

Auswertung von Verbrauchswerten

Die Gründe für eine Untersuchung der Verbrauchsdaten eines Gebäudes sind vielseitig. Einige sollen einleitend kurz umrissen werden, um die Praxisanwendung der Inhalte des vorliegenden Artikels abzustecken.

Zum einen können Verbrauchsdaten dem Energieberater helfen, bereits im Vorfeld eines Gutachtens abzustecken, ob das Objekt überhaupt lukrativ ist und mit welcher Wahrscheinlichkeit sich wirtschaftliche Einsparungen finden lassen (Grobanalyse zur Potentialabschätzung). Diesen Gedanken verfolgen auch alle großen Energiedienstleister: ein Objekt mit zu kleinem Energieverbrauch ist nicht für ein Contracting geeignet. Es wird auch kein weiteres Geld in eine Feinanalyse investiert, um am Ende auch nur zu wissen: hier lässt sich nichts (oder wenig) einsparen.

Verbrauchskennwerte sind darüber hinaus geeignet, eine (theoretische) Energiebedarfsbilanz im Rahmen einer Energieberatung zu überprüfen. Der aus Geometrie, U-Werten, Nutzerverhalten, Anlagenkennwerten usw. ermittelte Energiebedarf sollte sich bei der Beratung in der Größenordnung des gemessenen Verbrauchs ergeben. Sonst ist die Gefahr sehr groß, dass bei der Beratung zu große oder kleine Einsparungen berechnet werden. Verbrauchsdaten helfen dem Berater, Einsparprognosen richtig abzustecken und nicht "das Blaue vom Himmel" zu versprechen (Kontrollfunktion). Dies gilt natürlich nur, wenn die Beratung für einen konkreten Kunden und mit dessen Nutzungsgewohnheiten stattfindet.

Eine neue Diskussion sieht Verbrauchskennwerte auch als Datenbasis für verbrauchsorientierte Energiepässe oder Energieausweise an (Labeling). Um Gebäude ähnlicher Nutzung an verschiedenen Standorten und mit Messwerten unterschiedlicher Jahre zu vergleichen, ist eine Korrektur des Standort- und Witterungseinflusses nötig.

Dieser Abschnitt gibt vor dem Hintergrund dieser und anderer Anwendungszwecke (Betriebsüberwachung, Detailanalyse von Erzeugern im Teillastverhalten u. a.) einen Überblick der Möglichkeiten zur Verbrauchsdatenerfassung und Witterungskorrektur sowie Hinweise über die Einbindung in Energieberatungsberichte und Software. Darüber hinaus wird getrennt dargestellt, welche Erkenntnisse aus Jahresverbrauchskennwerten und welche zusätzlichen aus Monatskennwerten gewonnen werden können.

1. Erhebung von Verbrauchsdaten

Für jede Art von Verbrauchsdatenanalyse müssen zunächst die verbrauchten Mengen sinnvoll protokolliert und anschließend ggf. noch in Energiemengen umgerechnet werden.

Erfassung der Mengen

Die leitungsgebundenen Energieträger Gas, Strom und Fernwärme lassen sich einfach erfassen. Bei Strom und Fernwärme entfällt die zusätzliche Umrechnung in Energiemengen. Es ist sinnvoll, bei diesen Energieträgern Abrechnungsbelege der letzten 1 bis 3 Jahre auszuwerten. Den Belegen werden die verbrauchten Mengen und die zugehörigen Messzeiträume entnommen.

Bei den nicht leitungsgebundenen Energieträgern Öl, Kohle, Flüssiggas oder Holz ist die Erfassung der Mengen mit mehr Sorgfalt durchzuführen. Es empfiehlt sich, sofern vorhanden, in diesem Fall Einkaufsbelege der letzten 5 Jahre auszuwerten.

Werden Mengen nicht geregelt erfasst (selbst geschlagenes Holz o. ä.), müssen sie geschätzt werden. Im Falle von Holz durch Vermessen (Länge x Breite x Höhe) des Lagerraumes oder mit anderen Hilfsmitteln. Die – vor allem in Form von Holz – meist zusätzlich verbrauchten Mengen sollten keinesfalls bei der Verbrauchsanalyse unterschlagen werden.

Für die nicht leitungsgebundenen Energieträger ist es ratsam, die Verbrauchsmengen kumuliert über der Zeit aufzutragen (Bild 1-1). Diese Art der Darstellung bietet die Chance, auch die Qualität der Messdaten zu überprüfen.

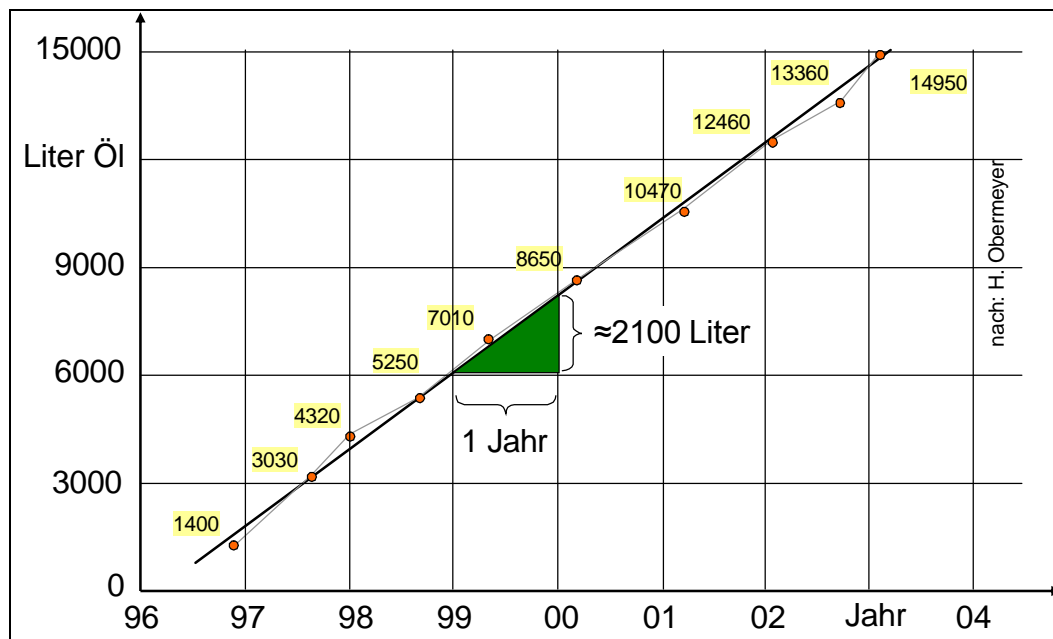


Bild 1-1 Kumulierter Ölverbrauch über der Zeit

Der entscheidende Vorteil der kumulierten Darstellung ist, dass Unregelmäßigkeiten sofort auffallen (Bild 1-2):

- Fehlen Rechnungsbelege, macht die Kurve einen Knick, verläuft danach aber wieder in der typischen Steigung weiter. Dies würde in der normalen Darstellung nicht auffallen – und auch nicht beim Verfahren "Summe aller Verbrauchswerte geteilt durch Summe der gesamten Zeit"!
- Wurden Einsparmaßnahmen durchgeführt, sollte die Gerade danach deutlich flacher verlaufen.

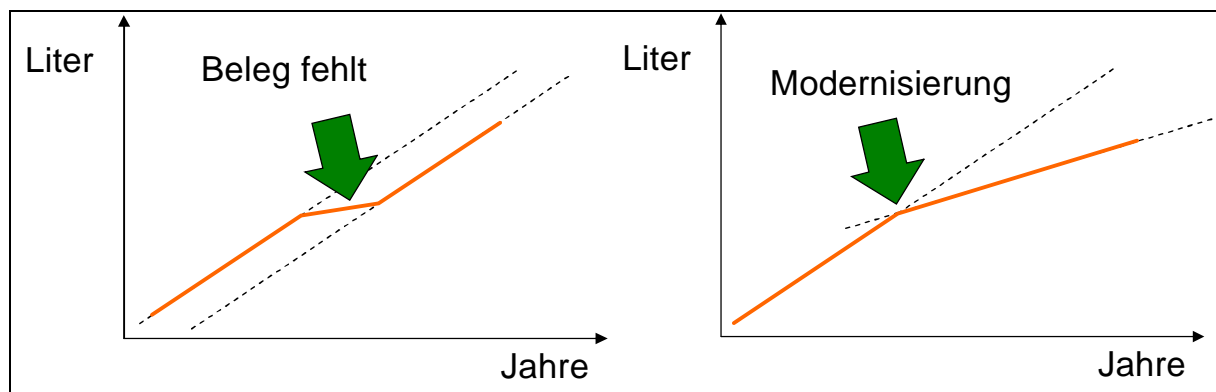


Bild 1-2 Vorteil der kumulierten Darstellung für nicht-leitungsgebundene Energieträger

Zur Erfassung von verbrauchten Mengen ist noch zu ergänzen: alle Unterzähler, die mit dem Wärmeverbrauch des Gebäudes zu tun haben, sollten ebenfalls ausgelesen werden bzw. Aufzeichnungen der Nutzer über entsprechende Zählerstände mit dokumentiert werden.

Eine besondere Empfehlung gilt für das Auslesen von Wärmemengenzählern mit Speicherfunktion. Diese Modelle neueren Baujahres haben häufig ein Speicherwerk, das die Monatsanfangswerte (1. des Monats, 0:00 Uhr) speichert. Diese können durch einfaches Durchklicken der Liste der letzten 12 Monate (wiederholtes Drücken des meist einzigen Knopfes am Gerät) ausgelesen werden. Monatsdaten liefern weitere Erkenntnisse, auf die später eingegangen wird.

Alle weiteren Zähler, die das Nutzerverhalten widerspiegeln (Wasserzähler warm und kalt, Stromzähler für Haushaltsstrom) sollten ebenfalls mit erfasst werden. Die damit verbundenen Verbrauchsdaten helfen dem Berater, die Nutzungsintensität einzustufen ("Verschwender", "Durchschnittsnutzer", "Sparer").

2. Umrechnung in Energien

Der Mengenerhebung folgt die Umrechnung in Energiemengen. Diese ist bei Strom und Fernwärme nicht erforderlich – hier werden sofort Kilowattstunden abgerechnet. Bei allen anderen Energieträgern (Gas, Öl, Holz, Kohle) muss die verbrauchte Menge in eine Energiemenge umgerechnet werden. Die Umrechnung erfolgt bis heute üblicherweise mit dem Heizwert des Stoffes H_i (früher H_U). Näheres zur Erläuterung folgt.

Alle gängigen Energiebilanzverfahren (Handrechnungen und Softwareprogramme) rechnen bis heute mit Heizwerten, daher müssen gemessene Vergleichswerte ebenfalls als Heizwerte vorliegen – wenn man am Ende beide vergleichen will. Es ist folgende Vorgehensweise zu wählen:

- Strom, Fernwärme: keine Umrechnung, da Messwerte in Kilowattstunden vorliegen
- Öl, Holz, Kohle, Flüssiggas: Umrechnung der gemessenen Mengen (Liter, Kilogramm usw.) mit dem Heizwert, z.B. nach Tabelle 1-1 oder Hersteller/Lieferantendaten.
- Erdgas: aus der Abrechnung werden die verbrauchten Kubikmeter und der vom Versorger angegebene Brennwert (Betriebsbrennwert oder Normbrennwert x Betriebsfaktor) entnommen; der Brennwert wird in den Heizwert umgerechnet (typisch: teilen durch 1,11) und dann wird die Energiemenge ausgerechnet.

	Einheit	Heizwert H_i (H_U)	Brennwert H_s (H_O)	Umrechnung H_s/H_i
Erdgas E (= Erdgas H)*	kWh/m ³	10,4	11,5	1,11
Erdgas LL (=Ergas L)*		8,9	9,8	1,11
Flüssiggas		30,4	32,8	1,08
Heizöl EL	kWh/l	10,0	10,6	1,06
Braunkohlebriketts	kWh/kg	5,3	5,6	1,06
Steinkohlebriketts		9,0	9,2	1,02
Koks		8,2	8,3	1,01
Laubholz	kWh/kg	4,3	4,8	1,12
Nadelholz		3,7	4,1	1,11
Hackschnitzel		4,6	5,1	1,11
Pellets		4,9	5,5	1,12

* je nach Region werden Erdgase mit mehr oder weniger Energiegehalt verteilt; das vor Ort verteilte Erdgas kann in der Qualität auch zwischen den beiden tabellierten Werten liegen; der Wert kann auch innerhalb des Versorgungsgebietes zeitlich schwanken; es sollte bei der Verbrauchsdatenanalyse der Energiegehalt laut Versorger verwendet werden.

Tabelle 2-1 Energieträgerkennwerte

Beispiel für ein mit Gas versorgtes Gebäude: auf der Abrechnung stehen 1000 m³ Gasverbrauch und ein Brennwert von 10,5 kWh/m³. Es werden also vom Versorgungsunternehmen abgerechnet 10.500 kWh_{Hs}. Die für eine Verbrauchsanalyse maßgebliche Energiemenge beträgt aber:

$$Q = \frac{10,5 \text{ kWh}_{Hs} / \text{m}^3}{1,11 \text{ kWh}_{Hs} / \text{kWh}_{Hi}} \cdot 1000 \text{ m}^3 = 9459 \text{ kWh}_{Hi}$$

Der mit einem Bedarfsrechenprogramm berechnete Kennwert für das Gebäude sollte – wenn Rechnung und Verbrauch übereinstimmen – auch etwa 9500 kWh betragen (nicht 10.500 kWh!).

