die mit der EnEV 2014/16 geltenden Werte sind in Tafel 2.9.4.4-2 zusammengestellt.

Tafel 2.9.4.4-2 Primärenergiefaktoren f_p nach DIN V 18599

Energieträger		Primärenergiefaktoren f_p [-]	
		insgesamt	nicht erneuerbar (EnEV-relevant)
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL, Erdgas, Flüssiggas, Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas, Bioöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK (70 % Anteil)	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	1,8
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solar- und Umgebungsenergie, Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0

Der Gesamtfaktor beschreibt alle Energieaufwendungen der Vorkette, der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor nur die fossilen (nicht regenerativen) Aufwendungen. Die Differenz beider Spalten ist der regenerative Primärenergiefaktor. Die Werte sind grob gerundet, die Datenbank GEMIS/IINAS liefert genauere Angaben, z.B. über die Internetseite des Institutes Wohnen und Umwelt regelmäßig veröffentlicht.

Gesamtwerte unter "1,0" für Prozesse mit KWK sind physikalisch nicht erklärlich. Sie ergeben sich aufgrund der derzeit in Deutschland üblichen Berechnungsmethode für gekoppelte Prozesse, der "Strom-Gutschrift-Methode". Die Primärenergieaufwendung für den eingesetzten Energieträger, z.B. Erdgas wird nicht energiemengenproportional auf die beiden Produkte (Wärme, Strom) verteilt.

Ein größerer Anteil wird dem entstehenden Strom zugeschlagen (Logik: welcher Strom musste anstelle des KWK-Stroms nicht mit einem konventionellem Kraftwerk erzeugt werden bzw. welcher Strom wurde von dem KWK-Strom verdrängt). Der Rest wird der Wärme zugeordnet, die somit als "vorkettenarme" Abwärme deklariert ist.

Aufgrund der sehr geringen Primärenergiefaktoren für alle nachwachsenden Brennstoffe, aber auch KWK-Prozesse können Fehloptimierungen entstehen (analoges Phänomen wie bei den CO₂-Äquivalenten):

- sorgloser Umgang mit biogenen Brennstoffen, vor allem mit kostengünstigen,
- bei Einsatz von KWK geraten die Kosten für den Betreiber aus dem Blick – insbesondere bei der Beantragung von Fördergeldern (BAFA, KfW) mit Berechnung der Primärenergie,
- der Einsatz unterschiedlicher fossiler Brennstoffe wird als gleichwertig im Sinne des Klimaschutzes eingeschätzt, solange mit Primärenergie argumentiert wird.

2.9.6 Flächenbezug

Der flächenbezogene Energiekennwert (Bedarf oder Verbrauch) q ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$q = \frac{Q}{A}$$

Die maßgebliche Fläche A ist nicht eindeutig festgelegt. Folgende Bezugsflächen werden bei der Bewertung von Wohnbauten verwendet:

- die Wohnfläche (WF) A_{Wohn} nach BGI. II "Verordnung über wohnungswirtschaftliche Berechnungen", sie enthält ggf. anteilig die Flächen der Balkone und unbeheizte Keller, vermindert Flächen unter Schrägen, jedoch keine Flächen für beheizte Treppenräume im Geschosswohnungsbau,
- die Energiebezugsfläche A_{EB} als Summe aller Wohn- bzw. Nutzflächen eines Gebäudes, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist; die beheizte Nutzfläche ergibt sich nach DIN 277-2 "Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau; Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen"; hierin sind Treppenräume enthalten, jedoch keine Balkone und unbeheizte Keller,
- die Gebäudenutzfläche A_{N} nach EnEV und begleitenden Normen; sie wird aus dem äußeren Gebäudevolumen V_e berechnet ($0,32 \text{ m}^3 \cdot V_e$); maßgeblich ist dazu das Gebäudevolumen, das den beheizten Bereich umschließt, also üblicherweise der gedämmte Bereich des Gebäudes

Darüber hinaus sind Brutto- und Nettogrundfläche (A_{BGF} , A_{NGF}) definiert. Tafel 2.9.4.4-1 zeigt typische Umrechnungsfaktoren, ausgehend von der Bruttogrundfläche als Bezugswert. Die fiktive Fläche A_{N} ist mit einsortiert, um die Größenverhältnisse zu verdeutlichen.

Tafel 2.9.4.4-1 Umrechnung für Flächen im Wohnbau [eigene, VDI 3807, DIN V 18599, Ages 2000]

Gebäudeart	A_{BGF}	A_{NGF}	A_{EB}	A_{Wohn}	A_{N}
Ein- und Zweifamilienhäuser	100 %	75 ... 85 %	65 ... 75 %	65 ... 75 %	(80 ... 90 %)
Geschosswohnungsbau	100 %	80 ... 85 %	65 ... 75 %	55 ... 65 %	(80 ... 90 %)

Bezugsflächen im Nichtwohnbau sind – absteigend sortiert – die Bruttogrundfläche (A_{BGF}), die Nettogrundfläche (A_{NGF}), die Nutzfläche (A_{NF}) und die Hauptnutzfläche (A_{HNF}). Die genauen Definitionen sowie typische Umrechnungsfaktoren sind VDI 3807 zu entnehmen.

2.9.7 Verbrauchsanalyse

Messwerte aus kürzeren Zeiträumen als ein Jahr – z.B. aus wochen- oder monatsweisen Intervallen – liefern sehr viel detailliertere Informationen als Jahresverbrauchswerte.

Die Energiesignatur oder EAV (Energieanalyse aus dem Verbrauch) für Wärmeverbraucher generiert Aussagen zu lastabhängigen und lastunabhängigen Energieteilen, der Leistungszunahme bei Außentemperaturabsenkung, zu Heizlast und Heizgrenze. Die Energiesignatur oder EAV für Kessel gibt Aufschluss über die Effizienz der Energieumwandlung sowie lastunabhängige Verluste.

2.9.7.1 Datenaufbereitung

Die im Messintervall t_{mess} [h/Messzeitraum] erfassten Energiemengen Q_{mess} [kWh/Messzeitraum] werden in mittlere Leistungen \dot{Q} [kW] umgerechnet:

$$\dot{Q} = \frac{Q_{\text{mess}}}{t_{\text{mess}}}$$

Normierte Kennwerte werden zusätzlich für die Auswertung von Wärmeerzeugern benötigt. Dazu werden die mittleren Leistungen \dot{Q} [kW] zusätzlich durch die Erzeugernennleistung $\dot{Q}_{K,N}$ [kW] dividiert. Dies erfolgt für die dem Erzeuger zugeführten und von ihm abgegebenen Leistungen gleichermaßen:

$$w_{\text{auf}} = \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{\dot{Q}_{K,N}} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{\dot{Q}_{K,N}}$$

Die beiden entstehenden Größen sind der normierte Energieaufwand w_{auf} und die Belastung β , beide dimensionslos¹².

Wenn eine Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Außentemperatur dargestellt werden soll, werden mittlere Außentemperaturen ϑ_e [°C] für die Messintervalle benötigt. Die notwendigen Tagesdaten sind kostengünstig oder kostenlos über den Deutschen Wetterdienst (DWD) oder andere entsprechende Dienstleister erhältlich¹³.

Wochen- bis Zweimonatsintervalle für eine außentemperaturabhängige Auswertung von Gebäuden und Liegenschaften sind sinnvoll. Bei kleineren Intervallen korrelieren aufgrund der Zeitkonstanten (Bauschwere usw.) die Energiemengen nicht mehr mit den Außentemperaturen im jeweiligen Messintervall. Bei größeren Intervallen steigt die Ergebnisunsicherheit aufgrund fehlender Messpunkte (z.B. fehlende Messpunkte im Sommer). Wenn eine lastabhängige Auswertung erfolgen soll, wird für Wärmeerzeuger auf Tages- bis Zweimonatsintervalle zurückgegriffen.

2.9.7.2 Gebäudeanalyse

Die Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) erfolgt durch Auftragung des Verbrauchs (als mittlere Leistung) über der Außentemperatur. Das Verfahren ist u. a. in DIN EN 15203, DIN EN 12831 Beiblatt 2, VDI 3807-5 oder DIN V 18599 Bbl. 1 beschrieben.

Daten aus Wärmemengenzählern

Bild 2.9.7.2-1 zeigt die beispielhafte Auftragung einer Gebäude-EAV. Der ausgewertete Wärmemengenzähler erfasst die Energiemengen für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung. Es gibt insgesamt 14 Messintervalle und damit Messpunkte.

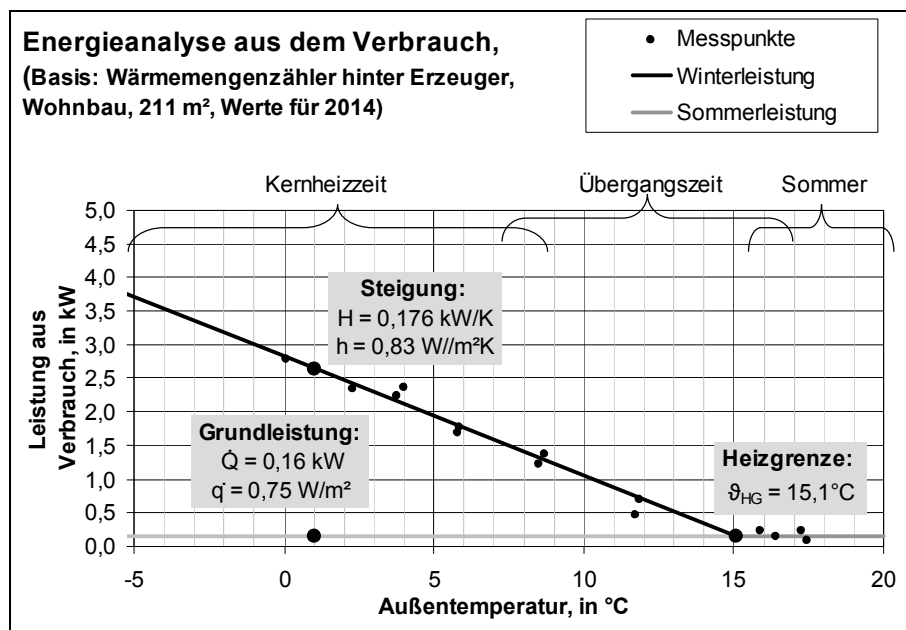


Bild 2.9.7.2-1 Energieanalyse eines Gebäudes auf Basis von Wärmemengenzählerwerten

¹² Deutscher und Rouvel; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; HLH; Düsseldorf; 2003.

¹³ Kostenlose Auswertungsprogramme siehe www.delta-q.de oder www.iwu.de

Es ergibt sich ein charakteristisches Bild des Verbrauchers. Die Auswertung liefert eine Grundleistung \dot{Q} [kW], ggf. zusätzlich bezogen auf die Gebäudefläche \dot{q} [W/m²] als Maß für den witterungsunabhängigen Verbrauch. Dieser wird wie folgt bestimmt:

$$Q_{\text{unabhängig}} = \dot{Q} \cdot 8760 \text{ h/a}.$$

Erkennbar ist die Heizgrenze ϑ_{HG} [°C], oberhalb der kein Heizungsverbrauch mehr auftritt. Zur Einschätzung der Heizgrenze sei auf die Grafik in Bild 2.8.4.2-2 mit Angabe typischer Werte für den Wohnungsbau verwiesen.

Es wird ein Verlustkennwert h [W/(m²·K)] gebildet, indem die Steigung H [W/K] der Regressionsgeraden auf die Wohnfläche A_{Wohn} [m²] bezogen wird. Das Ergebnis ist ein Maß für den witterungsabhängigen Verbrauch.

Messungen an Realprojekten ergaben folgende typische Vergleichswerte für den Wohnungsbau:

- Altbau unsaniert: 2 ... 3 W/(m²K)
- Altbau teilsaniert: 1,5 ... 2,5 W/(m²K)
- Bestand der 1980er und 1990er Jahre: 1,0 ... 2,0 W/(m²K)
- EnEV-Neubau, Effizienzhäuser: 0,7 ... 1,3 W/(m²K)
- Passivhaus und sehr gute Effizienzhäuser: 0,5 ... 1,0 W/(m²K)

Günstigere, d.h. niedrigere Werte ergeben sich bei guten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) der Gebäudehülle, kompakter und luftdichter Bauweise sowie bei höherer Teilbeheizung.

Der witterungsabhängige Heizungsverbrauch $Q_{\text{abhängig}}$ kann er als Differenz zwischen gemessenem Gesamtverbrauch Q_{mess} und witterungsunabhängigem Verbrauch $Q_{\text{unabhängig}}$ bestimmt werden. Alternativ ergibt er sich auch aus der Steigung H und den Heizgradtagen G (siehe Kapitel 2.8.4.2):

$$Q_{\text{abhängig}} = Q_{\text{mess}} - Q_{\text{unabhängig}} = H \cdot G.$$

Angenäherte Heizlast

Da die Steigung H [kW/K] ein Maß für die Verluste aus Transmission und Lüftung ist, kann eine maximale Heizlast $\dot{Q}_{\text{H,max}}$ [kW] angenähert abgeschätzt werden. Die Steigung ist mit der maximalen Temperaturdifferenz bei der Auslegung $\Delta\vartheta_{\text{max}}$ [K] zu multiplizieren.

$$\dot{Q}_{\text{H,max}} \approx H \cdot \Delta\vartheta_{\text{max}}$$

Für die mittleren Regionen Deutschlands sind dies beispielsweise $\Delta\vartheta_{\text{max}} = 34 \text{ K}$ (20 °C Innentemperatur und -14°C Außentemperatur). Für das Beispiel nach Bild 2.9.7.2-1 ergibt sich eine Heizlast von $176 \text{ W/K} \cdot 34 \text{ K} \approx 6 \text{ kW}$.

Dieser Wert ist – sofern er auf Basis von Wärmemengenzählerwerten hinter einem Erzeuger abgeleitet wurde – ein Anhaltswert für die maximal notwendige Erzeugerleistung (zur Gebäudebeheizung!). Er kann verwendet werden, um grob zu schätzen, ob der Leistungsanschluss (Gas, Fernwärme) für ein Gebäude zu groß ist. Eine genauere Prüfung durch Messung von Leistungsspitzen bzw. genaue Heizlastberechnung kann folgen.

Die Extrapolation der Regressionsgeraden bis zur gewünschten minimalen Außentemperatur liefert ein kleineres Ergebnis, die effektive Heizlast (incl. Wirksamkeit von Fremdwärmemengen).

Übergang zur Bedarfsanalyse

Die Steigung H [W/K] entspricht der Summe aus spezifischer Transmissionsheizlast H_T und spezifischer Lüftungsheizlast H_V einer Energiebedarfsrechnung. Der Summenwert ist abhängig von den Wärmedurchgangskoeffizienten U , wärmeübertragenden Flächen $A_{\text{Hülle}}$, Wärmebrücken ΔU_{WB} , dem Gebäudevolumen V und effektivem Luftwechsel n . Siehe auch Abschnitte 2.9.8.3.2 und 2.9.8.3.3.

$$H = H_T + H_V = H_T' \cdot A_{\text{Hülle}} + n \cdot V \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot \text{mit } H_T' = \frac{\sum (U \cdot A \cdot F_x)}{A_{\text{Hülle}}} + \Delta U_{\text{WB}}$$

Die gemessene und die berechnete Steigung H lassen sich vergleichen (Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich). Alternativ und den Prozess stark vereinfachend könnte zukünftig bei der Bestandsbewertung, z.B. im Rahmen einer Energieberatung, komplett auf die detaillierte Aufnahme und Abschätzung der Güte der Gebäudehülle verzichtet und nur auf Basis des Messwertes gerechnet werden.

Auch die gemessenen Werte für die Heizgrenztemperatur und ggf. die Grundleistung (für die Trinkwarmwasserbereitung) lassen sich mit den Annahmen der Bedarfsbilanz abgleichen.

Daten aus Endenergiezählern

Aus Werten der Endenergiezähler lässt sich ebenfalls ein Leistungs-Temperatur-Diagramm erstellen. Eine Aufteilung in die beiden Verbrauchsanteile: witterungsabhängig- und unabhängig kann vorgenommen werden.

Alle Kennwerte (Grundleistung, Steigung und daraus abgeleitete Größen) lassen sich ebenso wie nach Bild 2.9.7.2-1 bestimmen. Jedoch enthalten sie die (unbekannte) Effizienz des Erzeugers. Ist ein sehr guter Kessel vorhanden, dessen Effizienz nahe 100 % liegt, ergeben sich ähnliche Zahlenwerte wie bei der Auswertung von Wärmemengenzählerwerten hinter dem Erzeuger. Dies ist nicht verallgemeinerbar, da der Nutzungsgrad von Kesseln oder die Arbeitszahl von Wärmepumpen sehr stark schwanken können und im Jahresverlauf nicht konstant sind.

Die korrekte Datenbasis zur Bestimmung der Heizlast, der Steigung H als Maß für die Qualität der Gebäudehülle und Nutzung und der Sockelleistung liefert nur ein Wärmemengenzähler hinter dem Erzeuger.

2.9.7.3 Erzeugeranalyse

Die dem Kessel zugeführte Energie (Aufwand) verlässt diesen als Nutzwärme, weitgehend lastunabhängige Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste) sowie lastabhängige Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste).

In Bild 2.9.7.3-1 ist der Aufwand über dem Nutzen aufgetragen. Die Steigung der Geraden (hier: 1,037) ist ein Maß für die Effizienz der Umwandlung von Energie im Betrieb. Je steiler der Anstieg, desto ineffizienter die Energieumwandlung. Der Achsenabschnitt (hier: 50 W) ist ein Maß für die Betriebsbereitschaftsverluste. Je höher die Verschiebung, desto höher die Verluste.

