

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Dipl.-Ing.(FH) Kati Jagnow
Dipl.-Ing.(FH) Peter Teuber

Vorschläge zur Umsetzung der EU-Richtlinie: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden Effizienz von Wärmeerzeugern

Einführung: Projektvorstellung

Im Fachaufsatz zur "Energieanalyse aus dem Verbrauch E-A-V" [3] wurden die Vorzüge einer mit Wärmemengenzählern durchgeführten Verbrauchsanalyse zur Ermittlung von Gebäudekennwerten beschrieben. Der Schwerpunkt der Ausführungen lag auf der messtechnischen Bestimmung der Kennwerte, die den beheizten Bereich beschreiben sowie bei der Bewertung der Wärmeverluste von Rohrleitungen im unbeheizten Bereich des Gebäudes.

Wie eine kürzlich abgeschlossene, von der DBU geförderte Feldstudie zeigt, lassen sich mit den gleichen Messeinrichtungen auch alle wichtigen Kennwerte fossil beheizter Wärmeerzeuger ableiten [1]. Über die Ergebnisse dieses Projektes und die daraus abgeleiteten Vorschläge soll hier schwerpunktmäßig berichtet werden.

Auf Basis des Verfahrens des normierten Energieaufwands [12] ergeben sich durch Korrelation von gemessenen Nutz- (Output) Energieabgaben und Endenergie- (Input) mengen der Wärmeerzeuger bei verschiedenen Belastungen wichtige Erkenntnisse zur Bewertung von Kesseln im Wechselspiel unterschiedlicher Randbedingungen des Gebäudes und des Heizsystems.

Aus den Ergebnissen des Feldprojektes lassen sich Anforderungen für einen effizienten Betrieb von Brennwertkesseln ableiten, die bei der Umsetzung der EU-Richtlinie "Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden" berücksichtigt werden sollten. Die hier am Beispiel der Brennwertkessel aufgezeigten Zusammenhänge lassen sich auch auf andere Wärmeerzeuger übertragen.

Wichtige Ergebnisse aus den Feldmessungen

Im Rahmen des Projektes "Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel" wurden 60 Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln und 7 mit Gas-Niedertemperaturkesseln mit zusätzlichen Wärmemengenzählern ausgestattet, so dass die zugeführte Energie (Aufwand) über die Gasmenge und die abgeführte Energie (Nutzen) über die Wärmemengenzähler erfasst werden konnte.

Die Auswertung des Messprogramms sollte primär die Frage beantworten, ob für die Bewertung von Wärmeerzeugern häufig herangezogene Normnutzungsgrade von bis zu 109 % (H_u bezogen) im Praxisbetrieb erreicht werden und ob der Jahresnutzungsgrad des Kessels als alleiniges Beurteilungskriterium einer Heizungsanlage für die energetische Effizienz ausreicht.

Die Analyse der Feldmessungen zeigt eine mehr oder weniger ausgeprägte Abhängigkeit des realen Nutzungsgrades von Merkmalen des von den Wärmeerzeugern versorgten Heizsystems, v. a.:

- von der hydraulischen Einbindung mit oder ohne ein Überströmventil zur Gewährleistung vom Aufstellort des Wärmeerzeugers im beheizten oder unbeheizten Bereich
- eines Mindestkesselwasservolumenstromes und
- von den am Kesselregler eingestellten Vorlauftemperaturen,

Weiterhin wurde versucht, Ursachen für erhöhte Energieverluste bei den untersuchten Anlagen zu lokalisieren und daraus Auslegungsempfehlungen für zukünftig einzusetzende Geräte- und Anlagentechnik abzuleiten.

Die gemessenen Wärmeverbrauchswerte zeigen, dass der Großteil der Gebäude sehr geringe Energiebedarfswerte aufweist, so dass auch die Einsparpotentiale begrenzt sind. Hervorzuheben sind jedoch die um etwa 9 kWh/(m² a) erhöhten Verluste von Systemen mit Zirkulationsleitungen zur Trinkwarmwasserverteilung gegenüber Systemen ohne Zirkulation.

Als eines der wichtigsten Ergebnisse konnte eine unmittelbare Abhängigkeit des Jahresnutzungsgrades vom Wärmeverbrauch und von der mittleren Kesselauslastung festgestellt werden. Hier ergeben sich die größten Abweichungen zwischen dem real und dem auf Prüfständen gemessenen Normnutzungsgrad.

Während der Normnutzungsgrad von einer mittleren Belastung von 38,8 % ausgeht, liegt die mittlere Belastung aller im Projekt eingesetzten Brennwertkessel bei ca. 9 %. Hauptgründe für diese hohe Abweichung liegen:

- in der Ableitung des Normnutzungsgrades aus Belastungen nach dem Verlauf der mittleren Tagesaußentemperaturen mit geringfügiger Berücksichtigung von Heizpausen und Fremdwärmegewinnen,
- in der Gleichsetzung von Kesselnennleistung und Gebäudeheizlast nach DIN 4702-8, obwohl im Einfamilienhausbereich die Kesselnennleistung von den Leistungsanforderungen der Trinkwarmwasserverbereitung bestimmt wird.