3. Theorie der Bereinigung

Um den Energieverbrauch eines Gebäudes mit dem Verbrauch anderer (ähnlich genutzter) Gebäude oder anderer Zeiträume zu vergleichen, ist eine Bereinigung – oder Witterungskorrektur – erforderlich. Diese Korrektur 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!

Die "Bereinigung" erfolgt, um gemessene Energiekennwerte zu normieren und somit untereinander vergleichbar zu machen.

Die verschiedenen Korrekturarten für Verbrauchskennwerte zeigt 1-3.

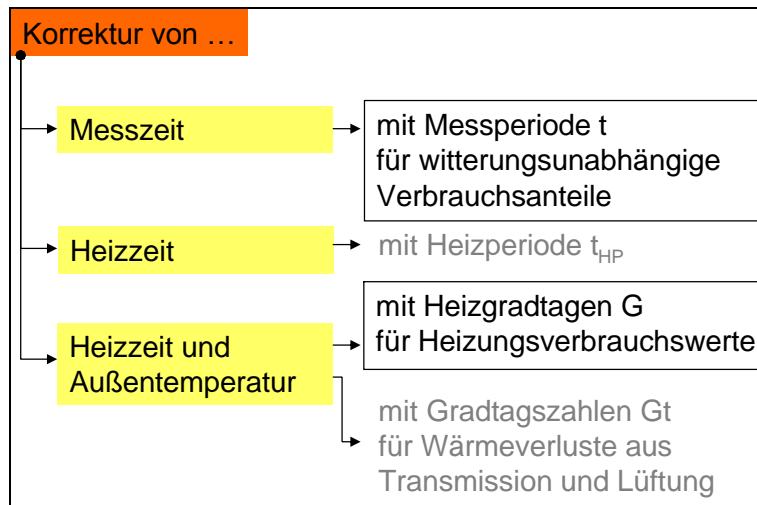


Bild 3-1 Möglichkeiten der Bereinigung von Messdaten

- Die reine Korrektur der Messzeit erfolgt für alle Verbrauchsanteile, die in erster Näherung nur von der Zeit abhängen (z.B. Trinkwarmwasserverbrauch). Die konkrete Vorgehensweise wird weiter unten besprochen.
- Die Korrektur des Heizeiteinflusses kann für alle verbrauchten Energiemengen erfolgen, die vorrangig von der Länge der Heizzeit abhängen. Klassisches Beispiel: der Pumpenstrom einer Heizungspumpe. Diese Art der Bereinigung ist in der Praxis unüblich und wird daher nicht vertieft.
- Der Einfluss der Länge der Heizzeit und der Außentemperatur in derselben wird korrigiert mit den Heizgradtagen G. Die Korrektur trifft alle Verbrauchskennwerte, die mit der Beheizung der Räume zu tun haben.
- Eine Korrektur mit der Gradtagszahl Gt ist in der Praxis nicht relevant, da von der Gradtagszahl nur die Transmissions- und Lüftungsverluste eines Gebäudes abhängen. Eine Kenntnis über diese beiden Kennwerte hat man anhand gemessener Verbrauchskennwerte aber nicht.

Die Heizzeit (Heizperiode) ist die Zeit, in der (aktiv) geheizt wird, d.h. die Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt. Die Heizgrenztemperatur ist die Außentemperatur, oberhalb der nicht mehr aktiv (mit Heizsystem) geheizt werden muss. Die Gewinne reichen zur Deckung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste aus.

Hintergrundwissen zu Heizgradtagen und Gradtagszahlen

Heizgradtage G beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und der Außentemperatur ϑ_a in einer Heizperiode t_{HP} . Sie können auch mit der mittleren Außentemperatur innerhalb der Heizperiode gebildet werden. Die Heizgradtage G erhalten einen Index je nach Heizgrenztemperatur. Beträgt die Heizgrenztemperatur für Gebäude im Bestand beispielsweise $\vartheta_{HG} = 15 \text{ °C}$, werden die Heizgradtage G_{15} genannt.

$$G_{\vartheta_{HG}} = \sum_{t_{HP}} (\vartheta_{HG} - \vartheta_a) \hat{=} (\vartheta_{HG} - \vartheta_{a,m}) \cdot t_{HP}$$

Die Heizgradtage sind proportional zu der Energiemenge, die dem Gebäude als Nutzwärmemenge (von der Heizung z.B. über Heizkörper) unterhalb der Heizgrenztemperatur zuzuführen ist. Oberhalb der Heizgrenztemperatur werden die Verluste des Gebäudes allein von den Wärmegewinnen gedeckt.

Der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes besteht zwar nicht nur aus der Nutzwärmemenge, es sind auch technische Verluste enthalten, aber der größte Teil des Verbrauchs hängt von den Heizgradtagen ab. Die Bereinigung mit Heizgradtagen wird daher näherungsweise für den gesamten Heizenergieverbrauch (incl. aller Verluste) verwendet.

Die Gradtagszahlen Gt hingegen beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Innentemperatur ϑ_i und der Außentemperatur ϑ_a im Verlauf einer Heizperiode t_{HP} . Sie ist proportional zu der Energiemenge, die das Gebäude in der Heizzeit t_{HP} aufgrund von Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) verliert.

$$Gt_{\vartheta_i, \vartheta_{HG}} = \sum_{t_{HP}} (\vartheta_i - \vartheta_a) \hat{=} (\vartheta_i - \vartheta_{a,m}) \cdot t_{HP}$$

Die Gradtagszahlen erhalten zwei Indices je nach Innentemperatur und gewählter Heizgrenztemperatur. Ist die Innentemperatur zum Beispiel $\vartheta_{im} = 19 \text{ °C}$ und die Heizgrenztemperatur $\vartheta_{HG} = 12 \text{ °C}$, wird die Gradtagszahl $Gt_{19,12}$ genannt.

Aufteilung des Verbrauchs

Für das Objekt müssen vor der Bereinigung der witterungsabhängige (näherungsweise: Heizungsverbrauch) und der witterungsunabhängige (näherungsweise: Trinkwasserverbrauch) Anteil der gemessenen Energiemenge bekannt sein.

Die getrennte messtechnische Erfassung beider Mengen mit je einem Zähler ist optimal. Ist nur ein gemeinsamer Zähler vorhanden, ist die Bestimmung des witterungsunabhängigen Grundverbrauchs durch eine Sommermessung möglich (vgl. Bild 5-2).

Weitere Möglichkeiten werden im Folgenden kurz umrissen.

Die – nach Heizkostenverordnung – einfachste Möglichkeit, den Trinkwarmwasser- vom Heizungsanteil zu trennen, ist folgende: die Endenergie für Trinkwarmwasser beträgt, wenn nichts weiter bekannt ist, 18 % der gesamten Endenergie für Wärme. Dieser Ansatz ist vor allem in alten Mehrfamilienwohngebäuden sinnvoll.

Über diesen sehr pauschalen Ansatz der Heizkostenverordnung hinaus können als Hilfsgröße auch die Werte aus Tabelle 3-1 verwendet werden. Die Zahlen entstammen einem Messprojekt. Es zeigt sich: in Gebäuden neuer Baujahre nimmt der Trinkwarmwasseranteil zu (weil der Wärmeverbrauch insgesamt sinkt).

		Endenergieanteil (Schnittstelle: Gebäudegrenze)		Zahl untersuchter Objekte
Baujahre	bis 1977	EFH	13 %	14
		MFH	18 %	6
	1978 – 1994	EFH	15 %	8
		MFH	22 %	9
	ab 1995	EFH	23 %	13
		MFH	24 %	7
Versorgung	Nah- und Fernwärme	EFH	18 %	12
		MFH	28 %	10
	Gas- oder Ölkessel	EFH	15 %	24
		MFH	18 %	12

Tabelle 3-1 Endenergieanteile des Trinkwarmwasserverbrauchs nach [Optimus]

Insgesamt genauer ist die Abschätzung der Endenergie anhand von Personenzahlen oder Flächenbelegung sowie unter Berücksichtigung der Anlagentechnikverluste (Verteilung, Erzeugung).

Vor allem für kleine Objekte kann der Trinkwarmwasseranteil sinnvoll anhand nachfolgender Gleichung mit Hilfe der Personenzahl geschätzt werden. Ein typischer Nutzwärmeverbrauch für Trinkwarmwasser (= aus dem Hahn gezapfte Energiemenge) ist 600 kWh/(Person a). Als Nutzungsgrade für das Gesamtsystem (Verteilung und Erzeuger) können in Anlehnung an die Heizkostenverordnung $\eta_{Gesamt} = 0,5$ für Kesselanlagen und $\eta_{Gesamt} = 0,6$ für Fernwärmeanlagen verwendet werden. Sind genauere Angaben über die Nutzungsgrade bzw. Technikverluste bekannt, können selbstverständlich diese Werte eingesetzt werden.

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

Die Heizkostenverordnung lässt einen ähnlichen Ansatz zu: die Bestimmung des Endenergieanteils aus der gezapften Trinkwarmwassermenge V (in m^3/a) und deren Temperatur ($\vartheta_{\text{Warmwasser}}$ in $^{\circ}\text{C}$). Der Faktor $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{K})$ enthält die Stoffwerte (Dichte, Wärmespeicherkapazität) des Wassers und einen Anlagennutzungsgrad von ca. 50%. Der Faktor kann näherungsweise auf 2,0 bei Fern- und Nahwärme (keine Brennstoffumwandlung) herabgesetzt werden.

$$Q_{TW,mess} \approx 2,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot V_{\text{Warmwasser}} \cdot (\vartheta_{\text{Warmwasser}} - 10^{\circ}\text{C})$$

Eine typische Warmwassertemperatur im Warmwasserspeicher ist $55 \dots 60^{\circ}\text{C}$, der durchschnittliche Warmwasserverbrauch bezogen auf diese Temperatur beträgt 30 Liter pro Person und Tag. Ist nur der gesamte Trinkwasserverbrauch (Durchschnitt heute in der BRD: 130 Liter pro Person und Tag) bekannt, kann näherungsweise ein Drittel davon als Warmwasser, aber mit einer Temperatur von 45°C zur Bestimmung des typischen Nutzwarmwasserverbrauchs angesetzt werden. Alle Werte sind jedoch besser im realen Objekt vor Ort zu bestimmen.

Als letztes, hier vorgestelltes Hilfsmittel können die Zahlen nach Tabelle 3-2 verwendet werden. Die Zahlen enthalten bereits die Nutzwärmemenge und die Verteilverluste, sind aber noch mit dem Nutzungsgrad des Erzeugers zu korrigieren!

	Energie für Trinkwarmwasser ab Erzeuger			
	in kWh/(Person a)	Zahl untersuchter Anlagen	in kWh/(m^2a)	Zahl untersuchter Anlagen
EFH ohne Zirkulation	780	13	18	14
EFH mit Zirkulation	1450	18	29	21
MFH mit Zirkulation	1250	21	38	22

Tabelle 3-2 Energie für Trinkwarmwasser ab Erzeuger nach [Optimus]

Witterungsabhängiger Heizungsanteil

Der Anteil am Gesamtverbrauch eines Gebäudes, der von der Witterung abhängt – er soll hier Q_H genannt werden – wird nach folgendem einfachen Dreisatz korrigiert:

$$Q_{H,bereinigt} = Q_{H,mess} \cdot \frac{G_{s \text{ tan dard}}}{G_{mess}}$$

Die Heizgradtage des Standardjahres verhalten sich zu den Heizgradtagen des Untersuchungsjahres wie die Nutzenergie der Heizung im Standardjahr zur Nutzenergie des Untersuchungsjahres. Die Korrektur heißt Heizgradtagkorrektur. Es werden benötigt: der gemessene Heizenergieverbrauch $Q_{H,mess}$ sowie die Heizgradtage im Messzeitraum G_{mess} und im Standardfall $G_{standard}$.

Die Heizgradtage im Messzeitraum werden mit den konkreten Außentemperaturen und Heiztagen berechnet. Die Standardwerte sind meist 30-Jahres-Mittelwerte für das Klima. Quellen für die Wetterdaten werden in einem der folgenden Abschnitte benannt.

Soll die Normierung auf ein Standardjahr am gegebenen Standort erfolgen, dann sind repräsentative 30-Jahres-Mittelwerte für das Klima am Ort heranzuziehen. Es kann auch eine Normierung auf ein Standardjahr an einem Standardstandort erfolgen. Dazu gibt es einen Klimadatensatz "Deutschland". Im zweiten Fall lassen sich nach der Witterungskorrektur auch Gebäude an unterschiedlichen Orten vergleichen.

Die Stufen der Bereinigung zeigt schematisch das 3-2. Ausgangslage sind Heizenergieverbrauchswerte (Balken "H") für 11 Monate eines Gebäudes in Potsdam. Der Dreisatz kann mehrfach angewendet werden: zuerst können die 11 Monate auf 12 Monate in Potsdam hochgerechnet werden. Dann können die 12 Monate der Heizperiode 2001/02 auf ein mittleres Klima in Potsdam umgerechnet werden. Das kann auch in einem Schritt erfolgen! An dieser Stelle würde die

typische Energieberatungssituation enden. Für Berater und Kunden ist interessant, welcher Verbrauch typischerweise in Potsdam vorliegen würde.