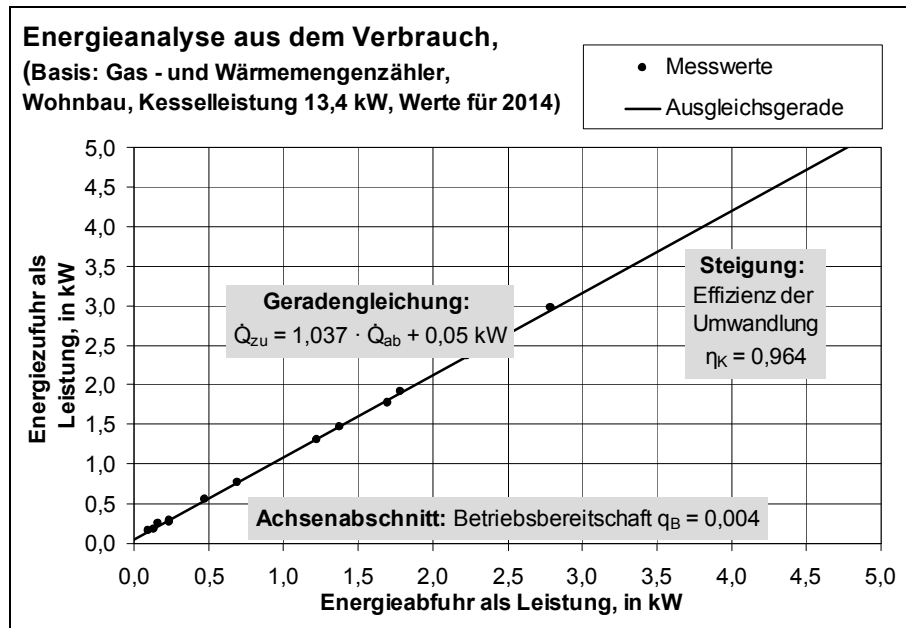


Bild 2.9.7.3-1 Energieanalyse eines Kessels auf Basis von Wärmemengen- und Gaszählerwerten

Die Kessel-EAV bzw. Energiesignatur des Kessels lässt sich in einer Gleichung darstellen, die auch normiert werden kann (Division der Leistung auf Abszisse und Ordinate durch die Kesselnennleistung $\dot{Q}_{K,N}$, siehe Abschnitt 2.9.7.1.

$$\dot{Q}_{zu} = \text{Steigung} \cdot \dot{Q}_{ab} + \dot{Q}_{\text{Sockel}}$$

$$w_{\text{auf}} = \text{Steigung} \cdot \beta + \text{Verschiebung} = s \cdot \beta + a$$

Die Belastung β kann Werte zwischen 0 (Nulllast) und 1 (Volllast) annehmen. Die Steigung erreicht als Maximum den Wert $1/\eta_K$ (Effizienz bei Volllast). Aus der Geradengleichung können zwei Kennwerte abgeleitet werden. Es gilt Folgendes für die Verschiebung s und den Achsenabschnitt a :

- $s = \frac{1 - q_B}{\eta_K}$ und $a = \frac{q_B}{\eta_K}$
- $\eta_K = \frac{1}{a + s}$ und $q_B = \frac{a}{a + s}$

Wenn Bereitschaftsverlust q_B sowie Kesselwirkungsgrad η_K bekannt sind, können Steigung s und Achsenabschnitt a berechnet werden. Bei der Analyse eines Kessels aus Messwerten ist es umgekehrt: Steigung s und Achsenabschnitt a werden verwendet, um Bereitschaftsverlust des Kessels q_B sowie der Kesselwirkungsgrad η_K zu bestimmen. Mit diesen Ansätzen ergeben sich die in Bild 2.9.7.3-1 genannten Zahlenwerte.

Ein Nutzungsgrad kann berechnet werden, indem Nutzen durch Aufwand geteilt werden. Der Jahresnutzungsgrad η_a entsprechend mit den Jahresmittelwerten von β und w_{auf} .

$$\eta_a = \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}} = \frac{\dot{Q}_{ab,\text{mittel}}}{\dot{Q}_{zu,\text{mittel}}} = \frac{\beta_{\text{mittel}}}{w_{\text{auf},\text{mittel}}}$$

Die gewonnenen Erkenntnisse zum Kesselwirkungsgrad und zur Betriebsbereitschaft können mit Herstellerwerten oder typischen Werten verglichen werden. In der Praxis ergeben sich große Differenzen zwischen gemessenen Werte und Prüfstandswerten.

2.9.8 Bedarfsbewertung

Die Energiebedarfsbilanz hat das Ziel eine Energiemenge rechnerisch zu prognostizieren. In der Regel handelt es sich dabei um die Endenergie oder eine daraus abgeleitete Größe (Primärenergie, Emission, Energiekosten, Brennstoffmenge). Die Endenergie für Liegenschaft, Gebäude, Gerät usw. ergibt sich aus einer Reihe von Teilkennwerten/Einflussgrößen, die additiv oder multiplikativ (jeweils incl. Kehrwert) miteinander verrechnet werden.

2.9.8.1 Vorgehensweise und Grundgleichungen

Jeder Energiestrom, der in den Bilanzraum hineinfließt, bzw. jeder Energiestrom, der aus diesem wieder herausfließt, kann bilanziert werden. Die aufgewendeten Energien sind meistens elektrische Energie (Strom), Wärmeenergie (Fernwärme, Nahwärme, Personenabwärme), Strahlungsenergie (Solarwärme) oder chemisch gebundene Energie (Gas, Öl, Kohle, Holz). Im Bilanzraum werden sie genutzt, das heißt teilweise umgewandelt, und treten im Allgemeinen in Form von Wärmeenergie aus dem Bilanzraum aus.

Eine Energiebilanz erfasst alle oder einen Teil dieser Energien in einer definierten Zeitperiode (z.B. ein Jahr). Dabei spielt es keine Rolle, ob eintretende oder austretende Energien bilanziert werden, denn aufgrund der Energieerhaltung sind diese beiden Mengen gleich groß.

Üblicherweise ist das Ziel einer Energiebilanz, den Teil der einfließenden Energien zu bilanzieren, für dessen Bereitstellung ein Primärenergieträger verbraucht wird (endlicher Rohstoff) oder der käuflich erworben werden muss. Diese Energiemenge stimmt nicht zwangsläufig mit dem Energieinput überein. Denn der Energieinput umfasst auch Energien (wie solare Einstrahlung usw.), die nicht gekauft werden müssen oder die keinen endlichen Rohstoff verbrauchen.

Grundgleichungen

Der Jahresenergiebedarf Q ergibt sich aus 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_{reg} .

$$Q = Q_h + Q_w + Q_t - Q_{reg}$$

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

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

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

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

Eine alternative Darstellung der Gesamtbilanz ergibt sich, wenn als Zwischenergebnis die Summe der zu erzeugenden Energiemenge Q_{outg} eingeführt wird:

$$Q = Q_{outg} + Q_g - Q_{reg} \quad \text{mit} \quad Q_{outg} = Q_h + Q_w + Q_d + Q_s$$

Die zu erzeugende Wärmeenergie beinhaltet den Heizwärmebedarf Q_h und die Nutzwärmemenge für Trinkwarmwasser Q_w sowie ggf. Verteilverluste Q_d und Speicherverluste Q_s , die ebenfalls zu erzeugen sind.

Die eingeführten Bedarfsbilanzen ergänzen und modifizieren die genannten Grundgleichungen. Teilweise werden abweichende Formelzeichen bzw. Indices verwendet. Die technischen Verlustgrößen werden teilweise als Nutzungsgrade η oder Aufwandszahlen e ausgedrückt. Darüber hinaus werden ggf. zusätzliche Größen eingeführt, um die Effizienz der Übergabe und Regelung auszudrücken.

Zeit- bzw. lastunveränderlichen Randdaten

Die Phänomene der Transmission, des Stofftransports, der Verbrennung usw. lassen sich realitätsnah und mit einfachen physikalischen Gleichungen abbilden, solange es sich um stationäre Vorgänge mit zeit- bzw. lastunveränderlichen Randdaten handelt.

Da reale Vorgänge diesem Ideal nicht entsprechen, werden lastveränderliche Größen mit einem repräsentativen Mittelwert über den Bilanzzeitraum (oder Bilanzschritt) berücksichtigt. Eine Reihe von Vorgängen wird alternativ über Korrekturterme oder Korrekturfaktoren berücksichtigt. Beispiel: zusätzliche Energieaufwendungen, die aus Regelabweichungen der Regler sowie Trägheit eines Heizsystems entstehen können, können als Zusatzenergiemengen ausgewiesen werden oder als Erhöhung der mittleren Rauminnentemperatur in der Heizzeit (ggf. in erhöhten Luftwechseln und verlängerten Heizperioden) berücksichtigt werden.

Normierte und reale Randdaten

Eine Energiebedarfsbilanzierung kann unter Verwendung von normierten oder realen Randdaten erfolgen – je nach Anwendungszweck und angestrebter Realitätsnähe.

Normiert werden beispielsweise Klima- und Nutzungsranddaten, sofern die Bilanzergebnisse in EnEV-Nachweisen, Energieausweisen, KfW-Fördermittelanträgen (Effizienzhaus) verwendet werden.

Es gibt auch standardisierte Kennwerte für Gebäuderanddaten (Wärmedurchgangskoeffizienten, Wärmebrückenzuschläge usw.) und zur Beschreibung der Anlagentechnik (Erzeugereffizienzen, Kennwerte für die Regelgüte, Leitungslängen usw.). Sie werden eingesetzt, sofern entsprechende reale Werte bei Bestandsbauten nicht (mehr) ermittelbar sind, bei Neubauverfahren noch nicht exakt bekannt, nur mit aufwändigen Berechnungen und Simulationsverfahren ermittelbar wären.

Bei der Ergebnisinterpretation ist die gewählte Vorgehensweise zu berücksichtigen. So kann (nicht muss!) das Bilanzergebnis bei Verwendung von normierten Randdaten sehr weit weg von realen Verbrauchsdaten liegen. Dennoch lassen sich mehrere unter normierten Randdaten berechnete Bedarfsergebnisse untereinander vergleichen (das ist das Ziel von EnEV-Nachweisen und Energieausweisen auf Basis des Bedarfs).

Bilanzzeit und Zeitschritte

Der übliche Gesamtzeitraum für eine Energiebilanz ist ein Jahr. Die dabei gewählten Längen eines Zeitschrittes variieren stark von Sekunden (z.B. Simulation von Kesseln) über Zehntelstunden (z.B. Simulation von RLT), Stunden (z.B. Solar-, Photovoltaik-, Gebäudesimulation) und Monate (z.B. Gebäudebilanz im EnEV-Nachweis) bis zu einem Jahr. Bei einer Bilanzschrittweite von einer Stunde und weniger spricht man i. A. von "Simulation", sonst von "Berechnung".

Je länger der gewählte Zeitschritt, desto mehr Aufwand bedeutet es, repräsentative Randdaten für das Intervall so festzulegen, dass das Bilanzergebnis mit dem tatsächlichen Verbrauch übereinstimmt. Je kürzer der gewählte Zeitschritt, desto genauer müssen alle veränderlichen Eingangsdaten in die Bilanz aufgelöst sein, um eine Rechengenauigkeit nicht nur vorzutäuschen.

Bilanzfluss

Bild 2.9.8.1-1 stellt die Verknüpfung der im Gebäude auftretenden Wärmeströme dar. Die Bezeichnung der Energien wird im Abschnitt 2.9.8 erklärt. Der griechische Buchstabe η steht für einen Ausnutzungsgrad der Energie (vgl. Abschnitt 2.9.8.3).

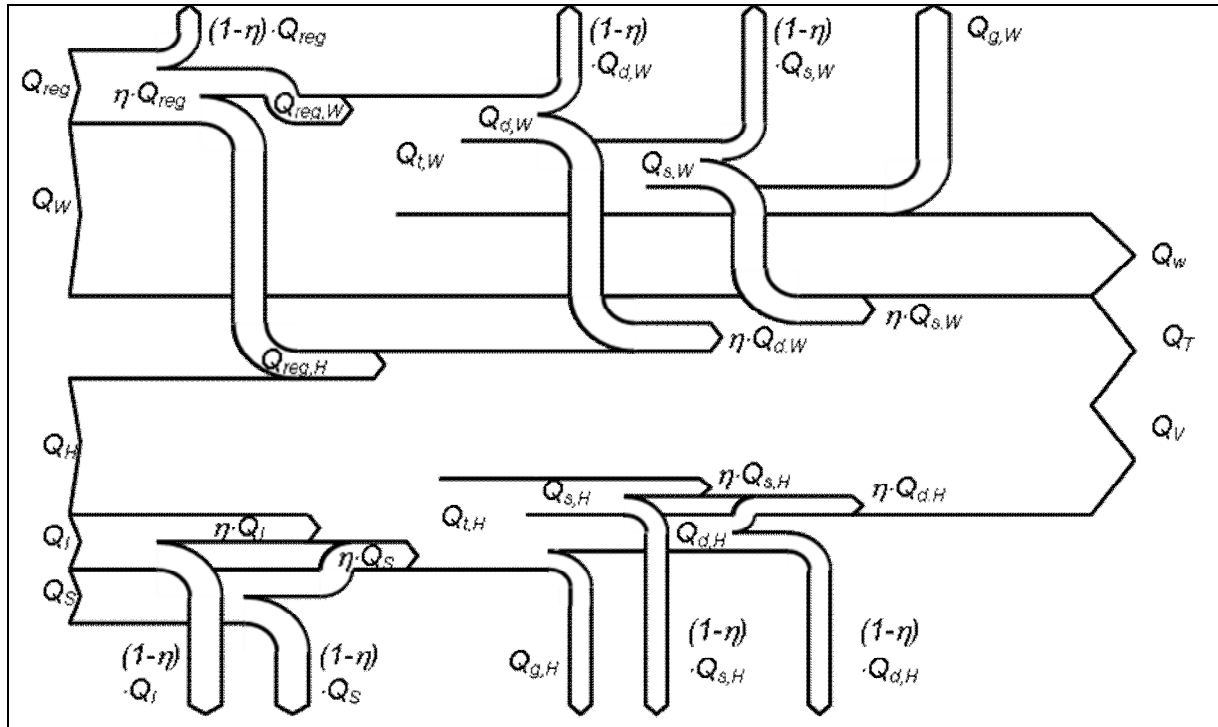


Bild 2.9.8.1-1 Verknüpfung der im Gebäude auftretenden Wärmeströme

Tafel 2.9.8.1-1 Legende der Größen und Indizes in Bild 2.9.8.1-1

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

Die in den einzelnen Regelwerken verwendeten Formelzeichen und Indices sind nicht identisch. Im Rahmen der nachfolgenden Erläuterungen werden häufig verwendete Bezeichnungen gewählt.

2.9.8.2 Mehrzonengebäude

Besteht ein Gebäude aus Zonen verschiedener Nutzung oder auch unterschiedlicher technischer Ausstattung, zum Beispiel ein kombiniertes Wohn- und Bürogebäude, erfolgt die Bestimmung des Energiebedarfs für jede Zone bzw. je Versorgungsbereich einer Technik.¹⁴

¹⁴ Hinweise zur Berechnung von Mehrzonengebäuden in DIN V 18599; Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teile 1 bis 11; Beuth; Berlin; 2011 oder Hörner und Knissel; Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden TEK; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2014.

2.9.8.3 Heizwärmebedarf

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

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

Der Heizwärmebedarf entspricht der Energiemenge, die den beheizten Räumen zugeführt werden muss. Je nach Bedarfsbilanzverfahren mit leicht veränderter Definition: entweder als Wärmeabgabe der Heizflächen oder als Wärmeabgabe des Systems aus Heizflächen und Rohrleitungen.

2.9.8.3.1 Heizperiode, Innen- und Außentemperatur

Die Heizperiode t_{HP} [d/a] entspricht der Zeit eines Jahres, die ein Gebäude durch die Heizungsanlage aktiv mit Wärme versorgt wird. Je nach Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} (z.B. 15°C) kann die Heizperiode auch $t_{\vartheta_{HG}}$ (z.B. t_{15}) genannt werden.

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

Die mögliche Heizgrenztemperatur für ein Gebäude hängt sowohl vom Dämmstandard des Gebäudes und der Lüftung als auch der Höhe der nutzbaren Fremdwärme in der Heizperiode ab. Fallen in einem Gebäude Wärmegegewinne an, decken diese einen Teil der Jahrestransmissions- und Lüftungswärmeverluste. Mit steigendem Gewinn/Verlust-Verhältnis verkürzt sich die Heizperiode, die Heizgrenztemperatur fällt auf niedrigere Werte, die mittlere Außentemperatur ϑ_a [°C] in der Heizzeit sinkt (Verschiebung der Heizperiode in den Kernwinter).

Typische Werte für Heizgrenztemperaturen siehe Bild 2.8.4.2-2. Im Wohnungsbau ergeben sich mehrheitlich Werte um 15°C.

Die mittlere Innentemperatur eines Gebäudes ϑ_i [°C] hängt sowohl von der Nutzung (Nutzungsart, Belegungsdichte, Nutzerverhalten), aber auch von der Regelung der Anlage und der Zeitkonstante des Gebäudes ab. Für den Wohnbau ist feststellbar, dass mit schlechterem Standard die mittlere Innentemperatur niedriger ausfällt. Gründe:

- im Altbau geringere Komfortansprüche in den aktiv genutzten Räumen (Abstriche meist aus Kostengründen),
- im Altbau höherer Anteil von räumlicher Teilbeheizung, gleichzeitig geringere thermische Kopplung der Räume untereinander und damit im Mittel größere Auskühlung,
- im Altbau stärkere Wirksamkeit von zeitlicher Teilbeheizung (geringere Zeitkonstante aufgrund fehlenden Wärmeschutzes).

Mittlere repräsentative Innentemperaturen liegen im Wohnbau zwischen 17°C und 21°C.

Die vorgenannten Größen ϑ_i , ϑ_a und t_{HP} können in der Gradtagszahl $Gt_{\vartheta_i, \vartheta_{HG}}$ (z.B. $Gt_{20,15}$) zusammengefasst werden. Sie stellt die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen mittlerer Innentemperatur ϑ_i (z.B. 20 °C) und Außentemperatur über alle Tage einer Heizperiode mit der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} (z.B. 15 °C), dar.