Die Kessel sind daher gegenüber der Gebäudeheizlast um etwa das zwei- bis vierfache überdimensioniert.

Der Nutzungsgrad der Anlagen nimmt mit sinkendem Wärmeverbrauch ab, wobei jedoch die absoluten Kesselverluste geringer werden. Der Nutzungsgrad sollte deshalb nicht das einzige Kriterium zur Beurteilung eines Wärmeerzeugers sein. Eine weiterführende Analyse der Ergebnisse nutzt die Bewertung der Effizienz von Wärmeerzeugungsanlagen mit der Größe: "Normierter Aufwand in Abhängigkeit von der mittleren Kesselbelastung". Sie wird unten näher erläutert.

Weiterhin zeigt die Untersuchung, dass gleiche Wärmeerzeuger in verschiedenen Anlagen bei annähernd gleicher Wärmeabnahme unterschiedliche Jahresnutzungsgrade aufweisen. Für die Effizienz der Heizungsanlage ist die Qualität des Wärmeerzeugers nur zum Teil verantwortlich; einen mindestens gleich großen Einfluss haben das Nutzerverhalten, die Reglereinstellung und die hydraulische Einbindung des Wärmeerzeugers in der Anlage.

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Messergebnisse dargestellt. Die Jahresnutzungsgrade wurden aus Jahresmesswerten gebildet. Nähere Erläuterungen zu den Tabellenwerten sind in den entsprechenden Kapiteln des im Internet veröffentlichten Berichtes [1] zu finden.

	Einheit	BW-Kessel	NT-Kessel
Zahl der Anlagen		60	7
Jahresnutzungsgrad	% (H _U)	96,4	83,4
Jahresnutzungsgrad	% (H _O)	86,6	75,3
Spez. Kesselverluste (H _O)	kWh/(m ² a)	15,9	37,8
Stromverbrauch	kWh/(m ² a)	2,91	1,64

Tabelle 1 Durchschnittliche gemessene Jahresnutzungsgrade, Kesselverluste und Hilfsenergien [1]

Abhängig von den Systemvoraussetzungen schwanken die auf den oberen Heizwert bezogenen Kesselverluste in neuen Einfamilienhäusern zwischen ca. 5 bis 35 kWh/(m²a) bei gleicher Qualität der eingesetzten Brennwertgeräte. Von Einfluss sind:

- die Nutzwärmeabnahme,
- die Fläche des Gebäudes,
- der Aufstellort des Kessels,
- die hydraulische Einbindung mit oder ohne integrierte Pumpe sowie mit oder ohne Einbau eines Überströmventils,
- die Einstellung der Kesseltemperaturregelung und
- das eingesetzte Heizsystem (Heizkörper oder Flächenheizung)
- sowie weitere Anlagenmerkmale.

Wie den Angaben aus Tabelle 1 entnommen werden konnte, sind die Ergebnisse der Feldmessungen im Projekt "Brennwertanlagen" großteils brennwertbezogen angegeben.

Bei Angaben von Wirkungs- und Nutzungsgraden wird von der Heizungs- und Gasversorgungsbranche bis heute leider noch immer der Bezug auf den unteren Heizwert H_U (bzw. heute besser europäisch H_I) bevorzugt. Dadurch entstehen - speziell für Brennwertkessel - unsinnige Effizienzbewertungen: "Nutzungsgrade bis 110 %". Dies suggeriert, dass einem normalen, nicht-regenerativen Wärmeerzeuger mehr Nutzenergie entnommen werden kann, als an Brennstoffenergie eingesetzt wird. Dies ist selbstverständlich nicht der Fall, außerhalb des Fachs aber praktisch nicht vermittelbar. Erste Schritte hin zum Brennwertbezug sind z. Z. in der deutschen und internationalen Normung absehbar.

Der konsequente Bezug auf den oberen Heizwert bzw. auf den Brennwert H_O (bzw. heute besser europäisch H_S) wurde gewählt, damit keine Nutzungsgrade über 100 % und somit keine "negativen Kesselverluste" (d.h. der oben beschriebene "regenerative Effekt") entstehen.

Abkehr vom Nutzungsgrad: andere Darstellung der Verlustkennwerte

Seit Einführung des Niedertemperaturkessel in den 1970er Jahren wurde in einer nicht mehr überschaubaren Zahl von Fachveröffentlichungen versucht, die Effizienz der Energieausnutzung von gas- bzw. ölbefeuerten Wärmeerzeugern mit dem Begriff "Nutzungsgrad" als Verhältnis von abgegebener Nutzenergie und zugeführter Brennstoffenergie zu bewerten:

$$\eta = \frac{Q_{Nutz}}{V_B \cdot H_U}$$

- η : Nutzungsgrad
- Q_{Nutz} : vom Kessel abgegebene Wärmemenge
- V_B : zugeführte Brennstoffmenge
- H_U : unterer Heizwert

Der Nutzungsgrad ist dabei vom Wirkungsgrad zu unterscheiden. Dieser bewertet nur die Effizienz im Betrieb, d.h. bei laufendem Brenner, wenn lediglich Wärmeverluste über die Kesseloberflächen (Strahlungsverluste) und Abgasverluste - abhängig von der Abgastemperatur und dem eingestellten Luftüberschuss - auftreten.