Im letzten Schritt nach 3-2 folgt eine Korrektur vom typischen Jahr in Potsdam auf das typische Jahr eines Standardstandortes in Deutschland. Dieser Anwendungsfall der Witterungskorrektur wäre z.B. bei einer Verbrauchs-Energiepasserstellung denkbar. Alle Gebäude in Deutschland sollen untereinander vergleichbar sein. Wegen des mehrfachen Dreisatzes kann natürlich auch gleich in einem Schritt aus den 11 Monaten Potsdam 2001/02 ein mittleres Standardjahr für Deutschland bestimmt werden.

In jedem Bruch sind im Zähler und Nenner die entsprechenden Heizgradtage G zu ergänzen.

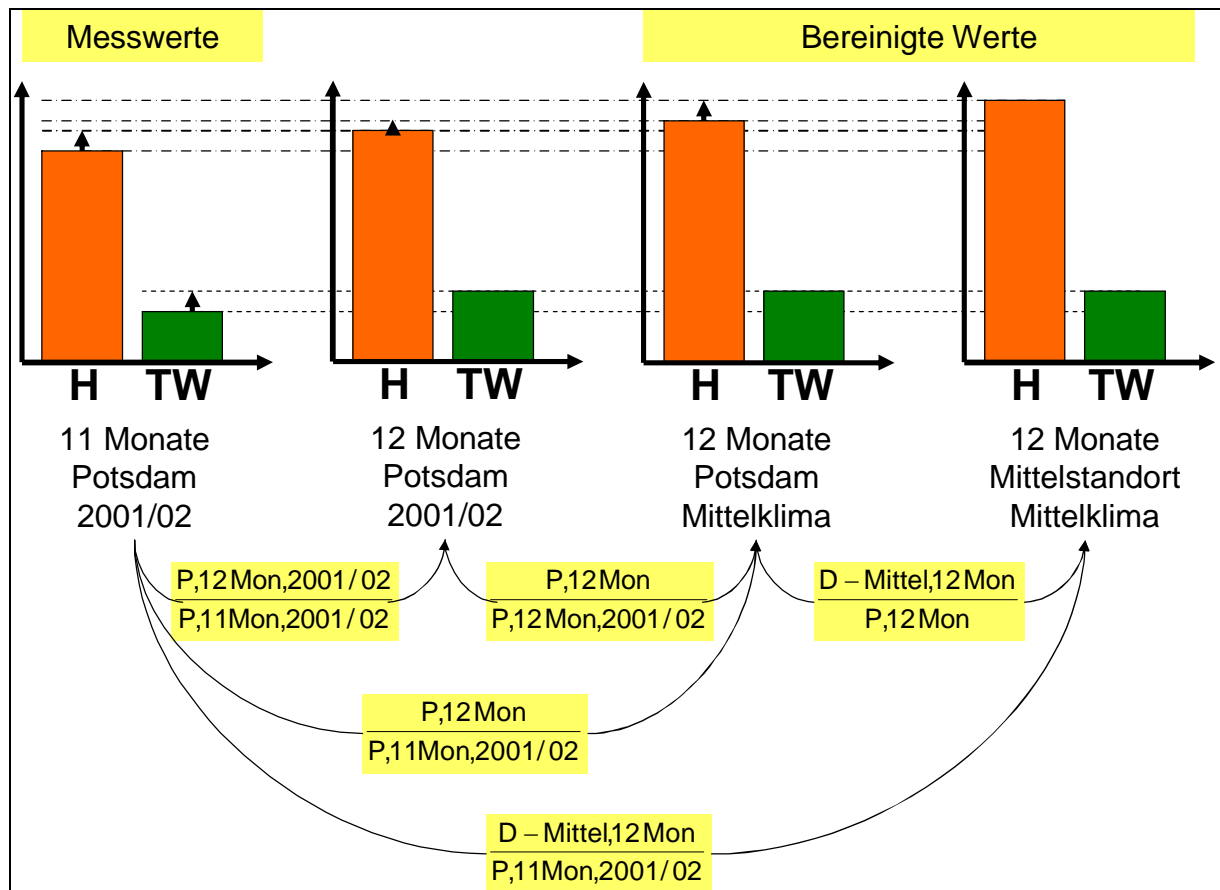


Bild 3-2 Stufen der Messdatenbereinigung

Witterungsunabhängiger Warmwasseranteil

Der Anteil am Gesamtverbrauch eines Gebäudes, der nicht von der Witterung abhängt – er soll hier Q_{TW} genannt werden – wird nach folgendem Dreisatz korrigiert:

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

Der gemessene Verbrauch $Q_{TW, \text{mess}}$ wird anhand der Messtage t_{mess} auf die vollen 365 Tage eines Jahres angepasst. Die Korrektur heißt Zeitkorrektur.

Diese Art der Normierung ist immer gleich – unabhängig vom Standort. Die Erläuterungen zu den Stufen der Bereinigung nach 3-2 gelten hier ebenfalls. Der Energieverbrauch für 11 Monate in Potsdam (Balken "TW") wird auf 12 Monate hochgerechnet. In jeden Bruch sind im Zähler und Nenner die entsprechenden Messtage bzw. 365 Tage/Jahr zu ergänzen.

Beispiel

Als Beispiel dient ein Einfamilienhaus mit dem Standort D-14542 Werder. Da für diesen Ort keine Wetterdaten verfügbar sind, wird der Referenzort Potsdam verwendet. Hintergrund der Korrektur ist eine bevorstehende Energieberatung.

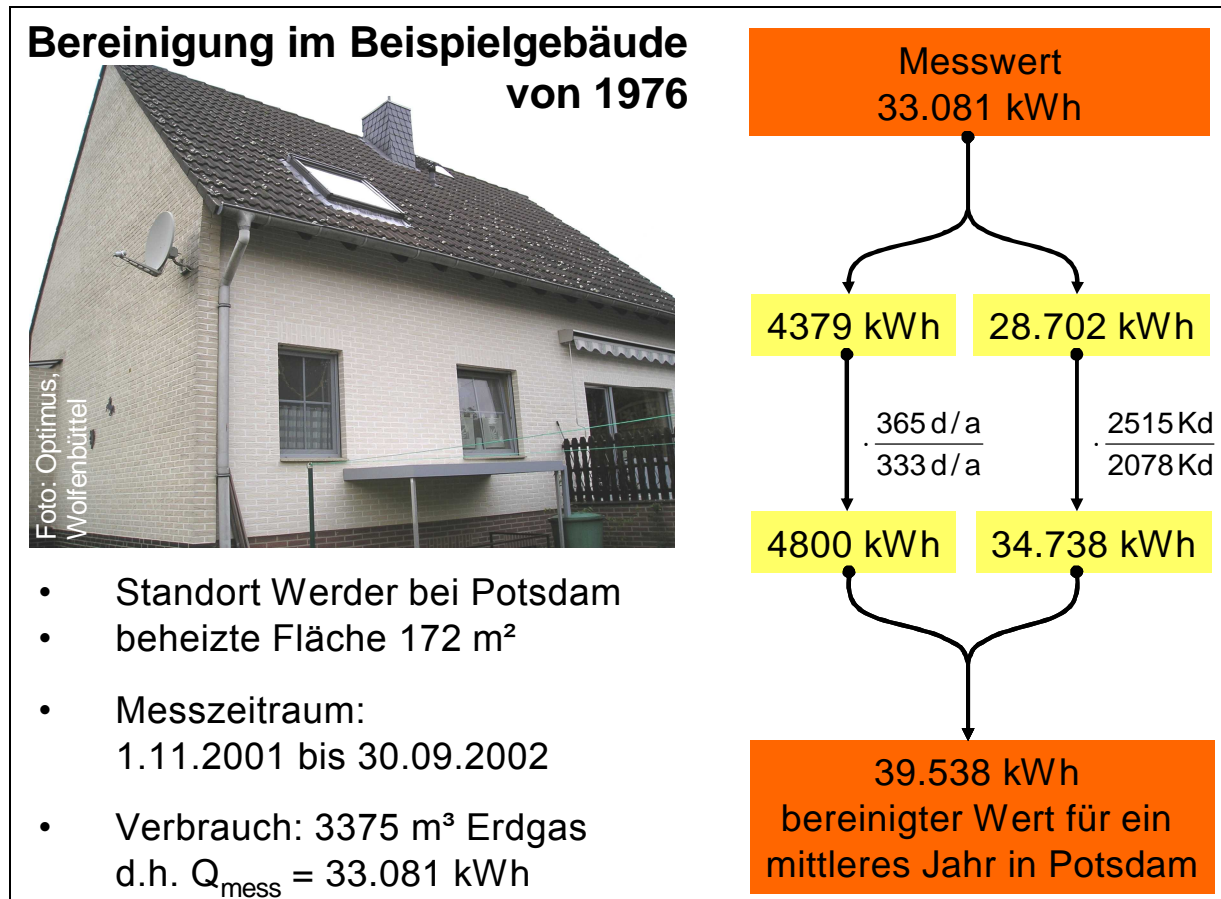


Bild 3-3 Beispiel für eine Messdatenbereinigung

Es liegt eine Abrechnung für den Zeitraum 1.11.2001 bis 30.09.2002 vor. Der vom Versorger angegebene Brennwert (10,88 kWh_{HS}/m³) wird mit dem Umrechnungsfaktor Heizwert/Brennwert (1,11 kWh_{HS}/kWh_{HI}) in den Heizwert umgerechnet (9,8 kWh_{HI}/m³). Anschließend wird aus der gemessenen Gasmenge (3375 m³) mit dem Heizwert die Energiemenge bestimmt (33.081 kWh).

Weil keine weiteren Daten über Verbrauchskennwerte vorhanden sind, wird der Trinkwarmwasseranteil am Endenergieverbrauch geschätzt. Ausgehend von 4 Personen, einem Jahresnutzwärmeverbrauch von 600 kWh/(Person·a) und einer Versorgung mit Kessel (Anlagennutzungsgrad η_{Gesamt} = 0,5) ergibt sich für die Messzeit (333 Tage) folgender Trinkwarmwasseranteil:

$$Q_{\text{TW,mess}} \approx \frac{1}{0,5} \cdot 4 \text{ Personen} \cdot 600 \frac{\text{kWh}}{\text{Person} \cdot 365 \text{ d}} \cdot 333 \text{ d} = 4379 \text{ kWh}$$

Es folgt die Korrektur der Verbrauchswerte für Warmwasser auf Jahreswerte mit Anzahl der Tage sowie Korrektur der Verbrauchswerte für Heizung mit Heizgradtagen auf ein Jahr am Standort Potsdam (nach VDI 3807). Das typische Jahr in Potsdam bzw. Werder ist a) länger als die Messperiode und b) auch kälter. Dies sagen die Heizgradtage G aus. Der bereinigte Verbrauchskennwert für das EFH beträgt 39.538 kWh/a bzw. 230 kWh/(m²a).

4. Quellen für Wetterdaten

Die Witterungskorrektur des Endenergieanteils, der für die Gebäudebeheizung verwendet wird, erfolgt mit den Heizgradtagen. Offen ist bislang noch, woher konkrete Wetterdaten (z.B. Potsdam, 11 Monate in 2001/02) und langjährige, typische Mittelwerte zu nehmen sind.

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die Herkunft von Wetterdaten. Darüber hinaus gibt es weitere Quellen, die hier nicht detaillierter besprochen werden sollen. Für den Energieberater sollten genannte Fundorte im ersten Schritt ausreichend sein.

Quelle		Anzahl von Stationen	Standardwerte für die Stationen	aktuelle Werte für die Stationen	Mittlerer deutscher Standort
IWU	www.iwu.de >> Download >> Berechnungswerkzeuge/ Software	42	Monats- und Jahreswerte (30-Jahres-Mittel)	Monatswerte und Jahreswerte (ca. 1990 bis heute)	nein
DWD	www.dwd.de >> Wetter und Klima >> Klimainfos	44	nur Temperaturen (Heiztage fehlen)	Tageswerte (ca. 1990 bis heute)	nein
Normen	Anhang der DIN V 4108-6	39	Jahreswerte für alle Stationen	nein	ja, Jahreswerte

Tabelle 4-1 Quellen für Wetterdaten

Der für den Berater interessanteste Fundort ist die Internetseite des IWU. Dort finden sich aufgearbeitet als Excel-Tabelle (vgl. auch Bild 4-1) zum einen Monatswetterdaten der letzten Jahre als auch 30-Jahres-Mittelwerte für insgesamt 42 Klimastationen. Diese Tabelle erlaubt es, für fast alle Regionen in Deutschland durch Zuordnung zu einer der Klimastationen den Verbrauchswert auf einen typischen Wert am Standort zu korrigieren (z.B. aus Potsdam 2001/02 ein typisches Jahr in Potsdam bestimmen). Es ist jedoch kein mittlerer Standort in Deutschland angegeben.

Standardwerte (30-Jahres-Mittelwerte) für Jahresklimadaten von 39 Standorten und auch einem "mittleren Standort Deutschland" finden sich in der DIN V 4108-6 wieder. Diese Norm bietet aber keine aktuellen Wetterdaten, sondern nur die Langzeitwerte. Anhand des Datensatzes für das mittlere deutsche Klima können alle Verbrauchsdaten auf ein Niveau korrigiert werden. Die notwendigen aktuellen Wetterdaten müssen dazu einer anderen Quelle entnommen werden.