Für verschiedene Standorte Deutschlands ist die typische Gradtagszahl $Gt_{20,15}$ für eine Innentemperatur von $\vartheta_i = 20\text{ °C}$ und eine Heizgrenztemperatur von $\vartheta_{HG} = 15\text{ °C}$ dokumentiert¹⁵. Die Angabe erfolgt in der Einheit "Kd/a" oder günstiger für die Energiebilanzierung in "kKt/a".

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

$$Gt_{\vartheta_i, \vartheta_{HG}} = Gt_{20, \vartheta_{HG}} + t_{\vartheta_{HG}} \cdot (\vartheta_i - 20\text{ °C}) \quad \text{z.B.} \quad Gt_{18,15} = Gt_{20,15} + t_{15} \cdot (18\text{ °C} - 20\text{ °C})$$

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

Die Übersichten in Bild 2.9.8.3-1 gelten für einen mittleren Standort in Deutschland. Der Ablesebereich für typische Wohngebäude ist markiert.

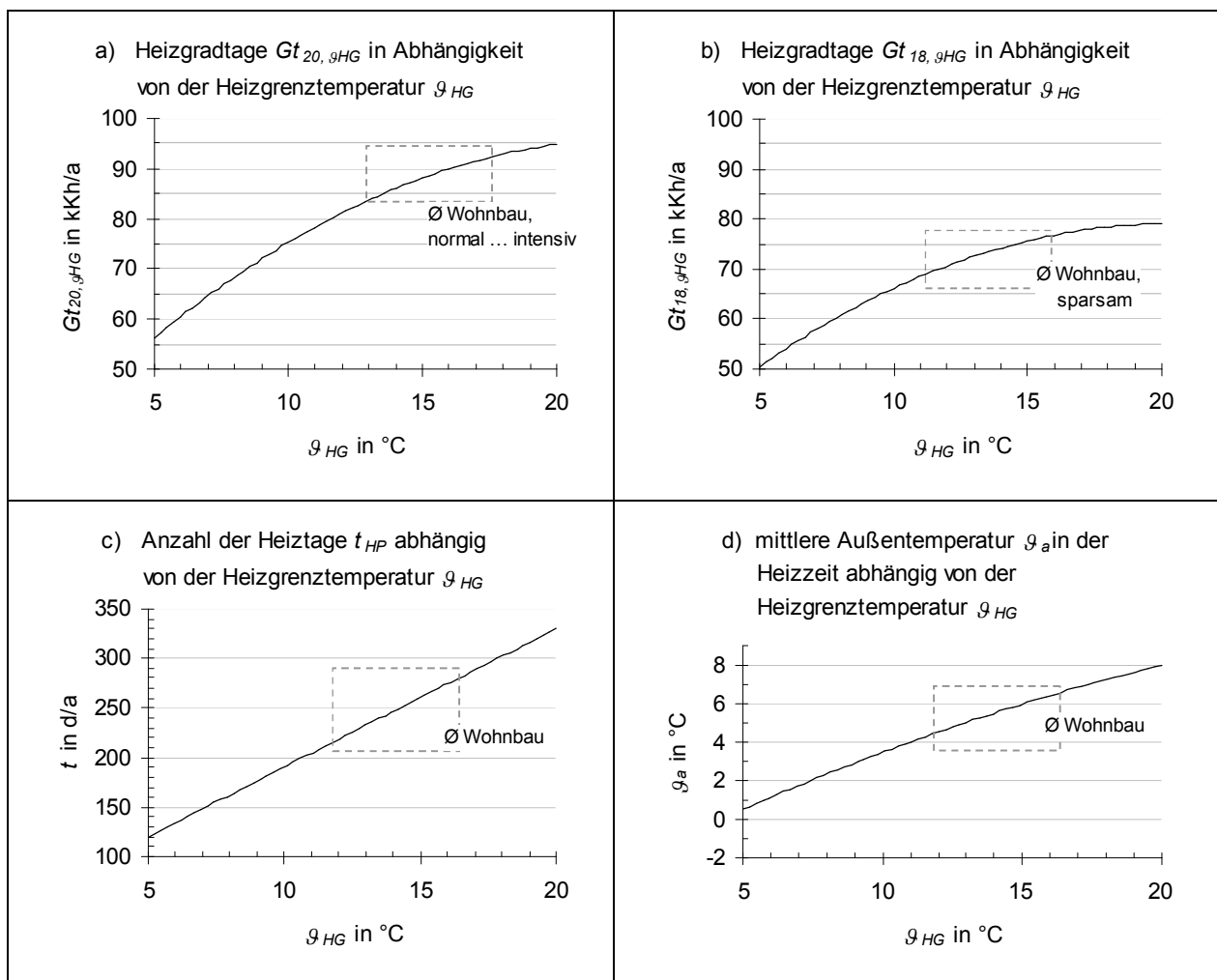


Bild 2.9.8.3-1 Gradtagszahlen für 20 °C und 18 °C Innentemperatur (a, b), Anzahl der Heiztage (c) und mittlere Außentemperatur (d) je nach Heizgrenztemperatur für einen mittleren Standort in Deutschland

¹⁵ Gradtagszahlen können der VDI 3808, Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien bei Heizungsanlagen, (01.1993) entnommen werden bzw. aus den Wetterdaten der DIN 4710, Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen in Deutschland (01.2003), ermittelt werden.

2.9.8.3.2 Transmission

Der Transmissionswärmebedarf eines Gebäudes Q_T [kWh/a] hängt von der Gradtagszahl G_t [KKh/a] sowie dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aller Umschließungsflächen des Gebäudes U_m bzw. H_T' [W/(m²K)] und der Größe der wärmeübertragenden Hüllfläche $A_{Hülle}$ [m²] ab. Die Gebäudeeigenschaft $H_T' \cdot A_{Hülle}$ kann als spezifische Transmissionsheizlast H_T [W/K] zusammengefasst werden.

$$Q_T = H_T \cdot G_t \quad \text{mit} \quad H_T = H_T' \cdot A_{Hülle} = \sum (U \cdot A \cdot F_x) + H_{WB}$$

Die spezifische Transmissionsheizlast H_T ergibt sich als Summation aller Einzelwärmeflüsse der gesamten wärmeübertragenden Umfassungsflächen. Der Wärmedurchgangskoeffizient U [W/(m²K)] beschreibt dabei die jeweilige Bauteilqualität. Bei der Erfassung der Einzelflächen A [m²] gilt üblicherweise in Deutschland der Außenmaßbezug.

Für jede Einzelfläche gilt prinzipiell eine spezielle Temperaturdifferenz, abhängig von der rückseitigen Temperatur (Keller, Erdreich, anderes Gebäude usw.), d.h. die Gradtagszahl variiert strenggenommen. Das übliche Regelwerk führt daher einen dimensionslosen Temperaturkorrekturfaktor F_x ein. Er drückt aus, dass für die betrachtete Teilfläche eine andere Temperaturdifferenz gilt als die Differenz zwischen Innentemperatur ϑ_i und Außenlufttemperatur ϑ_e , die in der Gradtagszahl enthalten ist.

Wärmebrücken werden in allen gängigen Bedarfsbilanzen rechnerisch berücksichtigt (H_{WB}). Sie stellen einen linien- oder punktförmigen Transmissionswärmestrom dar. Berechnet werden üblicherweise linienförmige Wärmebrücken aufgrund von Materialwechseln, Einbaukanten, Gebäudeecken usw. Berücksichtigt werden sie als Summenprodukt aus längenbezogenen Wärmeverlusten Ψ [W/(mK)] und entsprechenden Lauflängen L [m]. Vereinfacht wird mit pauschalen flächenbezogenen Zuschlägen ΔU_{WB} [W/(m²K)] hantiert, die auf die gesamte wärmeübertragende Fläche $A_{Hülle}$ [m²] angesetzt werden.

Eine zusammengefasste spezifische Heizlast H ($= H_T + H_v$) kann auch aus Messwerten reproduziert werden – siehe Abschnitt 2.9.7.2. Für die Bestandsanalyse existiert somit ein sehr zeitsparendes Instrument der Bewertung.

Abschätzung der Wärmedurchgangskoeffizienten

Mit nachfolgenden Grafiken können die Bauteilqualitäten näherungsweise eingeschätzt werden. Entsprechende Ablesebeispiele sind eingetragen.