Der Deutsche Wetterdienst DWD veröffentlicht die Rohdaten der Wettermessungen, z.B. in Form von Tagesdaten – allerdings als HTML-Seite. Die Daten müssen dann noch in eine auswertbare Form gebracht werden (z.B. Excel, siehe IWU). Angegeben werden vom Wetterdienst jede Menge Informationen, von denen einzig die mittlere Tagestemperatur gebraucht wird. Die Anzahl der Heiztage kann aus der mittleren Außentemperatur bestimmt werden: jeder Tag, der eine mittlere Außentemperatur unterhalb der Heizgrenztemperatur hat, ist ein Heiztag.
Erläuterung zum Wetterdatensatz:

An dieser Stelle soll beschrieben werden, welche Daten ein Wetterdatensatz mindestens enthalten muss: am besten ist die Angabe der Heiztage und der mittleren Außentemperatur an diesen Heiztagen in einem bestimmten Zeitraum. Der unbedingt benötigte Zeitraum ist ein Jahr, besser sind Quellen, in denen auch für einen Monat oder gar einen beliebigen Zeitraum Werte vorhanden sind.

Anstelle von Heiztagen und Außentemperatur kann auch eine Angabe über die Heizgradtage des betreffenden Zeitraums dokumentiert sind. Dieser Kennwert setzt sich ja aus den beiden anderen zusammen. Die mittlere Außentemperatur allein reicht als Wetterdatensatz nicht aus!

In jedem Fall muss beschrieben sein, für welche Heizgrenztemperatur die Wetterdaten (Temperatur + Heiztage oder Heizgradtage) gelten. Üblicherweise werden Wetterdaten für verschiedene Heizgrenztemperaturen protokolliert: z.B. 10°C, 12°C, 15°C. Es gibt also für einen Standort (z.B. Potsdam) und einen Zeitraum (z.B. Mai) mehrere Angaben der Heizgradtage bzw. Außentemperaturen und Heiztage.

Im 30-Jahresmittel für einen Mai in Potsdam ergeben sich bei einer Heizgrenze von 12°C beispielsweise 10 Heiztage mit durchschnittlich 9,5 °C Außentemperatur. Liegt die Heizgrenze bei 15 °C gibt es bereits 19 Heiztage mit 11,3 °C Außentemperatur. Die Anzahl der Heiztage im Mai steigt, je höher die Heizgrenztemperatur ist, da an immer mehr Tagen geheizt wird. Diese Tage werden im Mittel aber immer wärmer, d.h. die mittlere Außentemperatur steigt ebenfalls. Die zugehörigen Heizgradtage betragen 26 und 72 Kd (Kelvintage).

Einen Ausschnitt der Wetterdatenzusammenstellung des IWU zeigt Bild 4-1. Es handelt sich um die Wetterdaten von Potsdam, Startmonat November 2001. Es sollen Wetterdaten mit einer Heizgrenztemperatur von 15 °C angezeigt werden und maßgeblich sind die Heizgradtage.

Klimadaten deutscher Stationen															
Datenquelle: Klimadaten Deutscher Stationen, Deutscher Wetterdienst, Offenbach - www.dwd.de															
Wetterstation		Potsdam		Klimazone		alle		Jahr		2001		Start		November	
Klimazone 4 nach DIN V 4108-6:2003															
Innentemperatur		zur Berechnung der Heizgradtage													
Heizgrenztemperatur		15													
Ausgabegröße															
<input type="radio"/> Gradtagszahl <input checked="" type="radio"/> Heizgradtage (nach VDI 3708)															
Monat	2001/2002				langjähriges Mittel *										
	Heizgradtage		Außen-	Außentemp.	Heizgradtage		Außen-	Außentemp.							
	G15	Heiztage	temperatur	an Heiztagen	G15	Heiztage	temperatur	an Heiztagen							
	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]							
November 2001	330	30	4,0	4,0	325	30	4,2	4,2							
Dezember 2001	476	31	-0,4	-0,4	427	31	1,2	1,2							
Januar 2002	416	31	1,6	1,6	467	31	0,0	0,0							
Februar 2002	278	28	5,1	5,1	399	28	0,9	0,9							
März 2002	294	31	5,5	5,5	333	31	4,2	4,2							
April 2002	194	30	8,5	8,5	205	28	8,3	7,7							
Mai 2002	25	13	15,3	13,1	72	19	13,8	11,3							
Juni 2002	7	8	17,4	14,1	25	11	16,5	12,8							
Juli 2002	2	3	18,7	14,5	7	5	18,4	13,7							
August 2002	0	0	20,5		9	6	18,1	13,4							
September 2002	56	17	14,5	11,7	60	20	13,8	12,0							
Oktober 2002	217	31	8,0	8,0	187	29	9,0	8,6							
Jahr	2294	253	9,9	7,8	2515	270	9,0	7,5							

* von 1970 - 2003

Bild 4-1 Auszug aus der IWU-Klimadatensammlung

Die Aufstellung links liefert die Daten für die Messzeit 2001/2002, rechts findet sich das 30-Jahresmittel wieder.

Für den Monat Mai im Jahr 2002 ergeben sich 13 Heiztage mit Temperaturen unter 15 °C, an denen es im Mittel 13,1 °C warm ist. Die Heizgradtage betragen:

$$G_{15} = \sum_{\text{Mai}} (15^{\circ}\text{C} - \vartheta_a) \hat{=} (15^{\circ}\text{C} - 13,1^{\circ}\text{C}) \cdot 13\text{d} = 24,7\text{Kd}$$

Auf diese Art sind alle anderen Zellen auch bestimmt. Die letzte Tabellenzeile summiert das Jahr.

Für das bereits besprochene EFH in D-14542 Werder lag eine Abrechnung für den Zeitraum 1.11.2001 bis 30.09.2002 vor. Es interessiert also die Summe der Heizgradtage in den 11 Monaten November 01 bis September 02. Die betreffenden Zellen sind umrandet. Hier kann mit Excel oder dem Taschenrechner eine Summe gebildet werden. Sie beträgt 2078 Kd. Das langjährige Mittel in Potsdam beträgt 2515 Kd in einem vollen Jahr (rechts markierter Wert).

5. Heizgrenztemperaturbestimmung

Die Heizgrenztemperatur eines Gebäudes ist die Außentemperatur, unterhalb der geheizt wird. Oberhalb reichen die inneren und solaren Wärmegewinne aus, um auch ohne aktive Beheizung ein angenehmes Raumklima aufrecht zu erhalten. Bislang ist offen geblieben, wie die Heizgrenztemperatur eines Gebäudes bestimmt werden kann.

Je geringere Wärmeverluste und je höhere Wärmegewinne ein Gebäude hat, desto niedriger liegt die Heizgrenze. Für den Wohngebäudebestand mit Baujahren von 1977 bis 1995 liegt diese Temperatur beispielsweise bei etwa 15°C. Ein Hilfsmittel zur Zuordnung ist Bild 5-1.

Weit besser ist die näherungsweise Bestimmung der Heizgrenze anhand von Messwerten. An dieser Stelle finden sich evtl. vorhandene monatsweise Verbrauchswerte (Speicherwärmemengenzähler, Aufzeichnungen der Anlagenbetreiber usw.) wieder.

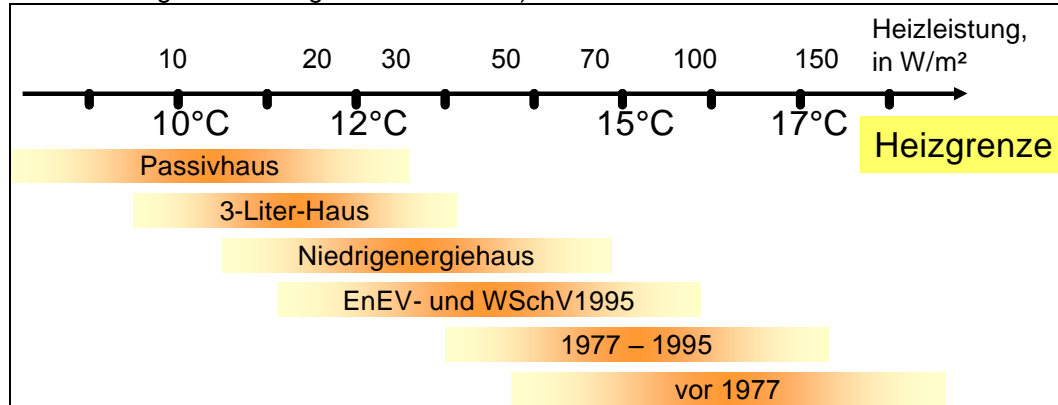


Bild 5-1 Ermittlung der Heizgrenze anhand einer Typologie

Die Heizgrenze lässt sich bestimmen, indem die Monatsmesswerte (oder andere Intervalle kürzer als ein Jahr) in ein Diagramm eingetragen werden. Dazu sind sie in mittlere Leistungen umzurechnen (z.B. Messwert in kWh/mon geteilt durch Messzeit in h/mon). Aufgetragen werden die Werte über der mittleren Außentemperatur des Monats. Die Zahlen können ebenfalls den IWU Tabellen (4-1, 3. Spalte "Außentemperatur") oder dem Deutschen Wetterdienst entnommen werden.

Es entstehen Diagramme wie in Bild 5-2. Je nachdem, welche Werte der Zähler misst, müssen eine oder zwei Ausgleichsgeraden eingetragen werden. Die waagerechte Gerade im linken Diagramm bildet den witterungsunabhängigen Warmwasserverbrauch ab, die beiden fallenden Geraden den witterungsabhängigen Heizungsverbrauch. Der Punkt, an dem der witterungsabhängige Anteil null wird, ist die Heizgrenztemperatur.

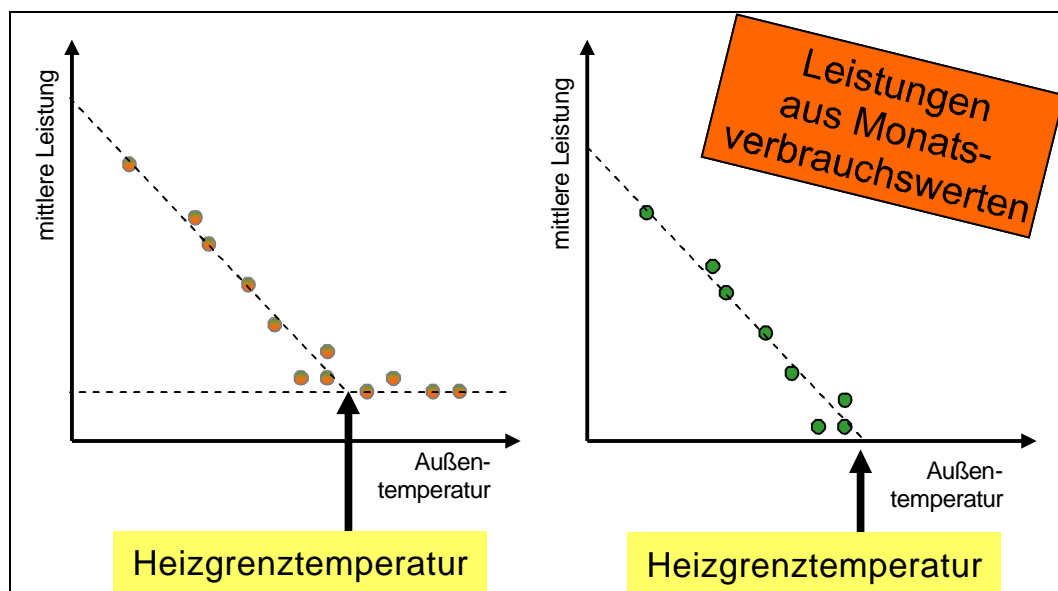


Bild 5-2 Ermittlung der Heizgrenztemperatur aus Messwerten

Es ist sinnvoll, eine Ausgleichsgerade nur durch die Punkte zu legen, die zur Kernheizzeit gehören (z.B. Oktober bis April). Alle Tage dieser Monate sind Heiztage (siehe 4-1, 2. Spalte "Heiztage").

Vergleich mit anderen Gebäuden

Vor der eigentlichen Feinanalyse eines Objektes kann zunächst eine Grobeinstufung durchgeführt

werden. Für den Vergleich eines konkreten Objektes mit anderen Gebäuden sind Vergleichskennwerte notwendig. Eine gute Kennwertsammlung für Wärme-, Strom- und Wasserverbrauchskennwerte verschieden genutzter Häuser bietet die VDI 3807.

Für verschiedene Nutzungstypen gibt es grafische oder tabellarische Auftragungen typischer Verbrauchskennwerte. Es werden Mittel- und Zielwerte für den Verbrauch genannt. Der Zielwert des Verbrauchs ist der Mittelwert der besten 25 % der Gebäude einer untersuchten Stichprobe. Im Falle der Wohngebäude nach Bild 5-3 ergibt sich ein Mittelwert von 175 kWh/(m²a) und ein Richtwert von 125 kWh/(m²a).

Was sagen die Kennzahlen dem Berater: alle Gebäude mit Verbrauchskennwerten oberhalb des Mittelwertes haben eindeutig Verbesserungspotential. Es werden sich wirtschaftliche Verbesserungsmaßnahmen finden lassen. Liegt der Kennwert des Gebäudes bereits unter dem Zielwert, wird es vermutlich schwierig, weitere wirtschaftliche Verbesserungsmaßnahmen zu finden.

Der witterungs- und zeitbereinigte Verbrauch des Beispielhauses in D-14542 Werder lag bei 230 kWh/(m²a). Eingetragen in die Aufstellung nach Bild 5-3 zeigt sich, dass es zu den "Vielverbrauchern" gehört, also mehr als der Durchschnitt aller Wohngebäude verbraucht. Diese einfache Einordnung zeigt dem Berater, dass am konkreten Objekt viel Einsparpotential besteht.

Selbstverständlich kann das geschulte Beraterauge dies auch bei bloßer Begutachtung es Objektes sehen. Schwieriger wird eine solche Einstufung aus dem Gefühl und der Erfahrung heraus aber bei anderen Nutzungen (Schulen, Gaststätten usw.) – dort sind Hilfsmittel zur Identifizierung der Vielverbraucher hilfreich.

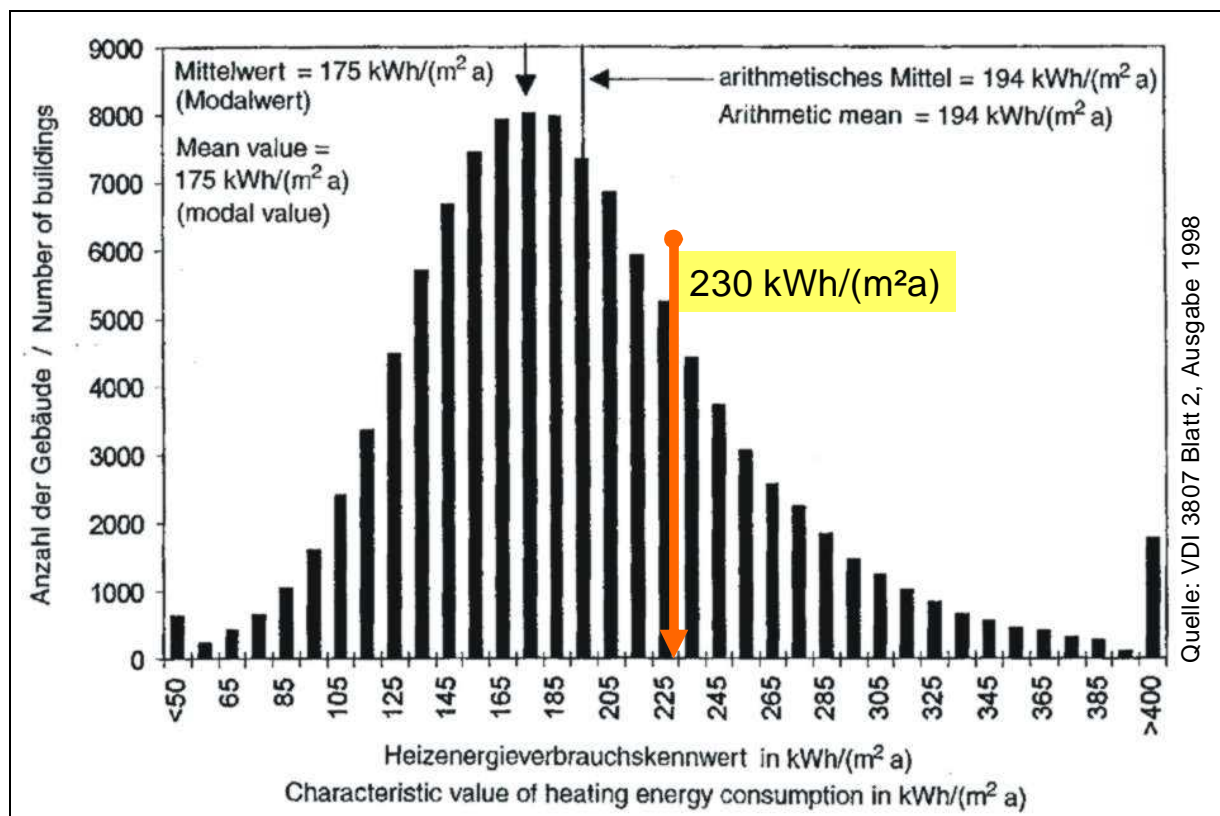


Bild 5-3 Anwendung von Verbrauchskennwerten: Einordnung des Objektes

6. Auswertung von Monatswerten

Jahresverbrauchswerte aus Heizkostenabrechnungen ergeben eine erste Gesamtbewertung von Bestandsgebäuden. Sehr viel detailliertere Informationen über Gebäude, Anlagentechnik und Nutzung erhält man aus der Analyse von Verbrauchswerten, z. B. zusammen mit den zugehörigen Außentemperaturen, die in kürzeren Messintervallen erhoben werden. Im Folgenden wird beispielhaft die Monatsmessung beschrieben. Die Vorgehensweisen bei der Datenauswertung und Interpretation

sind auch auf andere Intervalle 2 Wochen, 1 Woche usw. übertragbar.

Allen Kurzzeitmessungen gemein ist: die Verbrauchswerte sind in Korrelation mit der zugehörigen Belastung zu bringen. Dies kann z.B. die Außentemperatur sein oder die mittlere Kesselbelastung.

Für die Analyse von Erzeugern sowie des beheizten Bereiches werden mehrere Messstellen benötigt, siehe Bild 6-1.

- Sollen Wärmeerzeuger bewertet werden, müssen einerseits die Messwerte für die Energiezufuhr (P) und andererseits für die Wärmeabgabe (H, W) bekannt sein.
- Soll der Baukörper und die Nutzung detaillierter untersucht werden, wird die Wärmezufuhr in den beheizten Bereich (H) und die Außentemperatur (T) benötigt

Alle Messwerte (P, H, T, W) müssen monatlich bekannt sein. Die Quellen für monatliche Wetterdaten wurden bereits beschrieben.

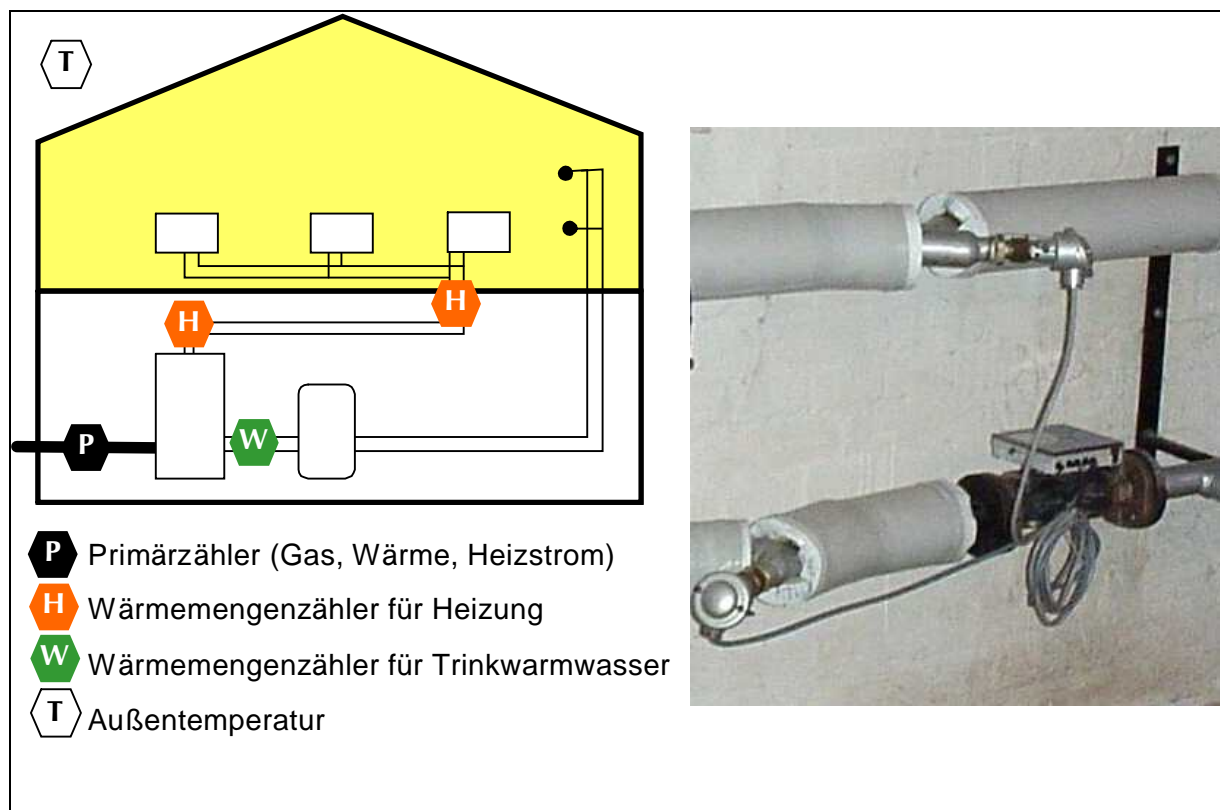


Bild 6-1 Messpunkte für die Detailanalyse von Gebäuden

Verteilverluste im unbeheizten Bereich

Optimal wäre eine messtechnische Erfassung der Verteilverluste durch zwei Wärmemengenzähler, d.h. nach dem Erzeuger und vor Eintritt in den beheizten Bereich (siehe Bild 6-1). Da dies in der Praxis natürlich nicht gegeben ist, müssen Verteilverluste in den unbeheizten Bereichen abgeschätzt werden.

Liegt im Normalfall ein Zähler direkt hinter dem Erzeuger, dann ist die Wärmeerzeugerbewertung ohne Schätzungen möglich, aber die dem beheizten Bereich zugeführte Wärmemenge muss angenähert werden. Der Zählermesswert ist um die Verteilverluste im Keller zu vermindern. Im umgekehrten Fall, der Zähler liegt nahe am Eintritt der Wärme in den beheizten Bereich, muss bei der Erzeugerbewertung der Verteilverlust berücksichtigt werden. Der Erzeuger gibt die gezählte Wärmemenge ab plus die Verteilverluste im Keller.

Nur wenn die Anlage im beheizten Bereich aufgestellt ist, entfällt diese Betrachtung.

Müssen Verteilverluste innerhalb einer Messzeit abgeschätzt werden, kann nachfolgende Gleichung verwendet werden. Der Verteilverlust Q_d hängt ab von der Länge der wärmeabgebenden Rohre L_{Rohr} , deren längenbezogenem U-Wert, der Netztemperatur ϑ_{Netz} , der Temperatur des unbeheizten Raumes $\vartheta_{\text{Umgebung}}$ sowie der Messzeit t_{mess} .

$$Q_d = L_{\text{Rohr}} \cdot U_{\text{Rohr}} \cdot (\vartheta_{\text{Netz}} - \vartheta_{\text{Umgebung}}) \cdot t_{\text{mess}}$$

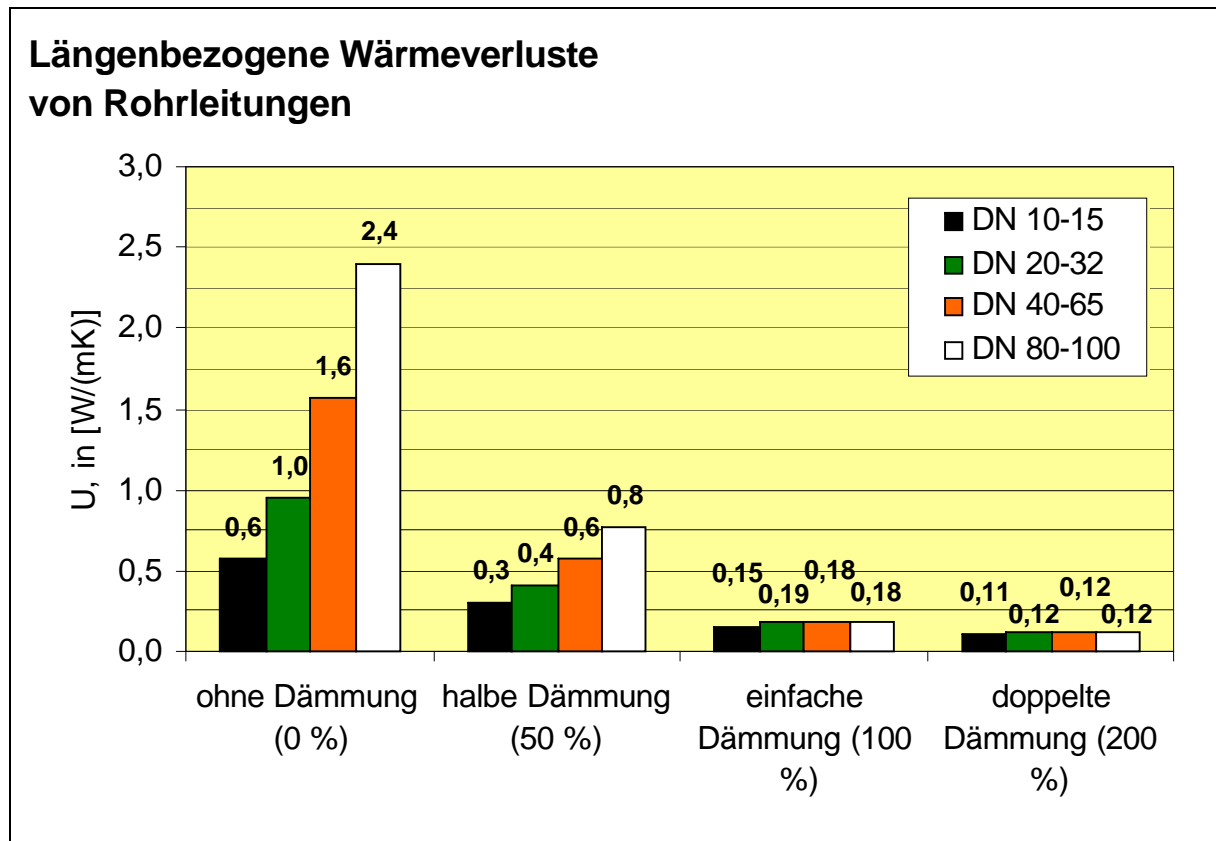


Bild 6-2 Längenbezogene Wärmeverluste von Leitungen

Die Heizleitungslängen im unbeheizten Bereich des Gebäudes sind vor Ort aufzunehmen. Die Abschätzung des längenbezogenen Wärmeverlustes kann je nach Zustand der Rohre mit Bild 5.2.7.4-1 (Abschnitt Wärmeverteilsysteme) erfolgen. Die Messzeit beträgt bei einer Monatsauswertung einen Monat, z.B. im Januar 744 h (31 d · 24 h/d). Die Umgebungstemperatur im unbeheizten Bereich kann angenommen (10 ... 13 °C) oder einmalig gemessen werden – und dann als konstant angesetzt werden.