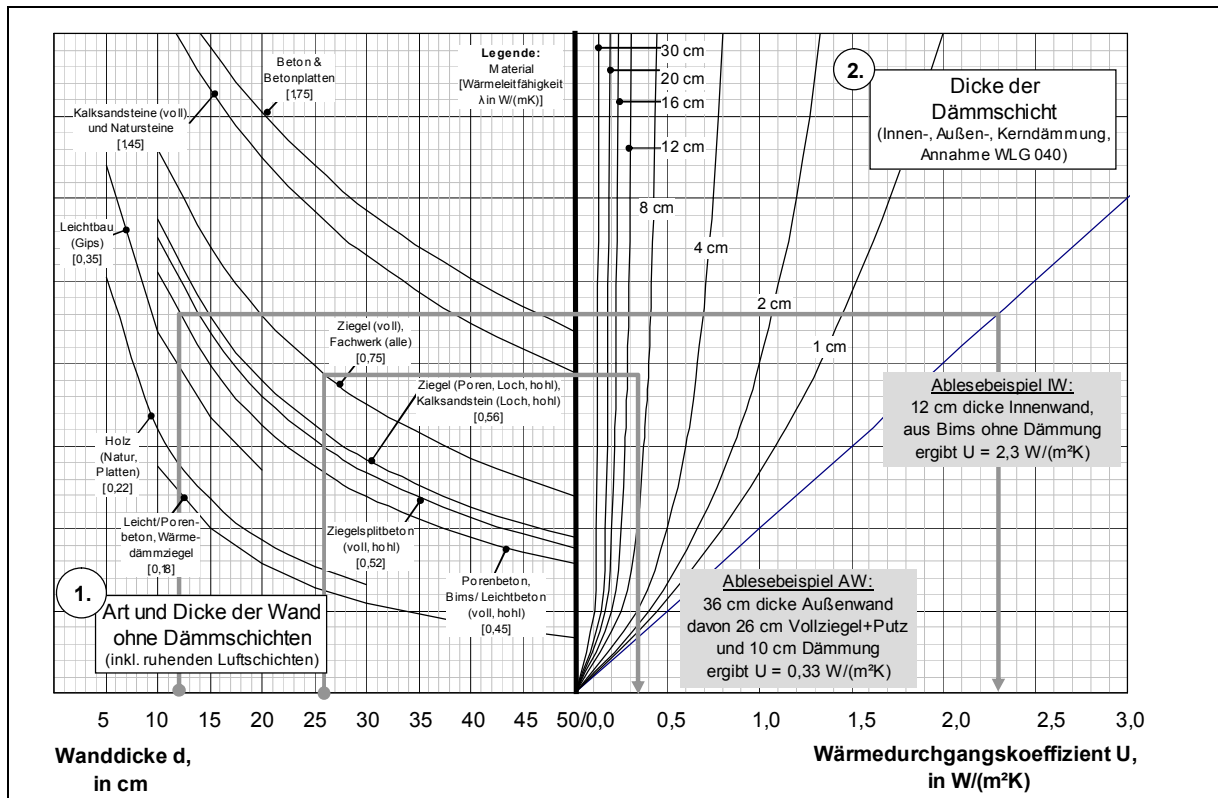


Bild 2.9.8.3-2 U-Werte für Innen- und Außenwände

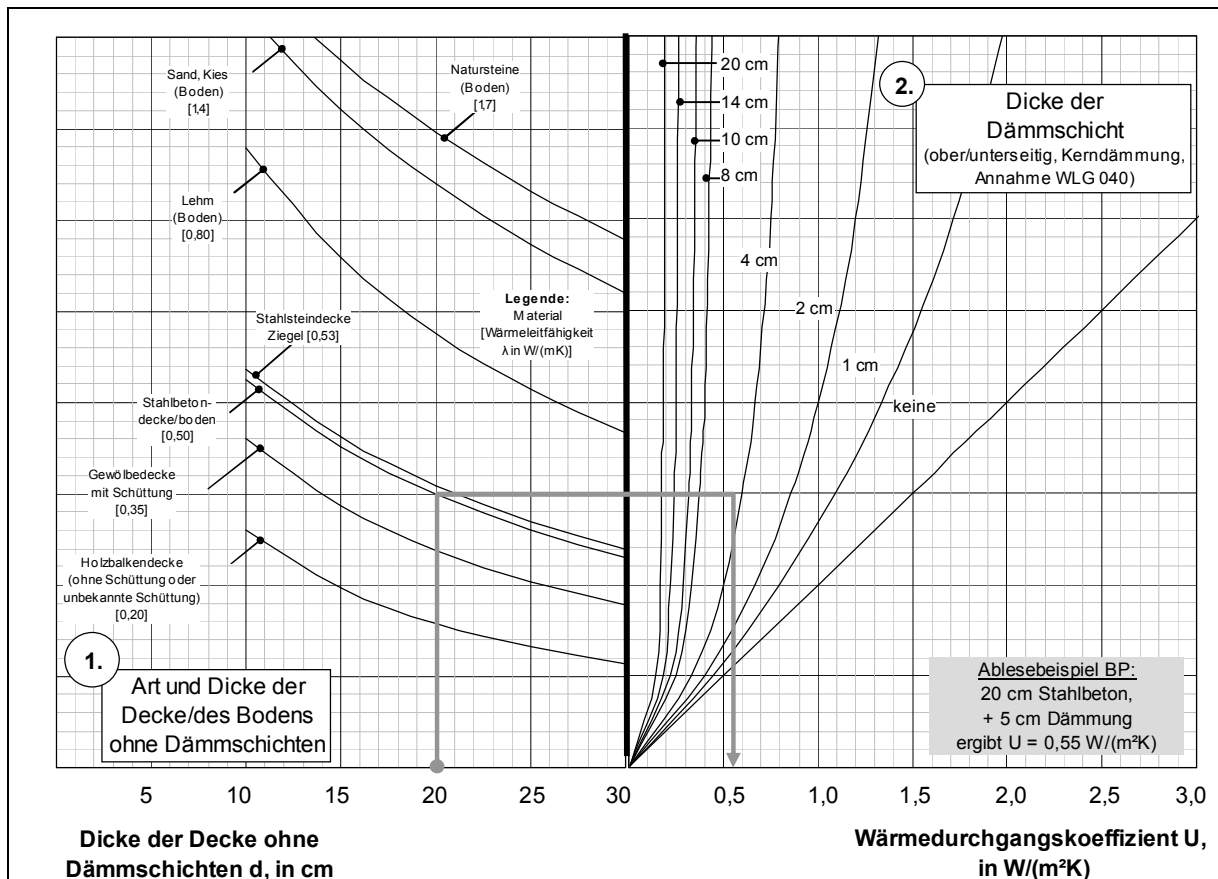


Bild 2.9.8.3-3 U-Werte für Decken und Bodenplatten

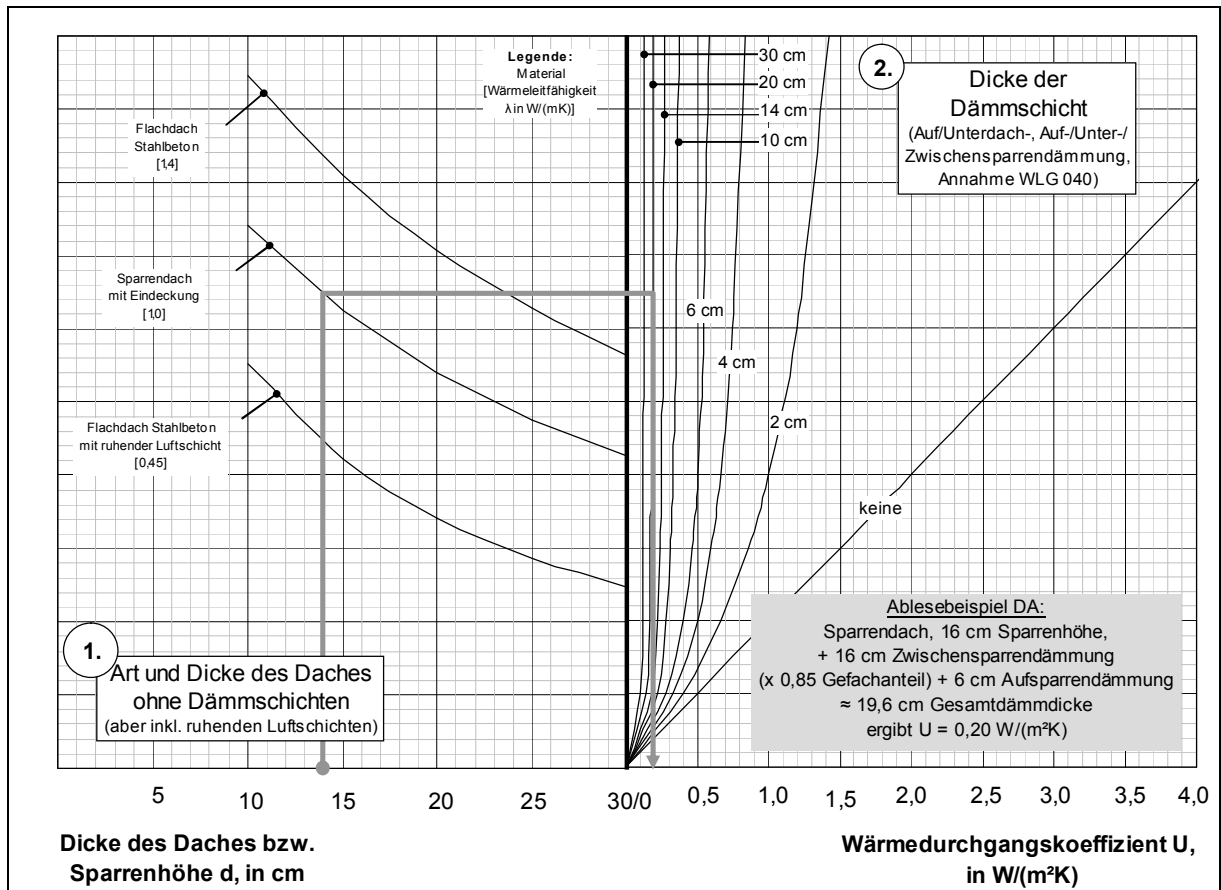


Bild 2.9.8.3-4 U-Werte für Dächer

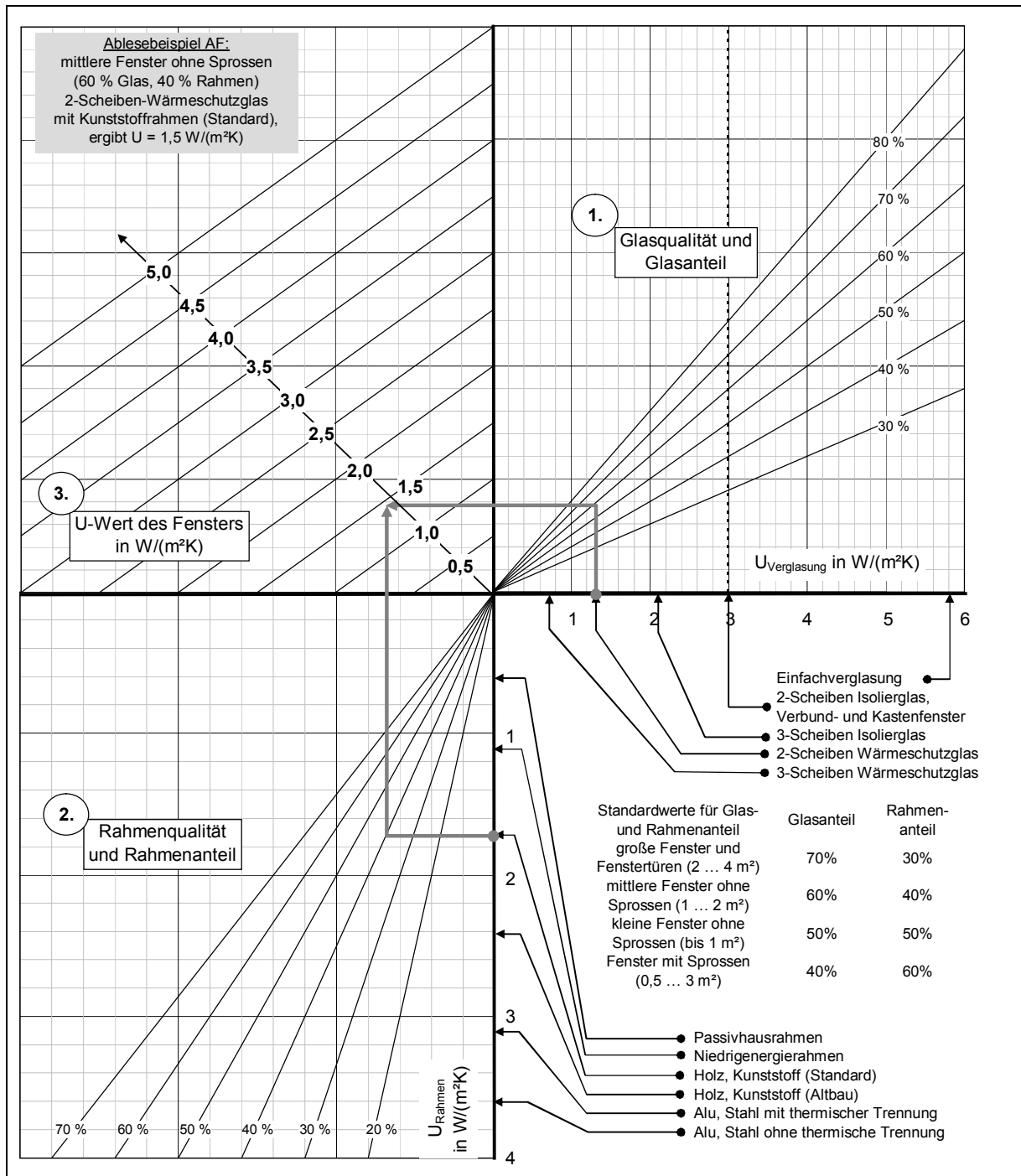


Bild 2.9.8.3-5 U-Werte für Fenster und Türen

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Ein wohnflächenbezogener Transmissionswärmeverlust q_T [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$] ergibt sich aus den oben genannten Größen H_T' und G_t sowie einem dimensionslosen Kompaktheitsgrad $A_{\text{Hülle}}/A_{\text{Wohn}}$.

$$q_T = \frac{Q_T}{A_{\text{Wohn}}} = \frac{H_T}{A_{\text{Wohn}}} \cdot G_t = H_T' \cdot \frac{A_{\text{Hülle}}}{A_{\text{Wohn}}} \cdot G_t$$

Die Kompaktheit eines Gebäudes kann auch durch das Verhältnis $A_{\text{Hülle}}/V_e$ [m^{-1}] bezogen auf das umbaute Volumen ausgedrückt werden. Tafel 2.9.8.3-1 gibt typische Kompaktheitsgrade für Gebäude an.

Tafel 2.9.8.3-1 Typische Kompaktheitsgrade $A_{\text{Hülle}}/A_{\text{Wohn}}$ für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Gebäudeart	freistehendes EFH	Reihenendhaus	Reihenmittelhaus	kleines Mehrfamilienhaus	großes Mehrfamilienhaus	Hochhaus
$A_{\text{Hülle}}/V_e$ [m^{-1}]	1,0 ... 0,7	0,8 ... 0,6	0,7 ... 0,5	0,8 ... 0,5	0,7 ... 0,4	0,6 ... 0,2
$A_{\text{Hülle}}/A_{\text{Wohn}}$ [-]	3,4 ... 2,4	2,7 ... 2,0	2,4 ... 1,7	2,7 ... 1,7	2,4 ... 1,4	2,0 ... 0,7

Tafel 2.9.8.3-2 gibt einen Überblick über typische mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten abhängig von Baustandard und Modernisierungsgrad. Wenn ein Gebäude vollmodernisiert ist, zählt es zu dem Baustandard, welcher bei der Modernisierung erreicht wurde. Eine Erhebung der Bauteilqualitäten am realen Objekt ist auf jeden Fall anzustreben, wenn Praxisprojekte bearbeitet werden.

Tafel 2.9.8.3-2 Typische mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten H_T' für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Baustandard	Gebäude vor WSchV77		WSchV77-84		WSchV9 5, EnEV02-07	EnEV09-14	Niedrigenergiehaus	Passivhaus
	keine ... gering	gering ... mittel	keine ... gering	gering ... mittel	keine	keine	keine	keine
H_T' [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]	1,0 ... 1,4	0,70 ... 1,0	0,80 ... 1,1	0,60 ... 0,80	0,50 ... 0,70	0,40 ... 0,50	0,30 ... 0,40	0,25 ... 0,30

2.9.8.3.3 Lüftung

Der jährliche Lüftungswärmeverlust Q_V [kWh/a] für ein Gebäude kann analog zum Transmissionswärmeverlust aus der spezifischen Lüftungsheizlast H_V [W/K] und der Gradtagszahl G_t [kKh/a] bestimmt werden. Dabei ist die Größe H_V nicht allein eine gebäudespezifische Größe, da sie auch von der Agententechnik und im besonderen Maße vom Nutzerverhalten bestimmt wird. Sie beinhaltet das belüftete Gebäudevolumen V_L [m^3], den mittleren Luftwechsel n [h^{-1}] sowie das Produkt aus Dichte und Wärmespeicherkapazität der Luft $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$.

$$Q_V = H_V \cdot G_t \quad \text{mit} \quad H_V = 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot n \cdot V_L$$

Der Luftwechsel ist ein Maß für den Luftaustausch durch Infiltration (Fugen, Undichtheiten), nutzungsbedingtes Öffnen der Fenster und Türen sowie durch eine Lüftungsanlage. Er ist eine stark zeitveränderliche Größe und nur mit großen Unsicherheiten als repräsentativer Wert anzugeben.

Eine zusammengefasste spezifische Heizlast H ($= H_T + H_V$) kann auch aus Messwerten reproduziert werden – siehe Abschnitt 2.9.7.2.

Wärmerückgewinnung und effektiver Luftwechsel

Wenn Luft mit Technik vorgewärmt wird, strömt sie mit einer anderen Temperatur (abweichend von der Außentemperatur ϑ_e) in den Bilanzraum ein. Dieser Effekt auf die bilanzierte Energiemenge wird in den eingeführten Bilanzverfahren auf verschiedene Arten rechnerisch ausgedrückt.

Entweder wird bei der Bilanzierung die Temperatur des zuströmenden Volumenstroms entsprechend geändert und mit dem effektiv vorhandenen Wert gerechnet (ϑ_{eff}). Alternativ wird der Luftwechsel in die Gleichung vermindert angesetzt mit einem effektiven Wert (n_{eff}). Der Ansatz des effektiven Luftwechsels folgt der Logik der Temperaturkorrekturfaktoren (F_x) für die Transmission. Andere Varianten sind möglich und führen zum selben Ergebnis.

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

Der effektive Luftwechsel enthält einen Anlagenluftwechsel n_{Anl} , wobei nur dessen nicht zurückgewonnener Anteil bilanziell zählt (berechnet mit der Rückwärmzahl η_{WRG}). Zusätzlich entstehen auch für mechanisch belüftete Gebäude Luftwechsel durch im Gebäude vorhandene Restundichtheiten n_{Rest} und das natürliche Fensterlüftungsverhalten.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Ein wohnflächenbezogener Lüftungswärmeverlust q_V [kWh/(m²a)] ergibt sich aus den oben genannten Größen n und G_t sowie der mittleren Höhe h_{Raum} [m] der belüfteten Räume.

$$q_V = \frac{Q_V}{A_{Wohn}} = \frac{H_V}{A_{Wohn}} \cdot G_t = 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot n \cdot h_{Raum} \cdot G_t$$

Tafel 2.9.8.3-3 gibt einen Überblick über typische effektive Luftwechsel abhängig von Nutzungsintensität und Anlagentechnik.

Tafel 2.9.8.3-3 Typische mittlere Luftwechsel n für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Nutzungsintensität, Belegung	mittel ... hoch	gering ... mittel	keine (nur Infiltration)	alle	alle
Lüftungsanlage	keine	keine	keine	zentrale Abluft	Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung
n [h ⁻¹]	0,5 ... 0,7	0,3 ... 0,5	0,1 ... 0,2	0,5 ... 0,7	0,2 ... 0,3

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

2.9.8.3.4 Solare Fremdwärme

Als solare Fremdwärme Q_S [kWh/a] wird in jedem Fall der Strahlungsdurchtritt durch transparente Flächen berücksichtigt, in einigen Verfahren auch der bilanzielle Gewinn für nichttransparente (opake) Flächen.

Die Strahlungsenergiemenge hängt vom Strahlungsangebot ab, welches nach Himmelsrichtung und Neigung verschieden ist. Die Strahlung kann als Strahlungsleistungsdichte I [W/m²] bzw. summierte Energiemenge in einem Zeitraum G [kWh/(m²a)] angegeben werden – jeweils bezogen auf die (von außen) bestrahlte Fläche.

$$Q_S = \sum (I \cdot g \cdot A \cdot \Pi F_i) \cdot t = \sum (G \cdot g \cdot A_F \cdot \Pi F_i)$$

Die üblichen Bedarfsbilanzen verwenden zur Berechnung die Rohbauöffnungsmaße der Fenster und ggf. Türen A_F [m²]. Der tatsächliche Glasanteil des Bauteils ist geringer, was durch einen Korrekturfaktor (Glasanteil) berücksichtigt wird. Ebenfalls korrigiert werden Phänomene wie Verschattung (natürlich und durch Verschattungseinrichtungen) von Glasflächen, Verschmutzung, Reflexion an Scheiben. Es kommt für alle genannten Effekte ein Produkt diverser Korrekturen ΠF_i zum Einsatz. Weiterhin spielt der dimensionslose Energiedurchlassgrad g der Scheiben eine Rolle.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Ein wohnflächenbezogener solarer Fremdwärmegewinn q_S [kWh/(m²a)] ergibt sich durch Bezug auf die Wohnfläche.

$$q_S = \frac{Q_S}{A_{Wohn}} \approx \frac{A_F}{A_{Wohn}} \cdot G_{\text{mittel}} \cdot g \cdot \Pi F_i$$

Die Bestimmungsgleichung lässt sich umformen. Es wird erkennbar, dass der Fensterflächenanteil A_F/A_{Wohn} relevant für das Ergebnis ist.

Tafel 2.9.8.3-4 gibt typische zu erwartende solare Fremdwärmemengen an. Die Werte sind auf die Wohnfläche A_{Wohn} bezogen. Baustandard und Nutzungsintensität bestimmen die Heizgrenze und damit die Länge der Heizperiode und das solare Strahlungsangebot G . Der Modernisierungsgrad (der Fenster) bestimmt deren Energiedurchlassgrad g .

Tafel 2.9.8.3-4 Typische mittlere Fremdwärme aus solarer Einstrahlung q_s für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Baustandard	vor WSchV77, WSchV77-84	vor WSchV77, WSchV77-84	WSchV95, EnEV02-14	Niedrigenergie-, Passivhaus
Nutzungsintensität	normal	gering	normal	normal
ϑ_{HG} [°C]	17 ... 15	15 ... 12	ca. 15	ca. 12
G [kWh/(m ² a)]	380 ... 330	350 ... 280	300 ... 250	270 ... 220
Modernisierung	keine ... geringe	gering ... mittel	keine	keine
g [-]	0,75 ... 0,65	0,70 ... 0,60	0,65 ... 0,55	0,55 ... 0,45
q_s [kWh/(m ² a)]	22 ... 17	18 ... 12	15 ... 11	12 ... 8

Die Werte gelten für Fensterflächenanteile von $A_F/A_{Wohn} \approx 0,15 \dots 0,20$. Der zusammengefasste Korrekturfaktor für Verschattung, Verschmutzung, nichtsenkrechten Lichteinfall und Rahmenanteil beträgt ca. 0,3 ... 0,5.

2.9.8.3.5 Innere Fremdwärme

Die in einem Gebäude frei werdenden Energien können grundsätzlich der geregelten und der ungeregelten Wärmeabgabe zugeordnet werden. Unter der geregelten Wärmeabgabe werden alle Energien verstanden, die von den geregelten Heizflächen innerhalb des Gebäudes abgegeben werden. Alle anderen inneren Energiequellen des Gebäudes (Personen, Geräte, ein Teil der Wärmeverteilungen) geben ihre Energie ungeregelt ab.

Der Umfang der bilanzierten inneren Fremdwärme ist in den eingeführten Bilanzverfahren verschieden. Als innerer Gewinn zählt regulär die Abwärme der Beleuchtung, elektrischen Geräte und Personen, seltener die Abwärme der gebäudetechnischen Anlagen.

Ein Teil der von den inneren Energiequellen ungeregelt frei werdenden Energie Q_I [kWh/a] kann für die Raumheizung genutzt werden.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Zur Abschätzung der inneren Fremdwärme aus Personen und elektrischen Geräten und Beleuchtung wird auf typische flächenbezogene Leistungskennwerte \dot{q}_I [W/m²] zurückgegriffen. Der Flächenbezug variiert je nach Bilanzverfahren, nachfolgend wird die Wohnfläche A_{Wohn} [m²] verwendet.

$$q_I = \dot{q}_I \cdot t_{HP}$$

Tafel 2.9.8.3-5 gibt typische Leistungskennwerte der Personen-, Beleuchtungs- und Geräteabwärme für den Wohnungsbau an. Die Werte variieren mit der Nutzungsintensität eines Gebäudes. Es kann davon ausgegangen werden, dass neben der Personenabwärme ca. 80 ... 90 % des Stromverbrauchs in der Wohnung als Fremdwärmeleistung wirksam werden.

Tafel 2.9.8.3-5 Typische innere Fremdwärmeleistung aus Personen-, Beleuchtungs- und Geräteabwärme \dot{q}_I für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Gebäudeart	EFH			MFH		
	gering	normal	intensiv	gering	normal	intensiv
Nutzungsintensität						
\dot{q}_I [W/m ²]	2	3,5	5	3	4,5	6

Die Energiemenge, welche als innere Fremdwärme wirksam wird, ergibt sich aus dem Leistungskennwert und einer Bilanzzeit, hier der Heizperiode. Tafel 2.9.8.3-6 gibt mittlere innere Fremdwärmemengen aus Personen-, Beleuchtungs- und Geräteabwärme an.

Tafel 2.9.8.3-6 Typische innere Fremdwärme aus Personen-, Beleuchtungs- und Geräteabwärme q_I für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Baustandard	vor WSchV77, WSchV77-84	vor WSchV77, WSchV77-84	WSchV95, EnEV02-14	Niedrigenergie-, Passivhaus
Modernisierung	keine ... geringe	gering ... mittel	keine	keine

Nutzungsintensität	normal	gering	normal	normal
ϑ_{HG} [°C]	17 ... 15	15 ... 12	ca. 15	ca. 12
\dot{q}_l [W/m ²]	3 ... 5	2 ... 3	3 ... 5	3 ... 5
q_l [kWh/(m ² a)]	20 ... 30	12 ... 18	15 ... 25	12 ... 20

Darüber hinaus werden zusätzliche Mengen aufgeführt, die aus der Abwärme von Trinkwarmwassernetzen frei werden. Ausschlaggebend sind das Vorhandensein einer Zirkulation und deren Laufzeit. Darüber hinaus ist der Dämmstandard der Leitungsanlagen ausschlaggebend. Es sind in der Praxis nur wenige Anlagen zu finden, die den Standard der 1. Heizungsanlagenverordnung nicht erreichen. Das Passivhausinstitut empfiehlt deutlich höhere Dämmstandards der Netze als die EnEV.

Die Spanne in Tafel 2.9.8.3-7 genannten Werte ergibt sich auch durch den Verlegeort der Leitungen. Sobald diese (teilweise) im unbeheizten Bereich angeordnet werden, ergibt sich eine geringere Fremdwärmemenge. Der höhere Wert gilt für eine Installation innerhalb des beheizten Bereiches.