Alle genannten Kennwerte lassen sich durch eine einmalige Begehung des Kellers ermitteln und dann auf alle Monate eines Jahres übertragen.

Die Netztemperatur kann nicht einfach übertragen werden. Sie ändert sich – sofern eine witterungsgeführte Regelung vorhanden ist – in jedem Monat. Eine Abschätzung kann mit Bild 6-3 oder nachfolgender Gleichung erfolgen. Grundlage für Bild und Gleichung ist die Annahme einer typischen Parallelverschiebung der Heizkurve von 5 K.

$$\vartheta_{\text{Netz},x} \approx (\vartheta_{\text{Netz},\text{mess}} - 25^\circ\text{C}) \cdot \frac{\vartheta_{a,x} - 20^\circ\text{C}}{\vartheta_{a,\text{mess}} - 20^\circ\text{C}} + 25^\circ\text{C}$$

Es werden bei der Begehung die Netztemperatur $\vartheta_{\text{Netz},\text{mess}}$ sowie die Außentemperatur $\vartheta_{a,\text{mess}}$ einmalig gemessen. Für einen Monat mit einer beliebigen Außentemperatur $\vartheta_{a,x}$ ergibt sich anhand der obigen Gleichung die angenäherte Netztemperatur $\vartheta_{\text{Netz},x}$.

Am Beispiel nach Bild 6-3 soll dies erläutert werden. Die Messung erfolgte an einem Tag im November. Es war $\vartheta_{a,mess} = 3,5\text{ °C}$ kalt außen und das Heizwasser hatte eine Temperatur von $\vartheta_{Netz,mess} = 43\text{ °C}$. Eingezeichnet in Bild (Schritte 1 und 2) ergibt sich ein Schnittpunkt. Eine charakteristische Linie (Schritt 3) wird durch diesen Schnittpunkt gelegt. Es wird vereinfacht angenommen, dass die Netztemperatur sich wegen der Witterungsgeführten Regelung entlang dieser Linie ändert.

Gesucht ist beispielsweise die mittlere Netztemperatur im Januar. Die Wetterdaten ergeben, dass eine mittlere Außentemperatur $\vartheta_{a,x} = -1,3\text{ °C}$ herrscht (Punkt 4). Es ergibt sich dann für den Januar eine angenäherte Netztemperatur $\vartheta_{Netz,x}$ von 48 °C (Punkt 5).

Jede andere näherungsweise oder genaue Bestimmung der Temperatur der Leitungen im Keller kann ebenfalls verwendet werden.

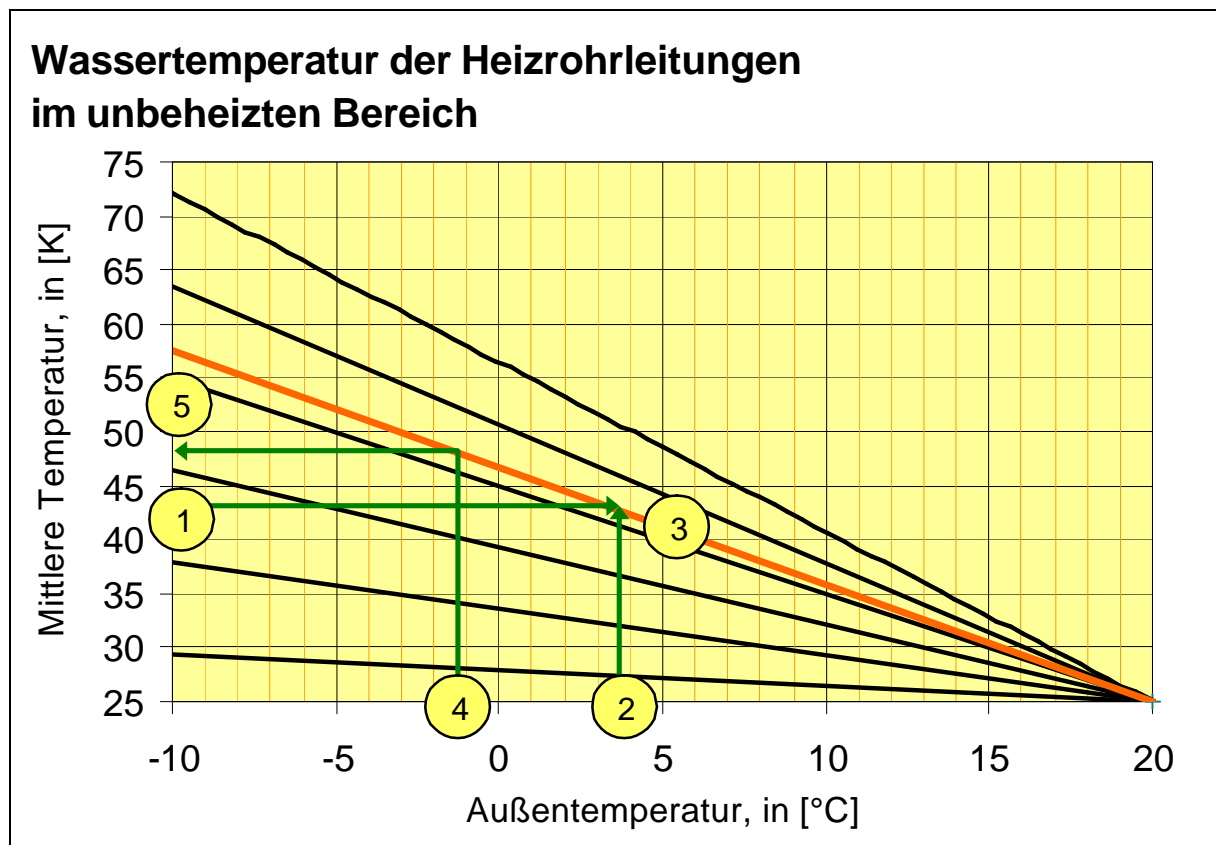


Bild 6-3 Hilfsdiagramm zur Abschätzung mittlerer Rohrnetztemperaturen

Beheizter Bereich

Eine Detailanalyse des beheizten Bereiches kann erfolgen, wenn die monatlichen Messwerte über der Außentemperatur in ein Diagramm (Bild 6-4) eingetragen werden.

Die mittlere Leistung in kW ergibt sich aus der am Wärmemengenzähler gemessenen Energiemenge (in kWh/Messzeitraum) geteilt durch die Länge des Messzeitraums (in h/Messzeitraum). Die exakte monatliche Datenerfassung mit einem Speicherwärmemengenzähler ist sinnvoll, da Wetterdaten in der Regel auch nur für gesamte Monate ausgewertet verfügbar sind.

Es ergibt sich ein charakteristisches Bild des beheizten Bereiches mit vier wichtigen Detailerkenntnissen: dem bezogenen Wärmeverlust H , der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} , der angenäherten maximalen Heizlast und dem Verhältnis der Wärmeverluste zu den Wärmegewinnen in der Kernheizzeit.

Zunächst ist durch die Monate der Kernheizzeit eine Ausgleichsgerade zu legen (Definition der Kernheizzeit siehe "Heizgrenztemperatur"). Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Außentemperatur

(Nullstelle) entspricht in etwa der Heizgrenztemperatur des Gebäudes – bei der die Heizleistung null wird.

Die Steigung der Geraden – Zunahme der Leistung in kW je Kelvin Abfall der Außentemperatur – nennt man bezogener Wärmeverlust oder bezogene Heizlast H. Es wird auch vom "Fingerabdruck des Gebäudes" oder der "Energiesignatur" gesprochen.

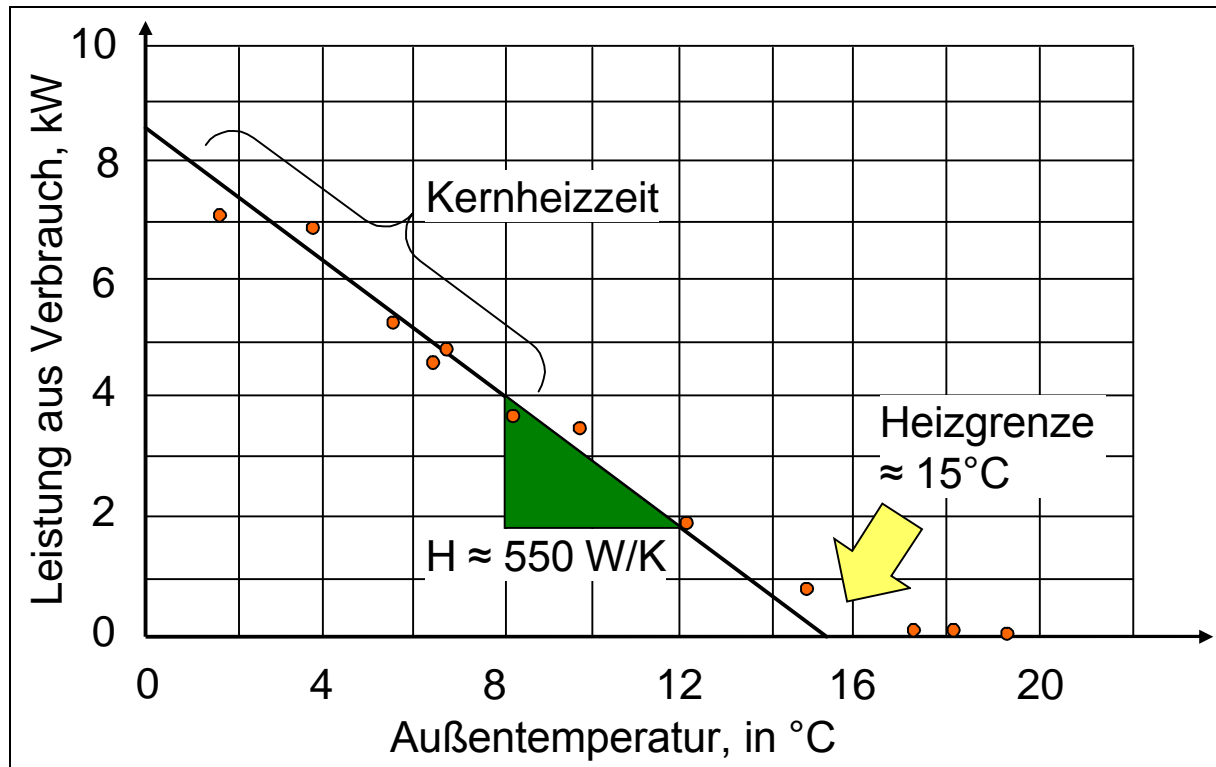


Bild 6-4 Kennwerte bei der Analyse von Baukörper und Nutzung

Die Steigung H in W/K entspricht der Summe aus Transmissionsheizlast H_T und Lüftungsheizlast H_V einer Energiebedarfsrechnung.

$$H = H_T + H_V = \sum U \cdot A + n \cdot V \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}}$$

Die aus Messdaten ermittelte bezogene Heizlast kann daher verwendet werden, um die theoretischen Annahmen zu Flächen und Wärmedurchgangskoeffizienten $\Sigma(U \cdot A)$ sowie Luftwechsel und Luftvolumen $n \cdot V$ zu überprüfen.

Da die Steigung H ein Maß für die Verluste aus Transmission und Lüftung ist, kann auch eine maximale Heizlast angenähert werden. Die bezogene Heizlast in W/K ist mit der maximalen Temperaturdifferenz bei der Auslegung zu multiplizieren. Steht das Gebäude in Potsdam, so sind dies beispielsweise 34 K (20 °C Innentemperatur und -14°C Außentemperatur).

$$\text{Heizlast} \approx H \cdot 34\text{K}$$

Für das Beispiel nach Bild 6-4 ergibt sich eine Heizlast von $550 \text{ W/K} \cdot 34 \text{ K} = 18,7 \text{ kW}$. Dieser Wert ist ein Anhaltswert für die maximal notwendige Erzeugerleistung. 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 im Gebäude frei werdende Fremdwärme kann aus den bisherigen Erkenntnissen ebenfalls abgeschätzt werden. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$\dot{Q}_{\text{Gewinne}} \approx \frac{Q_h}{t_{\text{HP}}} \cdot \frac{\vartheta_{i,m} - \vartheta_{\text{HG}}}{\vartheta_{\text{HG}} - \vartheta_{a,m}}$$

Die mittlere Leistung, die in der Kernheizzeit aus inneren und solaren Quellen frei wird \dot{Q}_{Gewinne} kann bestimmt werden, wenn die im beheizten Bereich verbrauchte Energiemenge einer Heizperiode Q_h , die Länge der Heizperiode t_{HP} , die mittlere Innen- und Außentemperatur in der Heizperiode $\vartheta_{i,m}$ und $\vartheta_{a,m}$ sowie die Heizgrenztemperatur bekannt sind.

Beispiel: Das Gebäude nach Bild 6-4 hat einen gemessenen Verbrauch von 24.000 kWh/a im beheizten Bereich. Die Heizgrenze liegt bei etwa 15 °C. Die Anzahl der Heiztage betragen nach Wetterdaten 230 d/a (5520 h/a), die mittlere Außentemperatur liegt bei 6,5°C. Die Innentemperatur wurde mit 20 °C angenommen. Es ergibt sich eine Leistung von:

$$\dot{Q}_{\text{Gewinne}} \approx \frac{24000\text{kWh/a}}{5520\text{h/a}} \cdot \frac{20^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}}{15^\circ\text{C} - 6,5^\circ\text{C}} = 2,56\text{kW}$$

Bei einem 250 m² großen Haus bedeuten dies 10 W/m². Den Kennwert kann man ebenfalls verwenden, um die Annahmen einer Bedarfsberechnung (innere Fremdwärme, solare Fremdwärme, Fremdwärme aus Anlagentechnik) zu prüfen.

Die Auswertung kann mit einigermaßen Genauigkeit auch durchgeführt werden, wenn von einem Wärmemengenzählermesswert die Verteilverluste im unbeheizten Keller nicht abgezogen werden. Auch wenn kein Wärmemengenzähler hinter dem Erzeuger vorhanden ist - und dies ist in der Praxis meist der Fall – lässt sich eine Auswertung machen; siehe nachfolgendes Beispiel.

Erzeuger

Soll ein Erzeuger anhand von Messwerten bewertet werden, so sind monatlich zugeführte und abgegebene Energiemengen zu dokumentieren. Das bedeutet, es sind mindestens zwei Zähler – vor und hinter dem Erzeuger – zu installieren. Für einen Kessel sollen die Detailkennwerte nachfolgend beschrieben werden.

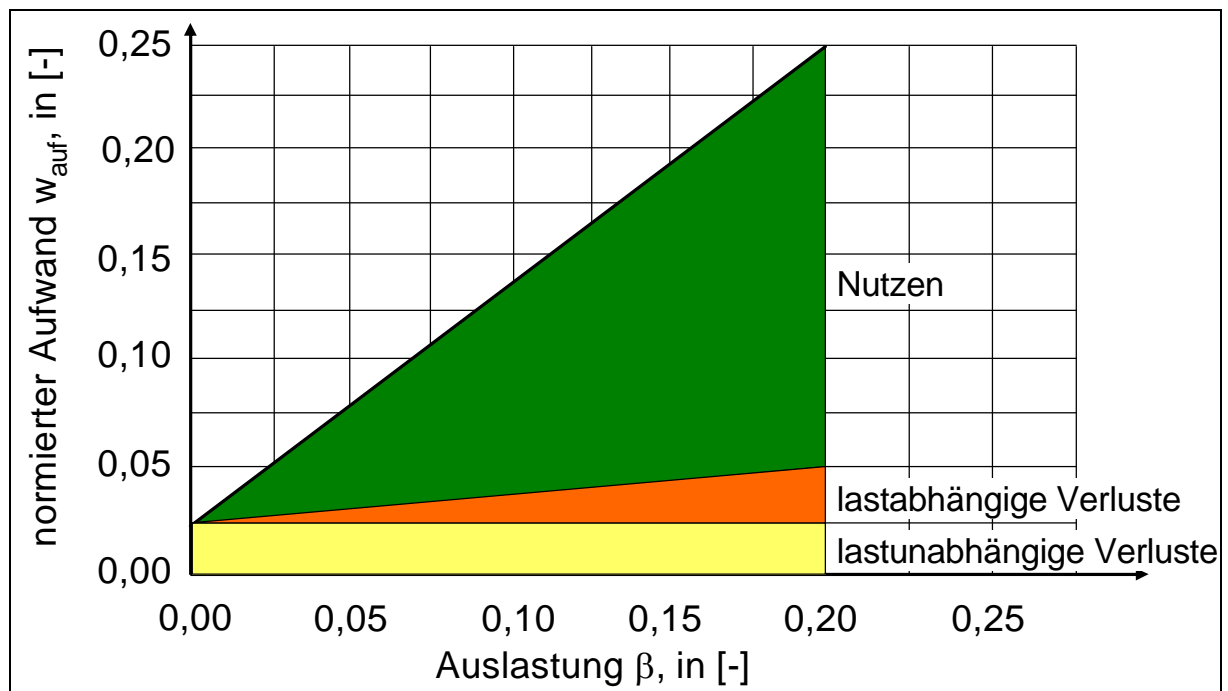


Bild 6-5 Verlustanteile bei einem Wärmeerzeuger

Die dem Kessel zugeführte Energie verlässt diesen als:

- Nutzenergieabgabe (Zählermesswert),
- weitgehend lastunabhängige Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste)
- lastabhängige Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste).

Dieser Zusammenhang ist in Bild 6-5 dargestellt.

Zur Erläuterung der Achsen: auf der X-Achse ist die Auslastung β des Erzeugers aufgetragen. Sie nimmt Werte zwischen 0 und 1 an und gibt an, wieviel Prozent der maximal abgebbaren Nutzenergie der Kessel abgibt. Eine Auslastung von null zeigt an, dass der Kessel nur in Bereitschaft steht, eine Auslastung von eins bedeutet einen Dauerbetrieb mit maximaler Kesselleistung. Liegen Messwerte vor, so kann mit der Kesselleistung \dot{Q}_K , der Messzeit t_{mess} und der in dieser Zeit vom Kessel abgegebenen Nutzwärme Q_{Nutz} für jeden Monat ein Wert β berechnet werden. Es gilt:

$$\beta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\dot{Q}_K \cdot t_{\text{mess}}}$$

Auf der Y-Achse ist der dafür notwendige Aufwand an Energie eingetragen. Die gemessene zugeführte Energie Q_{zu} , die Messzeit t_{mess} und die Kesselleistung führen zu einer Größe, die ebenfalls dimensionslos ist und normierter Aufwand w_{auf} genannt wird. Es gilt:

$$w_{\text{auf}} = \frac{Q_{\text{zu}}}{\dot{Q}_K \cdot t_{\text{mess}}}$$

Das Bild zeigt, ein Aufwand ist bereits vorhanden, auch wenn keine Nutzwärme benötigt wird. Je mehr Nutzwärme benötigt wird, desto größer der Aufwand. Bei einer Auslastung von $\beta = 0,20$ ergibt sich ein Aufwand von $w_{\text{auf}} = 0,25$. Dieser setzt sich zusammen aus dem Nutzen 0,20 sowie den lastabhängigen und unabhängigen Verlusten von zusammen 0,05.

Mit Messwerten kann auch für jeden Monat ein Wert für den normierten Aufwand bestimmt werden.

Die monatlichen Werte für β und w_{auf} werden in ein Diagramm analog 6-6 eingetragen und durch eine Ausgleichsgerade verbunden. In der Regel besteht zwischen den lastabhängigen Verlusten und der Nutzenergieabgabe ein näherungsweise linearer Zusammenhang. Entsprechend kann der Zusammenhang zwischen Nutzenergieabgabe und zuzuführender Energie (Feuerungswärmemenge) als einfache Ausgleichsgerade dargestellt werden. Tritt bei Brennwertkesseln erhöhte Kondensation auf, ergeben sich Abweichungen von der linearen Abhängigkeit.

Die Gerade hat zwei Charakteristika: die Verschiebung nach oben, ein Maß für die lastunabhängigen Verluste (Bereitschaftsverluste) und die Steigung, das Maß für die Effizienz der Energieumwandlung (Wirkungsgrad). Je steiler der Anstieg, desto ineffizienter die Energieumwandlung. Die Ausgleichsgerade hat folgende Gleichung:

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

Aus dem Verlauf der Geraden können zwei Kennwerte abgeleitet werden. Es gilt Folgendes für die Verschiebung und die Steigung:

$$\text{Verschiebung} = \frac{q_B}{\eta_K}$$

$$\text{Steigung} = \frac{1 - q_B}{\eta_K}$$

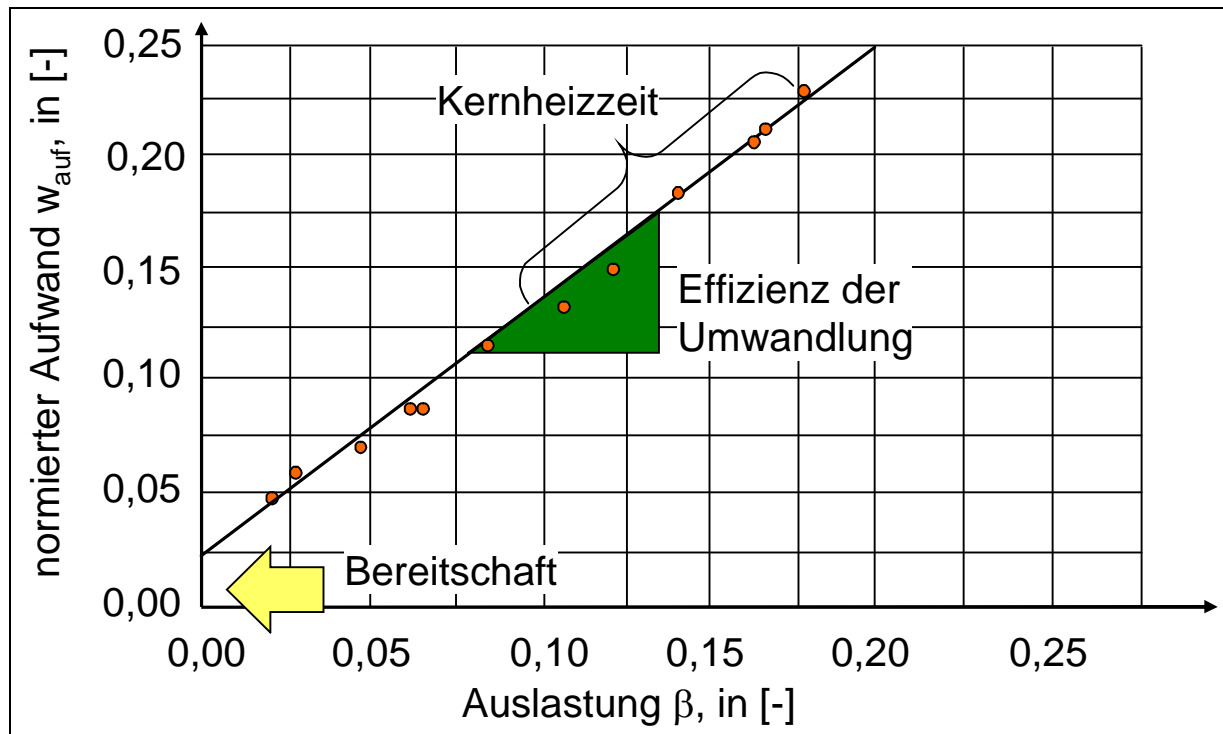


Bild 6-6 Analyse eines Wärmeerzeugers anhand von Messdaten

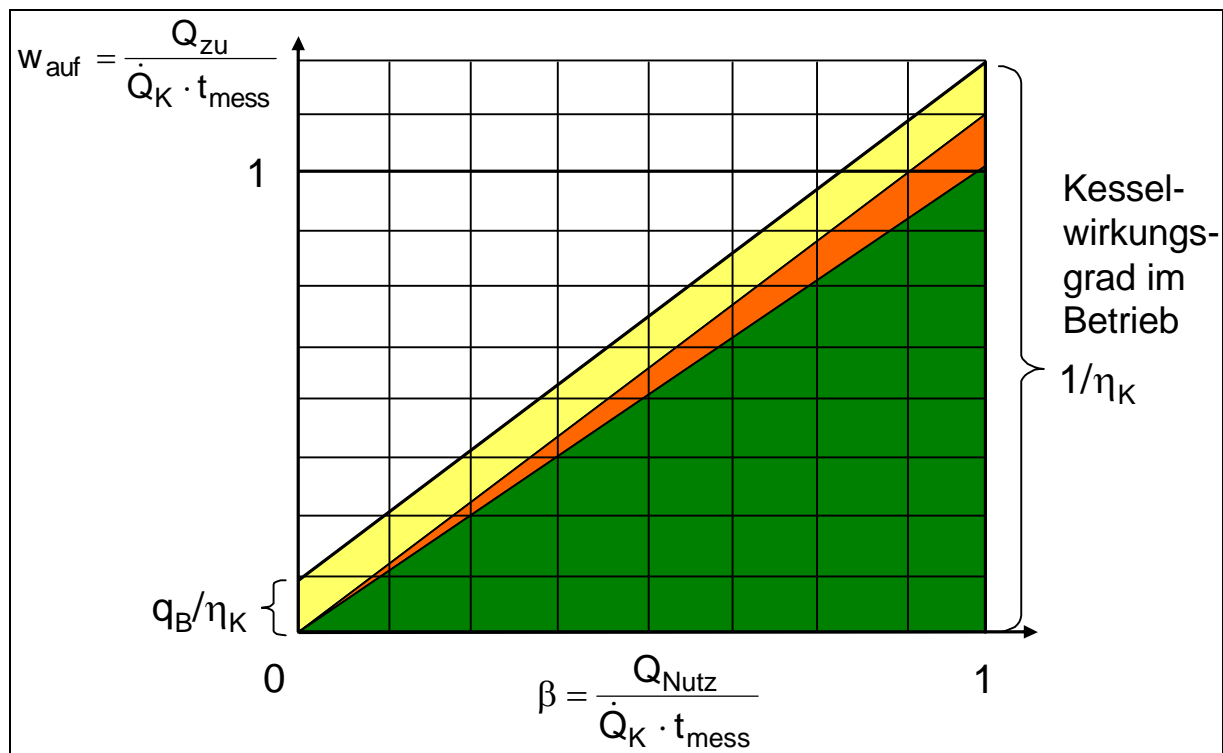


Bild 6-7 Kennwertbildung für einen Wärmeerzeuger

Wenn somit der Bereitschaftsverlust des Kessels sowie der Kesselwirkungsgrad bekannt sind, können Steigung und Verschiebung bestimmt werden. Bei der Analyse eines Kessels aus Messwerten ist es jedoch umgekehrt. Die Steigung und Verschiebung sind aus Messwerten bekannt und Bereitschaftsverlust sowie Wirkungsgrad gesucht. Dann gilt Folgendes:

$$\eta_K = \frac{1}{\text{Verschiebung} + \text{Steigung}}$$

$$\eta_B = \frac{\text{Verschiebung}}{\text{Verschiebung} + \text{Steigung}}$$

Im Diagramm kann der Wirkungsgrad bei voller Auslastung ($\beta = 1$) bestimmt werden. Ablesbar ist der Kehrwert.