Tafel 2.9.8.3-7 Typische innere Fremdwärme aus Abwärme der Trinkwarmwasserverteilung q_l für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Gebäude	MFH/EFH		EFH		MFH/EFH
Netzart Trinkwarmwasser	zentral mit Zirkulation		zentral ohne Zirkulation		dezentral
Ausführungsstandard	HeizAnIV, EnEV	NEH, Passivhaus	HeizAnIV, EnEV	NEH, Passivhaus	alle
q_l [kWh/(m ² a)]	20 ... 10	15 ... 5	5 ... 2	3 ... 1	≈ 0

Die unregelmäßige Wärmeabgabe der Heizungsleitungen innerhalb des beheizten Bereiches und daraus resultierende Fremdwärme wird an dieser Stelle nicht näher betrachtet. Werte können mit den Ausführungen in Abschnitt 2.9.8.5.2 abgeschätzt werden.

2.9.8.3.6 Fremdwärmenutzungsgrad

Der Fremdwärmenutzungsgrad (Ausnutzungsgrad der freien Wärme) η_F drückt aus, dass die unregelmäßig auftretenden Fremdwärmemengen nicht zu jeder Zeit nutzbar sind und Heizwärme ersetzen können. Es kommt zu zeitlichen und/oder lokalen Überwärmungseffekten. Die Höhe der Fremdwärmenutzung hängt ab:

- vom Verhältnis der Fremdwärmemengen zu den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten, d.h. dem Gewinn-Verlust-Verhältnis,
- von der Zeitkonstante des Gebäudes, die u. a. die Bauschwere berücksichtigt,
- von der Regelungstechnik und damit dem Reaktionsvermögen und der Reaktionsgeschwindigkeit der technischen Anlagen auf Fremdwärme,
- vom Nutzerverhalten und seiner Toleranz gegenüber Überwärmungsphasen, die entweder abgelfüftet werden oder teilweise in die Gebäudemassen eingespeichert werden können.

Formeln für die Bestimmung des Fremdwärmenutzungsgrades werden empirisch oder durch Simulation gefunden. Eine Näherung, die für Jahresbilanzen im Wohnbau praktikabel ist, aber nur das Gewinn-Verlust-Verhältnis als Einflussparameter enthält, lautet:

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

Detailliertere Ansätze, auch für die Monatsbilanzierung, sind den eingeführten Regelwerken zu entnehmen.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Mit dem oben genannten Jahresansatz ergeben sich Fremdwärmenutzungsgrade von 85 % (Passivmehrfamilienhaus) ... 95 % (Altbaueinfamilienhaus). Die Werte sind geringer bei günstigem Gewinn-Verlust-Verhältnis (EFH > MFH, Altbau > Passivhaus).

2.9.8.4 Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung

Bedarfsbilanzen gehen bei der Berechnung der Nutzwärme für die Trinkwassererwärmung Q_w [kWh/a] von zu erwärmenden Wassermengen \dot{V} [m³/d, m³/h usw.] aus. Die Erwärmung erfolgt ausgehend von einer Kaltwassertemperatur ϑ_k [°C], mit der das Wasser den Bilanzraum betritt, auf eine Warmwassertemperatur ϑ_w [°C]. Je nachdem, für welche Zeitintervalle der Volumenstrom angegeben ist, erfolgt eine Hochrechnung mit der Bilanzzeit t [d/a, h/a usw.].

$$Q_w = q_w \cdot A_{\text{Wohn}} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\vartheta_w - \vartheta_k) \cdot t$$

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Bei Wohngebäuden wird von etwa 20 ... 40 l/(P · d) als Tageswarmwassermenge ausgegangen, die auf ca. 50 ... 65°C erwärmt wird. Das entspricht etwa 25 ... 35 % des Gesamtwasserverbrauchs (die restliche Menge bleibt kalt). Daraus ergeben sich personenbezogene Kennwerte von 400...650 kWh/(Person·a) für die gezapfte Warmwassermenge.

Ein flächenbezogener Kennwert q_w [kWh/(m²a)] ergibt sich unter Berücksichtigung der Belegungsdichte (in MFH höher als in EFH). Typische wohnflächenbezogene Werte siehe Tafel 2.9.8.4-1.

Tafel 2.9.8.4-1 Typische Nutzwärme für die Trinkwassererwärmung q_w für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Gebäudeart	EFH			MFH		
	gering	normal	intensiv	gering	normal	intensiv
Nutzungsintensität						
q_w [kWh/m ² a]	6 ... 10	9 ... 13	12 ... 18	8 ... 12	11 ... 16	14 ... 20

2.9.8.5 Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung

Der Jahresendenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung Q [kWh/a] beinhaltet sowohl den Nutzen für den Verbraucher (Heizwärme Q_h und Nutzenergie Trinkwassererwärmung Q_w) sowie alle zu deckenden technischen Verluste, die auf dem Wege der Bereitstellung dieser Wärme auftreten. Grundgleichungen der Bilanz sind in Abschnitt 2.9.8.1 beschrieben.

Nachfolgend wird der Wärmefluss vom Ort der Nutzung zum Ort der Erzeugung hin verfolgt und auftretende technisch Verluste Q_t [kWh/a] beschrieben. Dabei werden vier Stufen (Prozessschritte) durchlaufen:

- Übergabe der Wärme aus dem Verteilnetz an den Ort der Nutzung,
- Verteilung der Wärme,
- Speicherung der Wärme,
- Erzeugung der Wärme.

2.9.8.5.1 Wärmeübergabe und Regelung

Reale Heizungsanlagen sind mit Regelungstechnik ausgestattet, z.B. zur Beeinflussung der Raumtemperatur. Dies hat Rückwirkungen auf die Energiebilanz. Die zu berücksichtigenden Effekte sind:

- verminderte Verluste aufgrund von Nachtabsenkungen und Nachabschaltungen der Heizung,
- erhöhte Verluste aufgrund von Regelabweichungen und Systemträgheiten.

Die eingeführten Regelwerke zur Energiebilanzierung enthalten detailliertere Rechenansätze zu dieser Thematik. Es wird mit Nutzungsgraden, Aufwandszahlen oder flächenbezogenen Kennwerten zur rechnerischen Abbildung der Effizienz der Übergabe und Regelung operiert. Alle Kennwerte sind aus Simulationen abgeleitet.

Die hier vereinfachte Darstellung der Energiebilanz geht davon aus, dass die repräsentative mittlere Innentemperatur zur Bestimmung der Gradtagszahl bereits alle Effekte der Regelung enthält, siehe Abschnitt 2.9.8.3.1. Daher werden keine separaten Verluste für Übergabe und Regelung angegeben. Dieser Ansatz ist im Abgleich zu Messwerten der Raumtemperatur kompatibel.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Eine Nachtabsenkung (eher im MFH üblich) oder Nachtabschaltung (eher im EFH) der Heizung führt zu rechnerischen Einsparungen im Bereich von 2 ... 10 %. Bezugswert ist die durchgehende Beheizung. Der geringere Wert ergibt sich bei schweren und gut gedämmten Gebäuden, der höhere für schlecht gedämmte Leichtbauten.

Die Regelabweichungen in Verbindung mit der Systemträgheit führen im Gegenzug zu Mehraufwendungen an Energie im Bereich von 2 ... 15 %. Günstiger sind elektronische Regler und massearme Heizsysteme (z.B. Konvektor, Plattenheizkörper). Ungünstiger erweisen sich P-Regler (z.B. Thermostatventile) und massereiche Systeme (z.B. Estrichfußbodenheizung).

Je höher der Nutzereingriff in die Regelung, desto mehr wird die eigentliche Regelfunktion überlagert, d.h. eine Nachauskühlung ergibt sich durch manuelle Bedienung der Raumregler und/oder ausgelöst durch zentrale Steuerungsfunktionen. Der Regelabweichung von Raumreglern kann entgegen gewirkt werden, indem der Sollwert leicht geändert wird.

2.9.8.5.2 Wärmeverteilung

Der Wärmeverteilungsverlust Q_d [kWh/a] resultiert aus einer Transmissionsberechnung. Da ein Rohrnetz regulär aus mehreren Abschnitten besteht, ergibt sich eine Summation über alle Abschnitte der Länge L [m].

$$Q_d = \sum (U \cdot L \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t) = \sum L \cdot q'$$

Die maßgeblichen Temperaturen im Rohr ϑ_i [°C] und in der Umgebung der Verlegung ϑ_e [°C] sind ggf. variabel im bilanzierten Zeitintervall t [h/a]. Für durchgängig und temperaturkonstant betriebene Rohre (z.B. unterbrechungsfreie Trinkwarmwasserzirkulation) sind Randdaten einfach bestimmbar. Bei periodisch durchflossenen Leitungsabschnitten (Stichleitungen, Anbindeleitungen) und bei Netzen mit Regelfunktionen (Witterungsführung, Zeitprogramme) wird mit repräsentativen Mittelwerten im Zeitintervall operiert.

Maßgeblich für die Wärmeübertragung ist die wärmeübertragende Oberfläche eines Rohres. Da bei Kreisquerschnitten an jeder Grenzschicht eine andere Hüllfläche zu verzeichnen ist, ergeben sich aufwändige Berechnungsgleichungen für den flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten. Die üblichen Bedarfsbilanzen vereinfachen die Berechnung. Es werden längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten U [W/(mK)] für Rohre eingeführt, die allerdings durchmesserabhängig sind, siehe Bild 2.9.8.5-1.

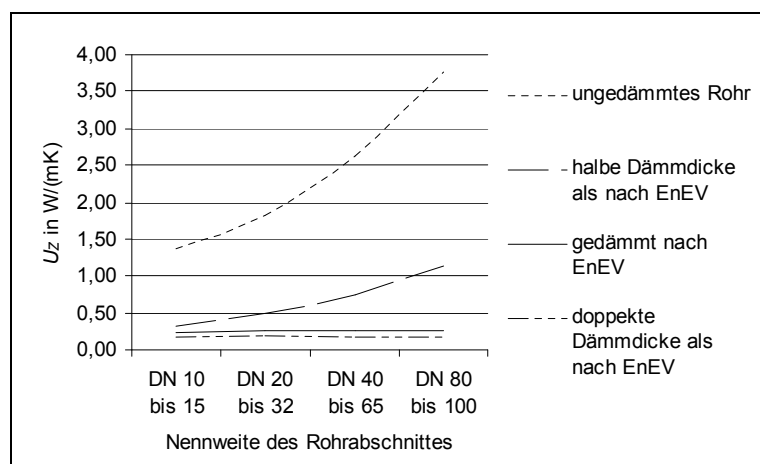


Bild 2.9.8.5-1 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient U

Bei der "Dämmung nach EnEV" entspricht die Dämmdicke in etwa der Nennweite. Üblich sind Dämmstoffe mit Wärmeleitfähigkeiten von $\lambda = 0,035 \dots 0,040 \text{ W/(mK)}$.

Die Größen U , $\Delta\theta$ sowie die Betriebszeit t können zu einem längenbezogenen Leitungswärmeverlust q' [kWh/(m·a)] zusammengefasst werden.

Die Wärmeverluste der Verteilung können, sofern sie innerhalb des beheizten Bereichs auftreten, der inneren Fremdwärme Q_i zugerechnet werden. Der tatsächliche für die Raumheizung nutzbare Anteil kann über den Nutzungsgrad der freien Wärme η_F ermittelt werden. Üblicherweise werden mindestens die Abwärmemengen der Trinkwarmwasserleitungen im beheizten Bereich als Gewinn (bzw. Gutschrift) verbucht.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Bei einer Netzberechnung im Wohnungsbau ergeben sich üblicherweise Summationen über 3 Rohrabschnitte: die (waagerechte) Verteilebene, die (senkrechten) Steigstränge sowie die Anbinde- oder Stichleitungen an die Heizflächen bzw. Trinkwarmwasserzapfstellen.

Die Wärmeverlustmengen von ständig durchströmten Rohren und von nur periodisch durchflossenen Leitungsteilen werden somit getrennt berechnet. Als ständig durchströmte Leitungen können alle Heizrohre (mit Ausnahme der Anbindeleitungen) und die ständig auf Temperatur gehaltenen Zirkulations- und Förderleitungen des Warmwassernetzes angesehen werden. Periodisch durchflossen sind Anbindeleitungen der Heizung und Stichleitungen der Warmwasserbereitung, die nur bei Zapfung bzw. Wärmeanforderung der Heizflächen erwärmt werden.

Typische Werte für den längenbezogenen Wärmeverlust q' zeigen Bild 2.9.8.5-2 und Bild 2.9.8.5-3.

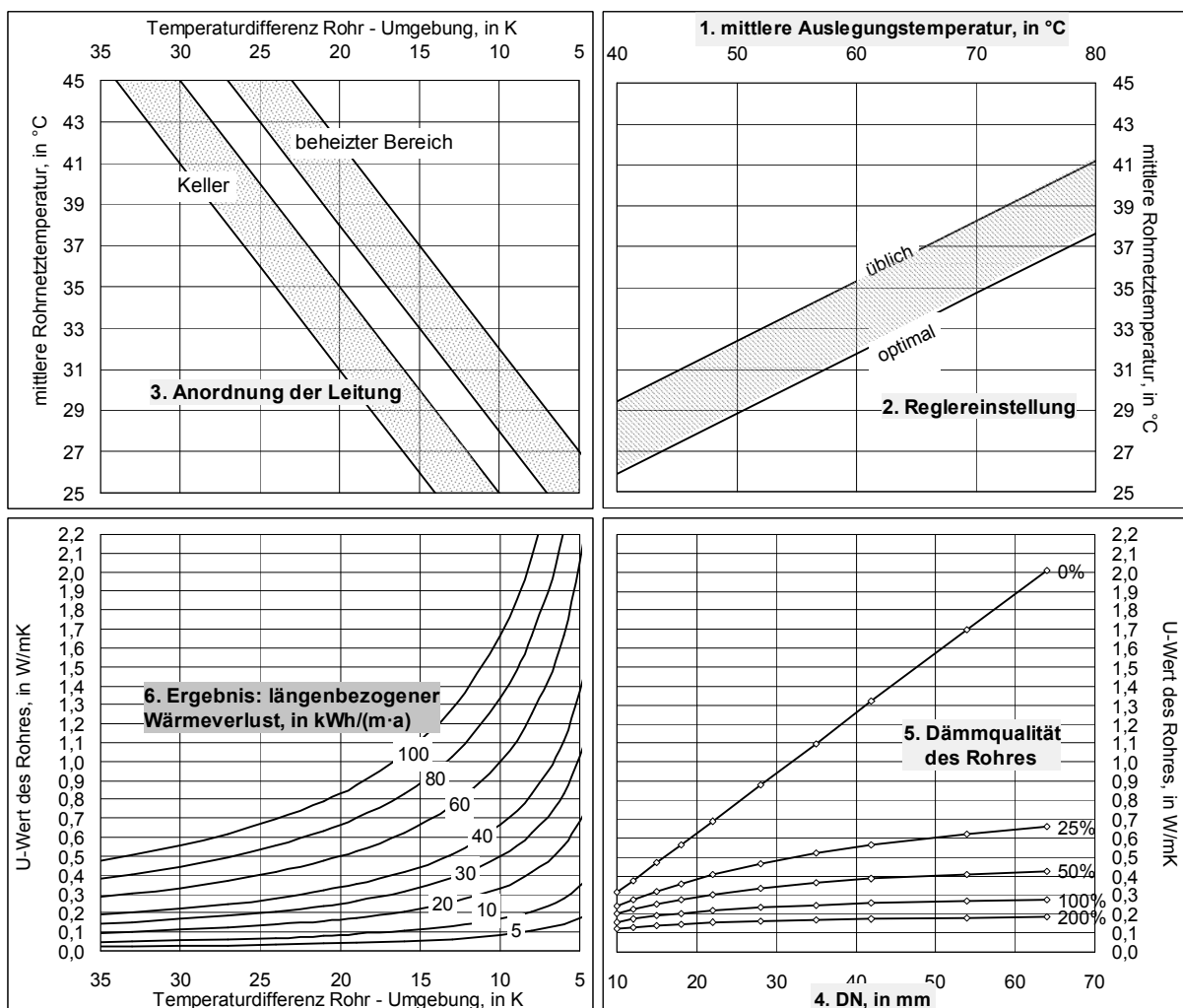


Bild 2.9.8.5-2 Längenbezogener Wärmeverlust q'_H von Heizungsleitungen

Die mittlere Temperatur eines Rohrabschnittes ϑ_i ergibt sich unter der Annahme einer vorhandenen witterungsgeführten Regelung sowie Nachtabsenkung. Für ein auf 55/45 °C ausgelegtes Heizsystem liegt die mittlere Auslegungstemperatur bei 50°C, die mittlere Heizwassertemperatur in der Heizperiode bei etwa $\vartheta_i \approx 31^\circ\text{C}$.

Die Kennwerte in Bild 2.9.8.5-2 gelten für Systeme mit Nachtabsenkung, d.h. als Betriebszeit wird die Länge einer typischen Heizperiode t_{HP} unterstellt, wobei die Systemtemperatur für ca. 6 ... 8 h/d etwas herabgesetzt ist.

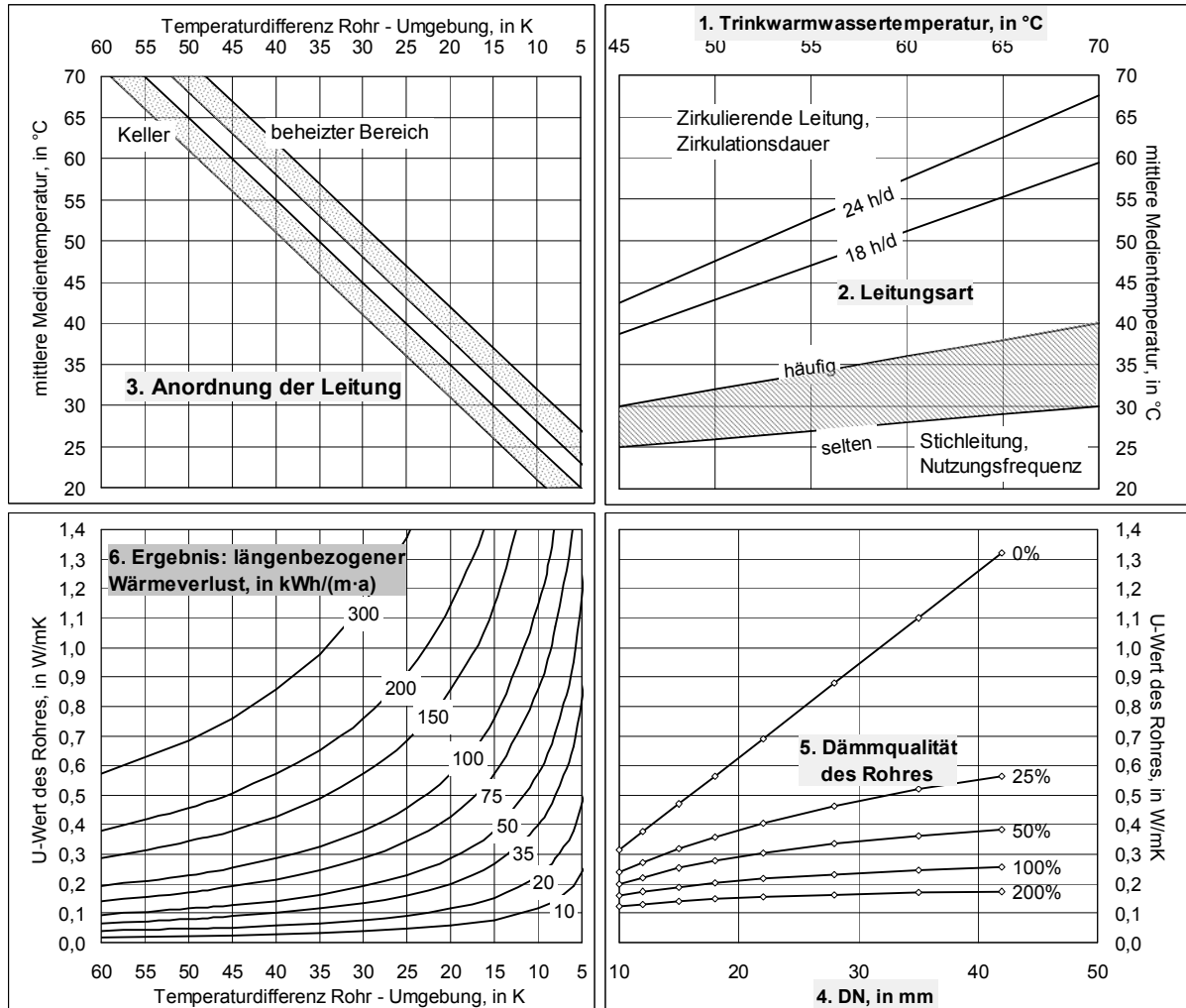


Bild 2.9.8.5-3 Längenbezogener Wärmeverlust q'_w von Trinkwarmwasserleitungen

Die mittlere Temperatur eines ständig auf Temperatur gehaltenen Rohrabschnittes der Warmwasserverteilung kann mit $\vartheta_i \approx 60^\circ\text{C}$ angenommen werden. Für nicht ständig auf Temperatur gehaltene Rohrleitungen hängt sie stark von der Zapfhäufigkeit ab. Bild 2.9.8.5-3 geht von einer ganzjährigen Trinkwarmwasserbereitstellung aus.

Ein wohnflächenbezogener Verteilverlust q_d [kWh/(m²a)] ergibt sich aus der Summation von längenbezogenen Verlustkennwerten q' und Verlegedichten L/A_{Wohn} [m/m²].

$$q_d = \frac{Q_d}{A_{\text{Wohn}}} = \sum \frac{L}{A_{\text{Wohn}}} \cdot q'$$

Tafel 2.9.8.5-1 zeigt typische Verlegedichten und daraus resultierende Verteilverluste für das Trinkwarmwassernetz. Sofern das Netz weitgehend im beheizten Bereich verlegt ist, sind die Wärmeabgaben in der Heizperiode gleichzeitig ein Teil der inneren Fremdwärme, siehe Abschnitt 2.9.8.3.5.

Tafel 2.9.8.5-1 Typische Leitungsverlegedichten und Verteilverluste für die Trinkwarmwasserverteilung $q_{d,w}$ für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Gebäude	MFH/EFH		EFH		alle
	zentral mit Zirkulation		zentral ohne Zirkulation		dezentral
Netzart	zentral mit Zirkulation		zentral ohne Zirkulation		dezentral
L/A_{Wohn} [m/m ²]	0,25 ... 0,40	0,25 ... 0,40	0,15 ... 0,30	0,15 ... 0,30	< 0,08
Ausführungsstandard	75 ... 100 % EnEV	150 ... 200 % EnEV	75 ... 100 % EnEV	150 ... 200 % EnEV	alle
q'_w [kWh/(m·a)]	80 ... 100	50 ... 70	30 ... 40	20 ... 30	20 ... 40
$q_{d,w}$ [kWh/(m ² a)]	20 ... 35	12 ... 25	7 ... 14	5 ... 10	< 3

Tafel 2.9.8.5-2 zeigt für Zentralheizungen die Verteilverluste der Leitungsteile im unbeheizten Bereich. Die Werte gelten für typische Verlegedichten von Zentralheizungssystemen im Bereich 0,5 ... 0,8 m/m², wobei etwa 20 ... 40 % dieser Rohrleitungen im unbeheizten Bereich verlegt sind. Für diese Leitungsabschnitte gelten die tabellierte Werte.

Tafel 2.9.8.5-2 Typische Verteilverluste für die Heizungsverteilung $q_{d,H}$ im unbeheizten Bereich für Wohnbauten und Gebäuden mit wohnähnlichen Nutzungen

Baustandard	Gebäude vor WSchV77	WSchV77-84	WSchV95, EnEV02- 14	Niedrigenergie- und Passivhaus
Ausführungsstandard	50 % EnEV	75 % EnEV	EnEV	150 ... 200 % EnEV
q'_H [kWh/(m·a)]	70 ... 90	60 ... 80	40 ... 50	15 ... 25
$q_{d,H}$ [kWh/(m ² a)]	10 ... 25	5 ... 20	5 ... 10	2 ... 6

Darüber hinaus kann auch die Wärmeabgabe der Leitungsteile im beheizten Bereich bestimmt werden. Insbesondere in älteren Gebäuden sind dort ungedämmte Leitungen installiert, so dass sich längenbezogene Wärmeverluste im Bereich 120 ... 160 kWh/(m·a) ergeben. Dies führt bei der üblichen Verlegedichte zu Wärmeabgaben über das Rohrnetz von 60 ... 80 kWh/(m²a). Große Teile des Heizwärmebedarfs können somit aus der Rohrleitungswärme gedeckt werden. Allerdings ist dieser Wärmeeintrag unreguliert. In Räumen mit durchgehenden Steigsträngen und Etagenringleitungen kann es zu lokaler Überwärmung kommen. Dieses Problem verstärkt sich bei Sanierungen mit geringem Heizwärmebedarf. Es kann durch nachträgliche Leitungsdämmung gemildert werden.

Bei Gebäuden im Neubau werden zur Verminderung der Wärmeverluste große Teile des Netzes im beheizten Bereich verlegt. Zur Vermeidung von (lokaler) Überwärmung und Verbesserung der Regelung sind allerdings auch die Leitungen im beheizten Bereich zu dämmen, obwohl dies die einschlägige EnEV bis heute nicht in allen Fällen fordert!

2.9.8.5.3 Wärmespeicherung

Für die Höhe der zu erwartenden Wärmeverluste des Speichers Q_s [kWh/a] sind die Betriebszeit des Speichers t [h/a] und seine Verlustleistung bestimmend. Die Verlustleistung hängt von der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Speicherinnerem ϑ_i und der ihn umgebenden Luft ϑ_e sowie der Speicheroberfläche A_s und dem Wärmedurchgangskoeffizienten U_s ab.

$$Q_s = U_s \cdot A_s \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t$$

Die Transmissionswärmeverluste von Speichern werden in den üblichen Bedarfsbilanzen aus Prüfstandswerten abgeleitet, da wärmeübertragende Hüllflächen aufgrund der komplizierteren Speicher-geometrie schwer bestimmbar sind. Es gilt die Annahme, dass die wärmeübertragende Fläche und deren Wärmedurchgangskoeffizient konstant sind. Damit lässt sich ein Prüfstandsverlust $Q_{\text{Prüf}}$ in einen Realwert Q_s umrechnen. Es müssen die Prüfstandstemperaturdifferenz sowie die realen Betriebs- und Aufstellraumtemperaturen bekannt sein.

$$(U \cdot A)_s = \frac{Q_s}{t \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e)} = \frac{Q_{\text{Prüf}}}{t \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e)_{\text{Prüf}}}$$

Typische zusammengefasste Werte für $(U \cdot A)_s$, d.h. die spezifische Transmissionsleistung sind Bild 2.9.8.5-4 zu entnehmen. In der Praxis gibt es noch besser gedämmte Speicher, bei denen auf Herstellerwerte verwiesen wird.

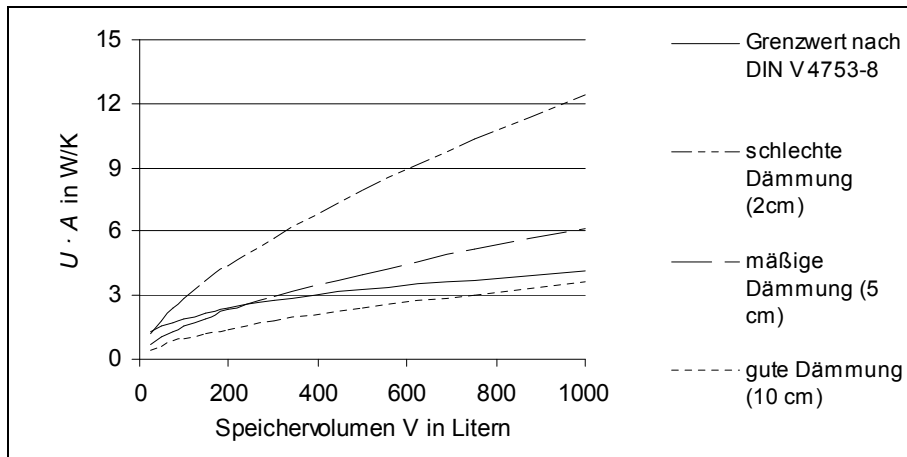


Bild 2.9.8.5-4 Typische spezifische Transmissionsleistung ($U \cdot A$)_s für Speicher

Die mittlere Innentemperatur des Speichers über ein Jahr kann für einen Trinkwasserspeicher mit etwa 50 ... 60 °C angenommen werden. Bei Heizwasser-Pufferspeichern richtet sie sich nach der mittleren Heizkreistemperatur des angeschlossenen Heizsystems bzw. Erzeugers. Temperaturdifferenzen sowie Betriebszeiten lassen sich aus den Annahmen für die angeschlossenen Rohrnetze bzw. Erzeuger ableiten.

Viele Speicher-(Flansch-)anschlüsse erhöhen in der Praxis die obigen Werte z. T. um den Faktor 2. Je Anschluss kann mit ca. 20 ... 40 W Verlustleistung oder sogar noch höher (80 W) gerechnet werden. Daraus leitet sich die empirische Aussage ab: reale Werte ergeben etwa doppelt so hohe Werte im Vergleich zu Prüfstandwerten nach Norm.

Auch die Wärmeverluste der Speicherung können, sofern sie im beheizten Bereich des Gebäudes auftreten, der inneren Fremdwärme Q_I zugerechnet werden.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Bild 2.9.8.5-5 zeigt typische installierte Speichervolumina im Wohnungsbau. Installierte Pufferspeichervolumina hängen vom Verhältnis der Wärmeerzeugerleistung zum Maximalleistungsbedarf des Gebäudes ab. Die dargestellten Werte stellen daher eine grobe Annäherung am unteren Rand der praktisch vorkommenden Ausführungen dar. In Solarthermieanlagen kann von 50 ... 70 l/m²_{Koll} als Speichervolumen je installierter Kollektorfläche ausgegangen werden.

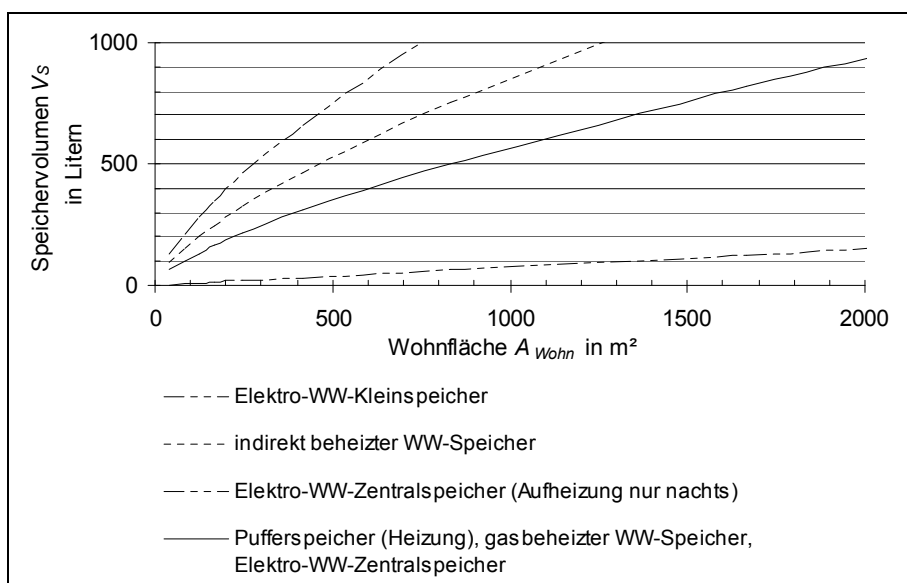


Bild 2.9.8.5-5 Speichervolumen V_S für verschiedene Speicherarten

Mit den oben getroffenen Annahmen liegt der auf die Wohnfläche bezogene Wärmeverlust der Speicherung für Trinkwarmwasserspeicher bei etwa $q_{s,W} = 2 \dots 4 \dots (8) \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Für Heizungspufferspeicher sind Werte von $q_{s,H} = 1 \dots 3 \dots (6) \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ 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.

2.9.8.5.4 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung kann anhand verschiedener Ansätze bewertet werden: mit absoluten Wärmeverlusten der Wärmeerzeugung Q_g [kWh/a] (mit einem nutzungsabhängigen und einen nutzungsunabhängigen Anteil), als dimensionslose Nutzungsgrade η_a oder Aufwandzahlen e_g . Der Jahresnutzungsgrad η_a stellt das Verhältnis der von einem Wärmeerzeuger abgegebenen Energie zur eingesetzten Energie dar. Die Erzeugungsaufwandzahl e_g ist sein Kehrwert.

Die drei Größen lassen sich ineinander umrechnen, soweit die Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg} und/oder die Endenergie Q bekannt sind. Die nachfolgende Gleichung kann auch für Heizung und Trinkwassererwärmung getrennt aufgestellt werden.

$$Q = \frac{1}{\eta_a} \cdot Q_{outg} = e_g \cdot Q_{outg} = Q_{outg} + Q_g$$

Die Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg} ergibt sich aus einer Summation der Nutzwärmemengen Q_h bzw. Q_w , der Verteilverluste Q_d und Speicherverluste Q_s . Die Wärmeübergabeverluste Q_{ce} treten optional in der Bilanzierung auf, siehe Abschnitt 2.9.8.5.1.

- kombinierte Versorgung: $Q_{outg} = Q_h + Q_w + Q_d + Q_s$
- Heizung: $Q_{outg,H} = Q_h + (Q_{ce,H}) + Q_{d,H} + Q_{s,H}$
- Trinkwassererwärmung: $Q_{outg,W} = Q_w + Q_{d,W} + Q_{s,W}$

Bei der Angabe der Kenngrößen Q , Q_g , e_g und η_a muss eindeutig festgelegt sein, ob heiz- oder brennwertbezogene Werte ausgewiesen werden, siehe Abschnitt 2.8.5.

Im folgenden werden Anhaltswerte¹⁶ für Jahresnutzungsgrade η_a bzw. Erzeugungsaufwandzahlen e_g der Wärmeerzeuger aufgezeigt, die sowohl für die Warmwasserbereitung als auch für die Heizung eingesetzt werden können (Kessel, Wärmepumpen etc.). Es wird nachfolgend bei brennstoffbetriebenen Erzeugern von Brennwertbezug ausgegangen.

Kessel

Eine große Gruppe der Wärmeerzeuger bilden die Kessel (Konstanttemperatur-, Niedertemperatur- und Brennwertkessel). Die Verluste von Heizkesseln können untergliedert werden:

- nach Zeitphasen: Verluste in Betrieb und Betriebsbereitschaft,
- nach Verlustart: Verluste über das Abgassystem bzw. bei der Brennstoffumwandlung und über die Geräteoberfläche.

Während der Betriebsphase überwiegt der Abgasverlust, während der Betriebsbereitschaftsphase der Oberflächenverlust.

Hersteller drücken die Effizienzmerkmale von Kesseln mit Hilfe von Kesselwirkungsgraden η_K (Beschreibung der Betriebsphase) und spezifischen Bereitschaftsverlusten q_B (bezogen auf die Feuerungsleistung des Kessels) für die Stillstandzeiten aus. Der Jahresnutzungsgrad η_a bzw. die Erzeugungsaufwandzahl e_g sind für alle Kessel eine Funktion der mittleren jährlichen Kesselbelastung β .