Das heißt, folgender Ablauf bei der Analyse ergibt sich: die Auslastung und der normierte Aufwand werden für jeden Monat bestimmt, in ein Diagramm eingetragen. Steigung und Verschiebung einer Ausgleichsgeraden abgelesen und die beiden Effizienzmerkmale des Kessels berechnet.

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

$$\eta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{Q_{\text{zu}}} = \frac{\beta}{w_{\text{auf}}} = \frac{\beta}{\text{Steigung} \cdot \beta + \text{Verschiebung}}$$

Die Auftragung in einem Aufwand-Nutzen-Diagramm zeigt sehr gut, wie der Nutzungsgrad bei geringerer Auslastung immer schlechter wird.

Anwendungsbeispiel

Nachfolgend werden beide Bewertungsverfahren (Detailanalyse für beheizten Bereich und Erzeuger) an einem schwierigen, aber praxisnahen Beispiel erläutert.

Monat			Dezember	Februar
Messzeit	t_{mess}		744 h (31 d)	672 h (28 d)
Ölverbrauch	B		2082 l	1344 l
dem Erzeuger zugeführte Energie	Q_{zu}	$= B \cdot 10,6 \frac{\text{kWh}}{\text{l}}$	22.069 kWh	14.246 kWh
normierter Aufwand für den Erzeuger	w_{auf}	$= \frac{Q_{\text{zu}}}{t_{\text{mess}}}$	0,330	0,236
Auslastung des Erzeugers	β	$= \frac{w_{\text{auf}} - \text{Verschiebung}}{\text{Steigung}}$	0,269	0,187
Nutzungsgrad brennwertbezogen	η_{HS}	$= \frac{\beta}{w_{\text{auf}}}$	0,815	0,792
Nutzungsgrad heizwertbezogen	η_{Hi}	$= \eta_{\text{HS}} \cdot 1,06$	0,864	0,840
Nutzleistungsabgabe des Kessels	\dot{Q}_{Nutz}	$= \beta \cdot \dot{Q}_{\text{K}}$	24,2 kW	16,8 kW
Nutzwärmeabgabe des Kessels	Q_{Nutz}	$= \dot{Q}_{\text{Nutz}} \cdot t_{\text{mess}}$	18005 kWh	11290 kWh
Außentemperatur	ϑ_a		0 °C	5 °C

Tabelle 6-1 Zwischenergebnisse bei der Detailanalyse eines Gebäudes

Für ein Gebäude Baujahr 1975 mit einer beheizten Fläche von 450 m² sind nur die Brennstoffdaten bekannt. Es liegen aber monatliche Verbrauchswerte vor. Es fehlt der Zähler nach dem Ölkessel. Dieser mit Baujahr 1975 hat nach Typenschild eine Kesselleistung von 90 kW und laut Schornsteinfegermessung einen Abgasverlust von $q_{A,Hi} = 7\%$. Aus einer Typologie (z.B. [7]) sind Strahlungs- und Bereitschaftsverluste für den Kessel bestimmt worden $q_S = q_B = 2\%$. Die Warmwasserbereitung erfolgt elektrisch.

Soweit die Randdaten, die Rechenergebnisse sind in Tabelle 6-1 nachzuvollziehen. Die gesamte Bewertung des Erzeugers erfolgt mit Brennwertbezug. Dies wäre beim vorliegenden alten Kessel nicht notwendig, soll aber beispielhaft erfolgen, damit das Verfahren für alle Kessel – auch Brennwertkessel – anwendbar ist.

Zunächst werden die in den beiden Monaten gemessenen Ölverbrauchswerte in Energiemengen umgerechnet. Dazu wird hier der Brennwert verwendet. Der normierte Aufwand w_{auf} wird für beide Monate berechnet.

Da mangels Wärmemengenzähler die zugehörigen Belastungen β nicht vorliegen, kann die Gerade nicht gezeichnet werden. Sie wird daher aus Steigung und Verschiebung konstruiert.

Dazu sind einige Vorarbeiten notwendig. Alle Erzeugerkennwerte müssen vom üblichen Heizwertbezug (H_i) auf Brennwertbezug (H_s) umgerechnet werden.

- Abgasverlust: $q_{A,Hi} = 0,07$ $q_{A,Hs} = \frac{(H_s / H_i - 1) + q_{A,Hi}}{H_s / H_i} = \frac{(1,06 - 1) + 0,07}{1,06} = 0,123$
- Strahlungsverlust: $q_{S,Hi} = 0,02$ $q_{S,Hs} = \frac{q_{S,Hi}}{H_s / H_i} = \frac{0,02}{1,06} = 0,019$
- Bereitschaftsverlust: $q_{B,Hi} = 0,02$ $q_{B,Hs} = \frac{q_{B,Hi}}{H_s / H_i} = \frac{0,02}{1,06} = 0,019$

Der Kessel hat – unter Verwendung der Schornsteinfegermessung für den Abgasverlust und der Typologie für den Strahlungsverlust einen brennwertbezogenen Wirkungsgrad von:

$$\eta_{K,Hs} = 1 - q_{A,Hs} - q_{S,Hs} = 1 - 0,123 - 0,019 = 0,858.$$

Die Kennwerte des normierten Aufwandes betragen:

$$\text{Verschiebung} = \frac{q_{B,HO}}{\eta_{K,HO}} = \frac{0,019}{0,858} = 0,022$$

$$\text{Steigung} = \frac{1 - q_{B,HO}}{\eta_{K,HO}} = \frac{1 - 0,019}{0,858} = 1,143$$

Mit diesen Kennwerten wird die Belastung β für beide Monate ausgerechnet. Der brennwertbezogene und der heizwertbezogene Nutzungsgrad ergeben sich für jeden Monat. Gleichungen siehe Tabelle 6-1.

Aus der Belastung β kann mit der Kesselleistung die mittlere Nutzleistungsabgabe des Kessels bestimmt werden. Sie beträgt im Dezember 24,2 kW und im Februar 16,8 kW.

Es wird vereinfachend angenommen, dass die Leistung, die der Kessel abgibt, die Energiemenge ist, die dem beheizten Bereich zugeführt wird (Verteilverluste im Keller vernachlässigt). Zwischen Dezember und Februar steigt die mittlere Monatstemperatur um 5 K (von 0°C auf 5°C). Die Leistung sinkt um 7,4 kW. Die bezogene Heizlast H beträgt demnach:

$$H = \frac{\Delta \dot{Q}_{zu}}{\Delta \vartheta_a} = \frac{(24,2 - 16,8) \text{ kW}}{(5 - 0) \text{ K}} = 1,48 \frac{\text{ kW}}{\text{ K}}$$

Die maximale Heizlast und die Heizgrenze werden angenähert zu:

$$\dot{Q}_{\max} = H \cdot \Delta \vartheta_{\max} = 1,48 \frac{\text{kW}}{\text{K}} \cdot 34\text{K} = 50,3\text{kW}$$

$$\vartheta_{\text{HG}} = \frac{24,2\text{kW}}{1,48\text{kW/K}} + 0^\circ\text{C} = 16,4^\circ\text{C}$$

Damit ist die Detailanalyse vollständig: trotz fehlender Zähler sind Merkmale der Effizienz des Erzeugers (Bereitschaft und Wirkungsgrad) und Kennwerte des beheizten Bereichs (H, Heizgrenze, maximale Heizlast) abgeschätzt.

Bild 6-8 zeigt das Vorgehen noch einmal grafisch. Im ersten Schritt wird bei der Auslastung $\beta = 1$ der Kehrwert des Kesselwirkungsgrades, im zweiten Schritt bei einer Auslastung von $\beta = 0$ die Verschiebung in das Bild eingetragen.

Die Gerade des normierten Aufwandes für den Erzeuger wird gezeichnet (Schritt 3). Mit den beiden Werten für den normierten Aufwand im Dezember und Februar (Schritt 4) ergeben sich die Belastungen β (Schritt 5).

Die Belastungen der Monate führen zu mittleren Nutzleistungen und damit zur bezogenen Heizlast H im sechsten Schritt.

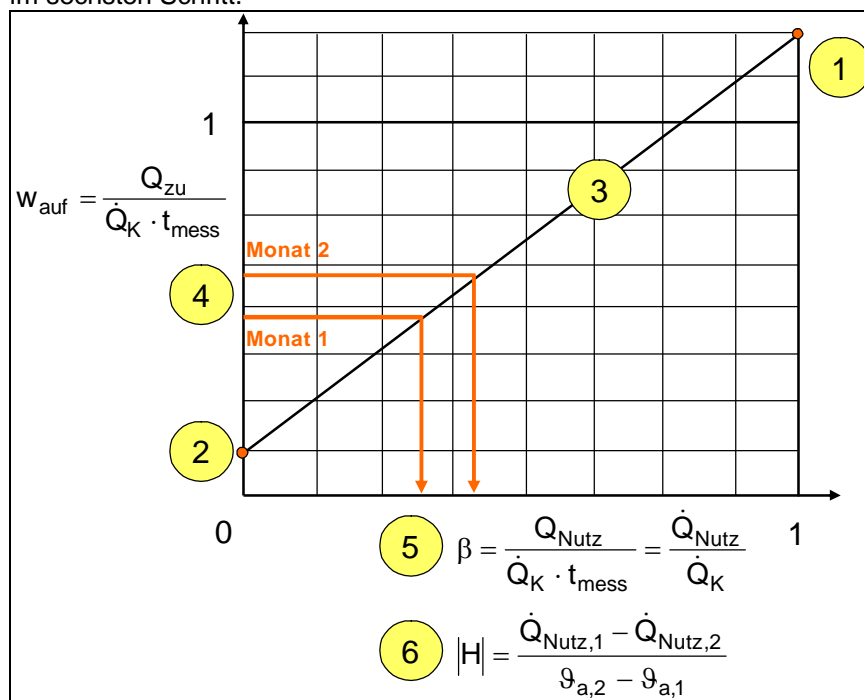


Bild 6-8 Ablauf bei der Detailanalyse eines Gebäudes

7. Quellen

- [0] Jagnow, Kati / Wolff, Dieter; Auswertung von Verbrauchsdaten; 3 Teile; Gebäudeenergieberater; Nr. 04, 05 und 06/2006; Gentner, Stuttgart; 2006.
- [1] Jagnow, Kati / Horschler, Stefan / Wolff, Dieter; Die neue Energieeinsparverordnung 2002; Fachbuch zur Energieeinsparverordnung und alternativen Bilanzverfahren; Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002.
- [2] Jagnow, Kati; Den Energieverbrauch vergleichbar machen; TGA Fachplaner; Nr. 11/2002; Gentner; Stuttgart; 2002.
- [3] Jagnow, Kati; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; 2004.
- [4] Wolff, Dieter / Budde, Jörg / Teuber, Peter / Jagnow, Kati; Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Brennwertkesseln; Abschlussbericht zum DBU Projekt; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Wolfenbüttel; 2003.
- [5] Wolff, Dieter / Jagnow, Kati; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [6] Wolff, Dieter / Jagnow, Kati; Optimus; Abschlussbericht zum DBU Projekt – Technischer Teil; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (noch unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2005.
- [7] Wolff, Dieter / Jagnow, Kati; So wird es keinen Energiepass ohne Fehler geben; TGA Fachplaner; Nr. 03/2005; Gentner; Stuttgart; 2005.
- [8] Wolff, Dieter / Teuber, Peter / Jagnow, Kati; Effizienz von Wärmeerzeugern; TGA Fachplaner; Nr. 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [9] Deutscher, P. und Rouvel, L.; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; 2 Teile; HLH; Nr. 7 und 8/2003; VDI; Düsseldorf; 2003.
- [10] DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth-Verlag; Berlin; 2000 und 2003.
- [11] HeizKoV; Heizkostenverordnung; vom 23.02.1981 (BGBl. I S. 261; BGBl. III 754-4-4); Neufassung vom 20.01.1989 (BGBl. I S. 115).
- [12] Loga, T. et al; Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2001.
- [13] Loga, Tobias und Imkeller-Benjes, Ulrich; Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt und IMPLUS Programm Hessen; Darmstadt; 1997.
- [14] VDI 3807; Energieverbrauchskennwerte für Gebäude; Blatt 1: Grundlagen, Blatt 2: Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, Blatt 3: Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude und Grundstücke; 1994, 1998 und VDI; 2000.
- [15] Wetterdatenzusammenstellung des IWU (www.iwu.de) auf Basis der Daten des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de)