¹⁶

Relevante Verfahren und Quellenangaben für die Herkunft der Kennwerte siehe Abschnitt 2.9.4.4.

$$\eta_a = \frac{\eta_K}{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1} = \frac{Q_{\text{outg}}}{Q} \quad \text{mit } \beta = \frac{Q_{\text{outg}}}{\dot{Q}_{K,N} \cdot t} = \frac{\dot{Q}_{\text{outg}}}{\dot{Q}_{K,N}} = \frac{t_{VK}}{t}$$

Der Jahresnutzungsgrad η_a ist das Verhältnis der vom Kessel produzierten Nutzwärmemenge Q_{outg} zur eingesetzten Brennstoffmenge Q . Die Aufwandszahl e_g ist der Kehrwert.

Der Jahresnutzungsgrad eines Kessels steigt mit höherem Kesselwirkungsgrad η_K (geringe Abgasverluste und Abstrahlung während des Betriebs), mit geringeren Betriebsbereitschaftsverlusten q_B (Wärmeverluste des Kessels an die Umgebung in Stillstandszeiten) und höherer Kesselbelastung β .

Die Kesselbelastung β ist das Verhältnis der mittleren abgegebenen Leistung \dot{Q}_{outg} [kW] zur Kessel-nennwärmeleistung $\dot{Q}_{K,N}$ [kW]. Sie kann auch durch das Verhältnis der Vollbenutzungsstunden des Kessels t_{VK} [h/a] bezogen auf die Kessel-nennleistung zur gesamten Betriebszeit t [h/a] ausgedrückt werden.

Die einzusetzenden Produktkennwerte (η_K , q_B) sind im Allgemeinen repräsentative Mittelwerte für das festgelegte Zeitintervall t . Es gibt auch Bilanzansätze, die eine Gewichtung der verschiedenen Prüfstandswirkungsgrade (100 %/Vollast, 30 %/Teillast) vorsehen bzw. berücksichtigen, dass der Wirkungsgrad temperaturabhängig und somit variabel ist. Darüber hinaus kann der Betriebsbereitschaftsverlust an die reale Temperaturdifferenz zwischen Kessel und Aufstellraum angepasst werden (mit einem Verfahren, das dem für Speicher ähnelt, siehe Abschnitt 2.9.8.5.3). Die Gleichung wird ggf. um Korrekturfaktoren für verschiedene Brennstoffe erweitert (Berücksichtigung von Effizienzverlusten durch Verschmutzung).

Die Standardwerte der Jahresnutzungsgrade bzw. Erzeugungsaufwandzahlen in Tafel 2.9.8.5-3 und Tafel 2.9.8.5-4 gelten für mittlere Betriebsbedingungen. In der Praxis können sowohl bessere als auch schlechtere Werte beobachtet werden. Die beiden Kesselmerkmale η_K und q_B lassen sich auch messtechnisch im Feld mit einfachen Mitteln bestimmen, siehe Abschnitt 2.9.7.3.

Tafel 2.9.8.5-3 Typische Jahresnutzungsgrade η_a (und Erzeugeraufwandzahlen e_g) für Gas- und Ölkessel bezogen auf den Brennwert H_s

Kesselbauart	Leistung \dot{Q}_K [kW]	Gasbefeuerter Kessel		Ölbefeuerter Kessel	
		80/60°C 75/55°C, Trinkwassererwärmung	60/40°C, 55/45°C, Fußbodenheizung	80/60°C 75/55°C, Trinkwassererwärmung	60/40°C, 55/45°C, Fußbodenheizung
NT-Kessel mit Brenner ohne Gebläse	bis 120	0,78 ... 0,86 (1,28 ... 1,16)	0,81 ... 0,90 (1,23 ... 1,11)	-	-
	>120...1200	0,79 ... 0,87 (1,27 ... 1,15)	0,83 ... 0,91 (1,21 ... 1,10)	-	-
NT-Kessel mit Gebläse	bis 1200	0,79 ... 0,87 (1,27 ... 1,15)	0,83 ... 0,91 (1,21 ... 1,10)	0,81 ... 0,89 (1,23 ... 1,12)	0,85 ... 0,93 (1,18 ... 1,08)
Brennwertkessel	bis 50	0,83 ... 0,91 (1,21 ... 1,10)	0,87 ... 0,95 (1,15 ... 1,05)	0,81 ... 0,90 (1,23 ... 1,11)	0,86 ... 0,94 (1,16 ... 1,06)
	> 50...120	0,84 ... 0,92 (1,19 ... 1,09)	0,88 ... 0,96 (1,14 ... 1,04)	0,83 ... 0,91 (1,21 ... 1,10)	0,87 ... 0,95 (1,15 ... 1,05)
	>120...1200	0,85 ... 0,93 (1,18 ... 1,08)	0,89 ... 0,97 (1,12 ... 1,03)	0,84 ... 0,92 (1,19 ... 1,09)	0,88 ... 0,96 (1,14 ... 1,04)

Tafel 2.9.8.5-4 Typische Jahresnutzungsgrade η_a (und Erzeugeraufwandzahlen e_g) für Festbrennstoffkessel bezogen auf den Brennwert H_s

Kesselbauart	Leistung Q_k [kW]	Kohle	Stückholz	Hackschnitzel, Pellets
automatischer Spezialkessel mit Gebläse	bis 50	0,71 ... 0,79 (1,41 ... 1,27)	0,63 ... 0,71 (1,59 ... 1,41)	0,73 ... 0,81 (1,37 ... 1,23)
	>50...120	0,73 ... 0,81 (1,37 ... 1,23)	0,65 ... 0,73 (1,54 ... 1,37)	0,76 ... 0,84 (1,32 ... 1,19)
	>120...1200	0,76 ... 0,84 (1,32 ... 1,19)	-	-
händisch beschickter Kessel	bis 50	-	0,66 ... 0,74 (1,52 ... 1,35)	-

Wärmepumpen

Werden Wärmepumpen zur Wärmeherzeugung eingesetzt, so können diese als alleinige Erzeuger installiert sein (monovalenter Betrieb) oder durch einen oder weitere Wärmeherzeuger ergänzt sein (bivalenter Betrieb). Dem Jahresnutzungsgrad η_a vergleichbar ist bei einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe die Arbeitszahl β (nicht zu verwechseln mit der Kesselbelastung), bei einer brennstoffbetriebenen Wärmepumpe die Jahresheizzahl ζ . Alternativ kommen deren Kehrwerte zum Einsatz, Aufwandsszahlen e_g .

Einen Überblick über typische Jahresheizzahlen bzw. Jahresarbeitszahlen und Erzeugungsaufwandzahlen bietet Tafel 2.9.8.5-5. In der Praxis können sowohl bessere als auch schlechtere Werte beobachtet werden. Höhere Jahresarbeitszahlen sind bei exakter Dimensionierung der Wärmepumpe nach Bedarf des Gebäudes und bei regelmäßiger Wartung zu erwarten.

Tafel 2.9.8.5-5 Typische Jahresarbeitszahlen β bzw. Jahresheizzahlen ζ (und Erzeugungsaufwandzahlen e_g) für Wärmepumpen

Bauart	Wärmequelle Erdreich			Wärmequelle Außenluft		
	Trinkwassererwärmung	55/45°C, 50/30°C	Fußbodenheizung	Trinkwassererwärmung	55/45°C, 50/30°C	Fußbodenheizung
typischer Anwendung/Auslegung						
elektrisch β (e_g)	2,7 ... 3,1 (0,37 ... 0,32)	3,1 ... 3,8 (0,32 ... 0,26)	3,8 ... 4,2 (0,26 ... 0,24)	2,3 ... 2,7 (0,43 ... 0,37)	2,7 ... 3,1 (0,37 ... 0,32)	3,1 ... 3,6 (0,32 ... 0,28)
brennstoffbetrieben ζ (e_g)	1,4 ... 1,5 (0,71 ... 0,67)	1,5 ... 1,6 (0,67 ... 0,63)	1,6 ... 1,7 (0,63 ... 0,59)	1,3 ... 1,4 (0,77 ... 0,71)	1,4 ... 1,5 (0,71 ... 0,67)	1,5 ... 1,6 (0,67 ... 0,63)

Die Arbeitszahl β innerhalb einer Zeitperiode t ergibt sich als integraler Mittelwert aller Leistungsziffern (ϵ oder COP, coefficient of performance) in dem bilanzierten Zeitraum. Dabei ergibt sich jede Leistungsziffer abhängig von der Verdampfungstemperatur T_0 sowie der Kondensationstemperatur T_C des Kältemittels. Zusätzlich muss ein exergetischer Gütegrad η_{ex} berücksichtigt werden, der die Abweichung der realen Effizienz von der theoretischen Effizienz der Maschine ausdrückt.

$$\beta = \frac{1}{t} \cdot \int \text{COP} dt = \frac{Q_{\text{outg}}}{Q} \quad \text{mit} \quad \text{COP} = \eta_{\text{ex}} \cdot \frac{T_C}{T_C - T_0}$$

In den eingeführten Bilanzverfahren wird regulär das Integral nicht rechnerisch gelöst. Es werden stattdessen repräsentative COP-Werte zeitanteilig gewichtet oder nur ein mittlerer COP-Wert verwendet. Die Leistungsziffern stammen aus Herstellermessungen oder Typologien (Praxiserfahrungen), so dass die Berechnung mit den Kelvintemperaturen regulär entfällt.

Die Umrechnung der Herstellermesswerte ($\text{COP}_{\text{prüf}}$) in konkrete Werte für den Einzelfall (COP) erfolgt üblicherweise mit Korrekturfaktoren, die aus nachfolgenden Formelansatz abzuleiten sind:

$$\frac{\text{COP}}{\text{COP}_{\text{prüf}}} = \frac{\eta_{\text{ex}} \cdot \frac{T_C}{T_C - T_0}}{\left(\eta_{\text{ex}} \cdot \frac{T_C}{T_C - T_0} \right)_{\text{prüf}}}$$

Sofern man einen konstanten exergetischen Gütegrad η_{ex} bei der Umrechnung unterstellt, sind nur noch die Prüfstandstemperaturen und die realen Betriebstemperaturen im Kältemittelkreislauf von Belang. Es ist anzumerken, dass die Temperatur der Wärmequelle oberhalb der Verdampfungstemperatur liegt (ca. 4 ... 8 K) und die Temperatur des Abnehmers unterhalb der Kondensationstemperatur liegt (ca. 1 ... 3 K). Beide Werte sind konstruktionsbedingt von Hersteller zu Hersteller verschieden, jedoch insgesamt bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Wärmepumpen und Kältemaschinen mit Wärmeantrieb, z.B. direkt mit Gas befeuerte Absorptionsmaschinen, werden in den üblichen Bedarfsbilanzen analog den Kompressionsmaschinen behandelt.

Übergabestation

Werden Fern- oder Nahwärmeübergabestationen als Wärmeerzeuger eingesetzt, so entsprechen die Verluste der Wärmeerzeugung eigentlich Wärmeverlusten der Verteilung bzw. einem Betriebsbereitschaftsverlust beim Kessel. Typische Jahresnutzungsgrade bzw. Erzeugungsaufwandzahlen können Tafel 2.9.8.5-6 entnommen werden.

Tafel 2.9.8.5-6 Jahresnutzungsgrade η_a (und Erzeugungsaufwandzahlen e_g) für Wärmeübergabestationen

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

BHKW

In einem Blockheizkraftwerk (BHKW) wird unter Einsatz einer Energiemenge Q [kWh/a] gleichzeitig Wärme $Q_{outg,th}$ [kWh/a] und Strom $Q_{outg,el}$ [kWh/a] produziert. Die Bewertung der Gesamteffizienz einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erfolgt analog zu Kesseln wie folgt:

$$\eta_a = \frac{Q_{outg}}{Q} = \frac{Q_{outg,th} + Q_{outg,el}}{Q} \approx \frac{\dot{Q}_{th} + P_{el}}{\dot{Q}_F}$$

Der Nutzungsgrad η_a ist das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand, die Aufwandszahl e_g sein Kehrwert. Bei der energetischen Bewertung von KWK-Anlagen werden häufig – abweichend von der sonst üblichen Vorgehensweise – Wirkungs- und Nutzungsgrade gleich gesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Phasen der Betriebsbereitschaft nicht vorhanden oder sehr klein sind, so dass Leistungsverhältnisse den Energiemengenverhältnissen entsprechen.

Zur Charakterisierung der Anteile der beiden Nutzleistungen (\dot{Q}_{th} und P_{el}) und bei der Energiebilanzierung der beiden Energiemengen ($Q_{outg,th}$ und $Q_{outg,el}$) wird die Stromkennzahl σ verwendet:

$$\sigma = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_{th}} \approx \frac{Q_{outg,el}}{Q_{outg,th}}$$

Für die KWK können zwei separate Wirkungsgrade (entsprechend näherungsweise Nutzungsgrade) angegeben werden, die nur die thermische oder die elektrische Effizienz charakterisieren:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{th}}{\dot{Q}_F} \quad \text{und} \quad \eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_F} \quad \text{mit} \quad \eta = \eta_{th} + \eta_{el}$$

Es gibt geschlossene (Stirlingmotor) oder offene (Otto-, Dieselmotor) Kreisprozesse, die im Rahmen der eingeführten Bedarfsbilanzen nach dem gleichem Grundprinzip bewertet werden. Typische Effizienzmerkmale für BHKW können aus Tafel 2.9.8.5-7 abgeschätzt werden.

Tafel 2.9.8.5-7 Jahresnutzungsgrade η_a (und Erzeugungsaufwandzahlen e_g) sowie Stromkennzahlen σ für BHKW bezogen auf den Brennwert H_s

Kreisprozess/ Brennstoff	P_{el} [kW]	η_a (e_g)	σ
Erdgas, Propan, Butan	bis 15	0,80 (1,25)	0,35
	> 15 ... 35	0,80 (1,25)	0,40
	> 35...100	0,81 (1,24)	0,50
	> 100 ... 500	0,82 (1,22)	0,60
	> 500	0,83 (1,20)	0,65
Heizöl	bis 15	0,86 (1,16)	0,40
	> 15 ... 35	0,84 (1,19)	0,45
	> 35...100	0,82 (1,22)	0,70
	> 100 ... 500	0,81 (1,23)	0,80
	> 500	0,80 (1,25)	0,90
Stirling	bis 15	0,80 (1,25)	0,10

Dezentrale Erzeuger

Typische Effizienzangaben für dezentrale Geräte der Heizung und Trinkwassererwärmung zeigt Tafel 2.9.8.5-8.

Tafel 2.9.8.5-8 Jahresnutzungsgrade η_a (und Erzeugungsaufwandzahlen e_g) für dezentrale Geräte zur Heizung und Warmwasserbereitung bezogen auf den Brennwert H_s

Anwendungsgebiet	Bauart	η_a (e_g)
Trinkwarmwasserbereitung	Kochendwassergerät (elektrisch)	0,96 ... 0,98 (1,04 ... 1,02)
	Elektrischer Durchlauferhitzer	0,99 ... 1,00 (1,01 ... 1,00)
	Gasdurchlauferhitzer mit elektronischer Zündung	0,75 ... 0,80 (1,19 ... 1,25)
Einzelofen für die Heizung	ölbefeuertes Einzelofen mit Verdampfungsbrenner	0,80 ... 0,85 (1,25 ... 1,18)
	Kachelofen	0,70 (1,43)
	kohlebefeuerte eiserne Öfen	0,67 (1,49)
	Außenwandgasöfen	0,75 ... 0,80 (1,19 ... 1,25)
Elektro-Widerstandsheizungen	Nachtspeicherofen bis 50kW	0,95 (1,05)
	Nachtspeicherofen >50kW	0,97 (1,03)
	Direktheizgeräte	0,98 ... 1,00 (1,02 ... 1,00)

Versorgung mit mehr als einem Erzeuger

Wird ein Gebäude von mehreren Wärmeerzeugern versorgt (multivalente Anlage), zum Beispiel mit einer Zweikesselanlage gleicher Leistung oder einer Kombination aus Grundlast- und Spitzenlastwärmeerzeuger, so ist für jeden Wärmeerzeuger der Anteil am zu deckenden Energiebedarf zu bestimmen (Deckungsanteil α) und die Berechnung der Wärmeerzeugungsverluste Q_g für jeden Anteil getrennt vorzunehmen¹⁷.

Deckungsanteile ergeben sich in vielen Fällen (Wärmepumpe plus elektrischer Heizstab, BHKW plus Spitzenlastkessel, Mehrkesselanlagen) aus der Auswertung von Jahresdauerlinien.

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Mit den genannten Nutzungsgraden, Arbeits- oder Aufwandszahlen können im Wohnbau absolute Erzeugerverluste Q_g [kWh/a] bzw. flächenbezogene Kennwerte q_g [kWh/(m²a)] bestimmt werden.

$$q_g = \frac{Q_g}{A_{\text{Wohn}}}$$

¹⁷ Nähere Ausführungen zu anderen Betriebsweisen sowie Deckungsanteilen siehe Quellenangaben in Abschnitt 2.9.4.4.

2.9.8.5.5 Regenerative Energien

Als regenerative Energien zählen bei der Energiebedarfsrechnung der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung die Umweltwärmenutzung mit Wärmepumpen, Solarthermie und ggf. Photovoltaik. Auch die Rückgewinnung von Wärme (in Wohnungslüftungsanlagen) wird häufig in diesem Zusammenhang bilanziert, wenn auch die Energie ggf. ursprünglich fossil erzeugt wurde.

Solarthermie

Die eingeführten Verfahren zur Berechnung der Solarthermienutzung weisen eine große Bandbreite in der Detaillierung auf: von stündlicher Simulation bis zu gröberen Schätzverfahren des Jahresertrags. Die Schwierigkeit liegt nicht in der Prognose des solaren Angebotes, sondern in der Berechnung des davon nutzbaren Anteils. Es fließen die Kollektorbauart, die Art der Anlage und hydraulische Verschaltung, die Speichergröße sowie Netzverluste, der Nutzwärmebedarf und dessen Temperaturniveau u. v. m. ein. Die Vielzahl von Einflussgrößen erschwert die genaue Bedarfsprognose.

Zur Ergebnisdarstellung werden kollektorflächenbezogene Erträge gewählt, aber auch solare Deckungsanteile α an der insgesamt zu produzierenden Wärmemenge Q_{outg} .

Im Wohnungsbau kann üblicher Dimensionierung und optimaler Einbindung der Solarthermieanlage in das Gesamtsystem von folgenden Werten ausgegangen werden:

- Trinkwarmwasserbereitung im EFH: $\alpha_{\text{Solar}} \approx 0,40 \dots 0,60$
- Trinkwarmwasserbereitung im MFH: $\alpha_{\text{Solar}} \approx 0,20 \dots 0,40$
- Heizung im EFH: $\alpha_{\text{Solar}} \approx 0,10 \dots 0,15$
- kollektorflächenbezogener Ertrag (nutzbar): $q_{\text{Koll}} \approx 300 \dots 400 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Je größer Anlagen dimensioniert werden, desto höher steigen die Deckungsanteile, aber desto geringer fallen die kollektorflächenbezogenen (nutzbaren) Erträge aus. Soll die regenerative Energiemenge Q_{reg} [kWh/a] einzeln ausgewiesen werden, gilt:

$$Q_{\text{reg}} = \alpha_{\text{Solar}} \cdot Q_{\text{outg}}$$

Umweltwärme

Die regenerativen Erträge von Wärmepumpen sind in der Arbeits- bzw. Aufwandszahl bereits enthalten, siehe Abschnitt 2.9.8.5.4. Soll die regenerative Energiemenge Q_{reg} [kWh/a] einzeln ausgewiesen werden, gilt:

$$Q_{\text{reg}} = (\beta - 1) \cdot Q_{\text{outg}} \text{ bzw. } Q_{\text{reg}} = (\zeta - 1) \cdot Q_{\text{outg}}$$

Wärmerückgewinnung

In den eingeführten Bedarfsberechnungsverfahren wird eine Wärmerückgewinnung insbesondere für die mechanische Lüftung bilanziert. Regulär fassen die Bilanzverfahren diesen Vorteil als verminderte Lüftungswärmeverluste auf, siehe Abschnitt 2.9.8.3.3.

2.9.8.5.6 Hilfsenergien

Neben dem Jahreswärmeenergiebedarf ist der Hilfsenergiebedarf Q_{el} [kWh/a] relevant, die unmittelbar mit der Versorgung eines Gebäudes mit Heizenergie und Nutzenergie der Warmwasserbereitung in Verbindung steht:

- im Heizungssystem: Umwälz-, Solarkreis- und Speicherladepumpen, Brenner, Regelung usw.
- für die Trinkwassererwärmung: Zirkulations-, Speicherlade- und Solarkreispumpe, Regelung usw.
- für die mechanische Lüftung: Ventilatoren, Regelung usw.

Die elektrische Energiemenge Q_{el} ergibt sich aus einem Integral der Leistung P [kW] innerhalb eines Zeitraumes t [h/a]. Rechnerisch ist dies mit einem sehr hohen Prognoseaufwand verbunden. In der üblichen Bedarfsbilanzierung wird daher versucht, das Integral in überschaubare Zeitabschnitte (i) zu zerlegen und dann Energiemengen zeitabschnittsweise zu berechnen und anschließend zu summieren.

$$Q_{el} = \int P dt \quad Q_{el} = \sum_i P_{max} \cdot t_{voll,i} = \sum_i P_{mittel,Betrieb,i} \cdot t_{Betrieb,i} = \sum_i P_{mittel,i} \cdot t_i$$

Innerhalb eines Zeitraumes (i) werden alternativ multipliziert:

- die maximale Leistung P_{max} und eine Anzahl von Vollbenutzungsstunden t_{voll} (übliche Vorgehensweise für Geräte, die nicht regelbar sind und taktend betrieben werden, mit Modifikation sinnvoller Ansatz für stufig betriebene Geräte, z.B. Speicherladepumpen),
- die mittlere Betriebsleistung $P_{mittel,Betrieb}$ und eine effektive Betriebszeit $t_{Betrieb}$ (sinnvoll für regelbare Geräte; bei Geräten mit Stillstandsverlusten werden Betriebs- und Stillstandsphasen nach analogem Ansatz berechnet; für Heizungspumpen üblich),
- die mittlere Leistung P_{mittel} innerhalb einer Zeit, incl. Stillstandsphasen und die Gesamtdauer des betrachteten Zeitraums t (seltener verwendeter Bilanzansatz).

Typische Kennwerte im Wohnungsbau

Tafel 2.9.8.5-9 gibt Anhaltswerte für mittlere Leistungen und Laufzeiten für die zu berücksichtigenden Hilfsenergien im Wohnungsbau. Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Größe t_{HP} [d/a] entspricht der Länge der Heizperiode. Die Leistungsangaben p [W/m²] sind auf die Wohnfläche A_{Wohn} [m²] bezogen. Es gilt:

$$P = p \cdot A_{Wohn}$$

Tafel 2.9.8.5-9 Betriebszeiten t und mittlere Leistungsaufnahme p für Elektrohilfsgeräte

	Jährliche Betriebszeiten t [h/a] je nach Länge der bei Nachabschaltung				mittlere wohnflächen- bezogene Leistungs- aufnahme p [W/m ²]	
	0 h/d	4 h/d	6 h/d	12 h/d	Standard	effizient
Heizungsumwälzpumpe	$t_{HP} \cdot 24h/d$	$5/6 \cdot t_{HP} \cdot 24h/d$	$3/4 \cdot t_{HP} \cdot 24h/d$	$1/2 \cdot t_{HP} \cdot 24h/d$	0,4	0,2
Zirkulationspumpe	8760 h/a	$5/6 \cdot 8760 h/a$	$3/4 \cdot 8760 h/a$	$1/2 \cdot 8760 h/a$	0,2	0,1
Regelung Heizung/Warmwasser	8760 h/a				0,1	<0,01
Regelung Heizung ohne Warmwasser	$t_{HP} \cdot 24h/d$				0,1	<0,01
Solarkreisumpen	$t_{HP} \cdot (2 \dots 4 h/d)$				0,4	0,2
Speicherladepumpen Trinkwassererwärmung	$t_{HP} \cdot (0,5 \dots 3 h/d)$				1	0,5
Abluftanlage	$t_{HP} \cdot 24h/d$				0,3	0,1
Zu-/ Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	$t_{HP} \cdot 24h/d$				0,6	0,2

Als überschlägiger Wertebereich für den flächenbezogenen Hilfsenergiebedarf einer Heizungsanlage mit ggf. Warmwasserbereitung und Gebäudelüftung kann $q_{el} = 1 \dots 4 \dots (15)$ kWh/(m²a) angesetzt werden.

2.9.8.6 Brennstoffmenge, Primärenergie und Emissionen

Wird die Angabe des rechnerischen Jahresbrennstoffbedarfes B_a [kg/a, l/a, m³/a] eines Gebäude benötigt, dann ist der Jahresendenergiebedarf Q [kWh/a] durch den Brennwert H_s oder Heizwert H_i [kWh/kg, kWh/l, kWh/m³] des Brennstoffes zu dividieren.

$$B_a = \frac{Q}{H}$$

Ob der Heiz- oder der Brennwert zum Einsatz kommt, hängt davon ab, ob mit brenn- oder heizwertbezogenen Effizienzangaben (Nutzungsgraden bzw. Aufwandszahlen) für die Erzeugung bilanziert wurde. Siehe auch Erläuterungen in Abschnitt 2.8.5.

Die im Rahmen dieses Druckwerkes in Abschnitt 2.9.8.5.4 angegebenen Effizienzmerkmale für brennstoffbetriebene Erzeuger sind brennwertbezogen.

Primärenergie

Der Jahresprimärenergiebedarf Q_p [kWh/a] kann aus dem Jahresendenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung Q [kWh/a] sowie dem Hilfsenergiebedarf Q_{el} [kWh/a] bestimmt werden. Dabei wird jede Jahresenergiemenge mit dem jeweiligen dimensionslosen Primärenergiefaktor f_p multipliziert. Werden zur Wärmeenergieversorgung eines Gebäude Wärmeerzeuger mit verschiedenen Energieträgern betrieben, zum Beispiel eine Elektrowärmepumpe in Kombination mit einem Erdgas-Spitzenlastkessel, so ist die Bestimmung der Jahresenergieanteile $Q_1 \dots Q_n$ jedes Energieträgers notwendig.

$$Q_p = f_p \cdot Q + f_{p,el} \cdot Q_{el}$$

Übliche Werte für Primärenergiefaktoren sind in Abschnitt 2.9.5 zu finden.

Emissionen

Die jährliche äquivalente CO₂-Emission m_{CO_2} [kg/a] wird analog zur Primärenergie aus dem Jahresendenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung Q [kWh/a] sowie dem Hilfsenergiebedarf Q_{el} [kWh/a] bestimmt. Dabei wird jede Jahresenergiemenge mit dem jeweiligen CO₂-Äquivalent x_{CO_2} [kg/kWh] multipliziert.

$$m_{CO_2} = x_{CO_2} \cdot Q + x_{CO_2,el} \cdot Q_{el}$$

Übliche Werte für Emissionsfaktoren sind in Abschnitt 2.9.5 zu finden. Es ist zu beachten, dass entweder heizenergiebezogen oder brennwertbezogen gerechnet wird, d.h. Energiemenge Q und Emissionsfaktor x_{CO_2} mit gleichem Bezug in die Gleichung einzusetzen ist.

2.9.8.7 Typische Bedarfskennwerte im Wohnungsbau

Eine Zusammenfassung der Bedarfsenergiebilanzierung nach Abschnitt 2.9.8 für Wohnbauten bietet Tafel 2.9.8.7-1. Es gilt für das Gesamtergebnis sowie alle tabellierten Zwischenwerte der Bezug auf die Wohnfläche A_{Wohn} [m²], d.h. folgende Umrechnung in absolute Energien Q [kWh/a]:

$$Q = q \cdot A_{Wohn}$$

Die Werte ergeben sich nach folgenden Bilanzgleichungen für den Jahresendenergiebedarf:

$$q = q_W + q_H$$

$$\text{mit: } q_W = q_w + q_{d,W} + q_{s,W} + q_{g,W} \quad (\text{flächenbezogener Jahreswarmwasserenergiebedarf})$$

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

$$q_h = q_T + q_V - \eta_F \cdot (q_S + q_I) \quad (\text{flächenbezogener Jahresheizwärmebedarf})$$

Als interner Wärmegewinn wird auch die Abwärme der Trinkwarmwasserkomponenten verstanden. Als Verteilverlust der Heizung werden nur die nicht nutzbaren Wärmeverluste aufgeführt, d.h. vor allem die Rohrleitungswärmeabgabe an den unbeheizten Bereich. Die Werte gelten für Wohnbauten und andere Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung.

Tafel 2.9.8.7-1 Typische Werte des flächenbezogenen Jahresenergiebedarfs q für Wohnbauten und Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung

Baustandard	Gebäude vor WSchV77		WSchV77-84		WSchV95, EnEV02-07	EnEV09-14	Niedrigenergiehaus	Passivhaus
	keine ... gering	gering ... mittel	keine ... gering	gering ... mittel				
bauliche Modernisierung	keine ... gering	gering ... mittel	keine ... gering	gering ... mittel	keine	keine	keine	keine
Nutzungsintensität	normal	gering	normal	gering	normal	normal	normal	normal
q_T	160 ... 290	100 ... 170	130 ... 230	80 ... 140	70 ... 120	60 ... 100	50 ... 80	30 ... 50
q_V	40 ... 45	20 ... 25	40 ... 45	20 ... 25	35 ... 40	35 ... 40	30 ... 40	15 ... 20 ^d
$\eta_F \cdot q_S$	20	15	20	15	10 ... 15	10 ... 15	10 ... 15	15
$\eta_F \cdot q_I$ (ohne WW)	20 ... 30	10 ... 20	20 ... 30	10 ... 20	15 ... 20	15 ... 20	15 ... 20	15 ... 20
$\eta_F \cdot q_I$ (aus WW)	5 ... 15	5 ... 15	5 ... 15	5 ... 15	3 ... 13	2 ... 12	2 ... 10	1 ... 7
q_H	160 ... 290	70 ... 160	110 ... 230	60 ... 130	55 ... 120	50 ... 110	50 ... 90	15 ... 45
$q_{d,H}$	10 ... 20	9 ... 19	8 ... 16	8 ... 16	5 ... 10	5 ... 10	2 ... 6	1 ... 5
q_{s,H_f}	0	0	0	0	0	1 ... 3	1 ... 3	0 ... 2
q_{g,H_f}	25 ... 55 ^a	15 ... 30 ^a	20 ... 45 ^a	15 ... 30 ^a	6 ... 15 ^b	5 ... 12 ^b	3 ... 7 ^b	0 ... 2 ^c
q_H	190 ... 350	100 ... 200	140 ... 300	80 ... 170	60 ... 150	60 ... 130	60 ... 110	20 ... 50
q_W	13 ... 15	9 ... 11	13 ... 15	9 ... 11	12 ... 14	12 ... 14	12 ... 14	12 ... 14
$q_{d,W}$	10 ... 25	10 ... 25	10 ... 25	10 ... 25	10 ... 20	10 ... 20	7 ... 20	5 ... 15
q_{s,W_f}	1 ... 4	1 ... 4	1 ... 4	1 ... 4	1 ... 4	1 ... 4	1 ... 4	0 ... 4
q_{g,W_f}	5 ... 15 ^a	5 ... 15 ^a	5 ... 15 ^a	5 ... 15 ^a	4 ... 8 ^b	4 ... 7 ^b	2 ... 4 ^b	0 ... 1 ^c
q_{W_f}	30 ... 55	30 ... 50	30 ... 55	30 ... 50	25 ... 50	25 ... 45	25 ... 35	20 ... 30
q (ohne reg. En.)	230 ... 380	160 ... 220	200 ... 310	140 ... 200	100 ... 170	95 ... 160	90 ... 140	45 ... 75
$q_{reg}^{e,t}$	15 ... 20		15 ... 20		15 ... 20	15 ... 20	15 ... 20	15 ... 25
q_f	215 ... 360		185 ... 290		85 ... 150	80 ... 140	75 ... 120	30 ... 50

alle Werte in kWh/(m²a) brennwertbezogen und auf die Wohnfläche bezogen
mittlere Gebäudekompaktheit, Austausch für Fenster sowie TGA-Anlagen in den üblichen Zyklen vorausgesetzt

Anmerkungen:

^a Niedertemperaturkessel

^b Brennwertkessel

^c Brennwertkessel oder elektrische Direkterwärmung

^d Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

^e Solarthermieanlage

^f bei Einsatz einer Wärmepumpe ergibt sich ein Erzeugerverlust nahe null und ein deutlich größerer regenerativer Energiegewinn, so dass sich Endenergiekennwerte in Höhe von 25 ... 35 % der genannten Werte ergeben

Zum Vergleich finden sich typische gemessene Verbrauchskennwerte in Abschnitt 2.8.4.4.

Abgleich von Bedarf und Verbrauch

Einen statistischen Zusammenhang zwischen Energiebedarf (rechnerische Bilanz) und Energieverbrauch (gemessene Werte) zeigt Bild 2.9.8.7-1. Die Bedarfskennwerte wurden nach EnEV unter der Annahme von Normnutzungs- und Klimadaten berechnet.

Es gilt für beide Achsen der gleiche Flächenbezug (hier die EnEV-Nutzfläche A_N) sowie der Heizwertbezug. Damit sind die Werte nicht ohne Weiteres vergleichbar mit den Zahlen aus Tafel 2.9.8.7-1. Jedoch macht das Bild die übliche Fehleinschätzung von Gebäuden mit schlechtem Dämmstandard deutlich.

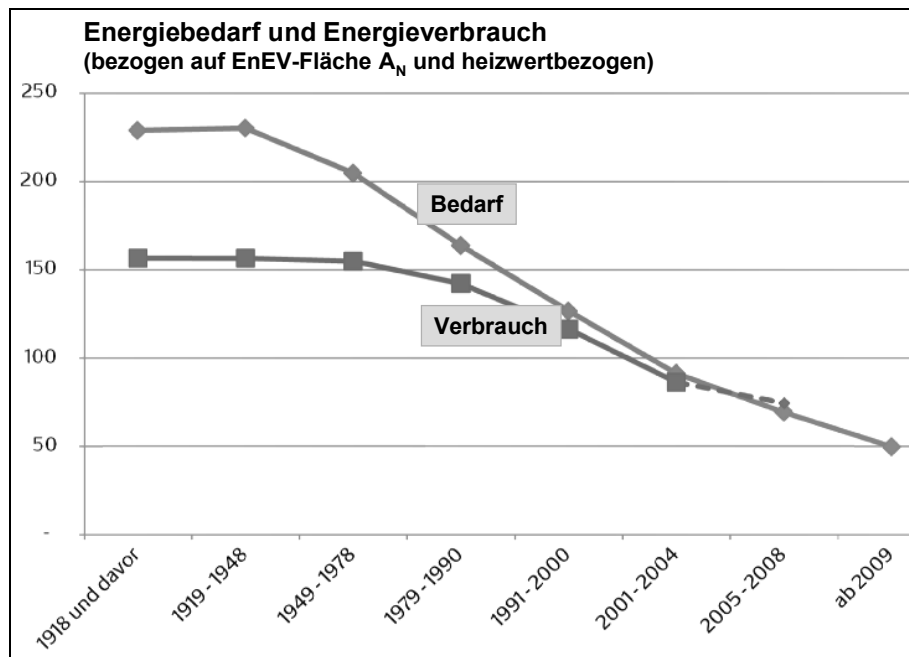


Bild 2.9.8.7-1 Bedarf und Verbrauch¹⁸

Insbesondere bei Gebäuden mit schlechtem Wärmeschutz ist ein geändertes Nutzerverhalten (sparsamer) zu beobachten, was im Rahmen der EnEV-Bilanzierung nicht berücksichtigt wird.

Kati Jagnow und Dieter Wolff
 Manuskript für Recknagel/Sprenger "Taschenbuch Heizungs- und Klimatechnik", Ausgabe 2017

¹⁸ Bigalke, U. et al; Der dena Gebäudereport 2012; Deutsche Energieagentur; Berlin; 2012.