Im realen Betrieb über einen längeren Zeitraum, z. B. für den Jahresnutzungsgrad über ein Jahr, sind zusätzlich Stillstands- und Bereitschaftsverluste zu berücksichtigen. Diese werden durch Wärmeverluste über die Kesseloberflächen, durch innere Auskühlverluste des Feuer-raumes wegen des Schornsteinzugs bei Brennerstillstand, durch die Vorspülverluste vor dem

Brennerstart und vor der Zündung sowie durch die Anfahrverluste bis zum Erreichen stabiler Verbrennungswerte verursacht.

Es gibt jedoch auch andere Darstellungsformen für die Verlustkennwerte, gebräuchlich ist neben dem Nutzungsgrad η die Aufwandszahl e , beide aufgetragen über der Kesselauslastung - siehe Bild 1a und b. Beide Kennwerte sind bezogene Größen, d.h. sie geben keine Auskunft über die absolute Höhe der Verluste. Die Darstellung von Nutzungsgrad und Aufwandszahl als Funktion der Auslastung ergibt stark gekrümmte Verläufe, v. a. im Bereich geringer Kesselbelastungen.

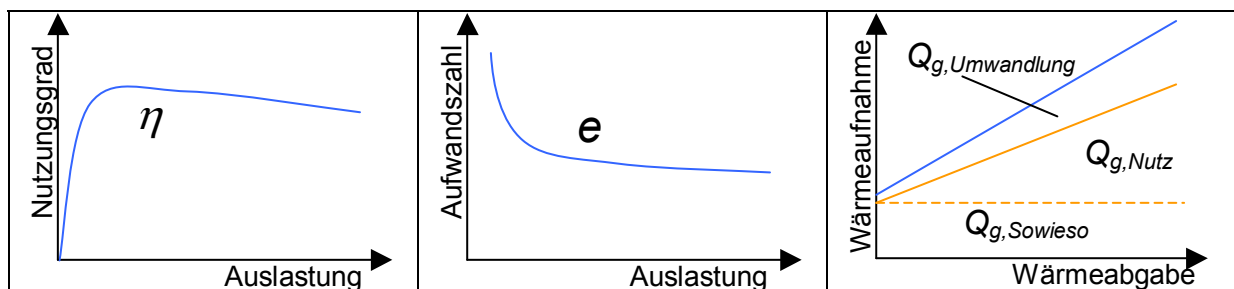


Bild 1 Nutzungsgrad (a), Aufwandszahl (b), absolute Verluste (c) [8]

Alternativ können zwei absolute Kennwerte verwendet werden, siehe Bild 1c. Die wichtigsten Verlustkennwerte von Heizkesseln sind Abgas- und Abstrahlungsverluste (besser Oberflächenverluste) sowie Verluste der inneren Auskühlung. Die Kennwerte können zu Verlusten während des Betriebs (Abgas- und Abstrahlungsverluste) und Betriebsbereitschaftsverlusten (Auskühlung und Abstrahlungsverluste) zusammengefasst werden.

So kann zum einen der von der Wärmeabgabe relativ unabhängige Kennwert für die sowieso vorhandenen Bereitschaftswärmeverluste $Q_{g,Sowieso}$ angegeben werden. Vereinfacht wird hier angenommen, dass die zugehörige Verlustleistung unabhängig vom Betriebszustand (Brenner ein oder aus) etwa konstant ist.

Der zweite Wert, $Q_{g,Umwandlung}$, beschreibt die Verluste bei der Energieumwandlung der Nutzwärme und der sowieso vorhandenen Kesselverluste, d.h. er entspricht mittleren Abgas- und Abstrahlungsverlusten. Der Zusammenhang dieser Größen ist praktisch linear und kann im besten Fall mit zwei Messpunkten reproduziert werden.

Aus den absoluten Werten der Wärmeerzeugerverluste können normierte Verluste abgeleitet werden. Das von Deutscher/Rouvel [12] veröffentlichte Verfahren des normierten Energieaufwands soll hier in seiner praktischen Anwendung näher erläutert werden. Es wird z. Z. für die Normung (DIN 18599) zur EU-Gebäuderichtlinie 2006 präferiert.

Die einer Kesselanlage zuzuführende Energie lässt sich in der Regel in drei Teile aufteilen, siehe Bild 2.

- die Nutzenergieabgabe, die von den zu versorgenden Verbrauchern angefordert wird,
- die lastunabhängigen Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste)
- die lastabhängigen Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste).

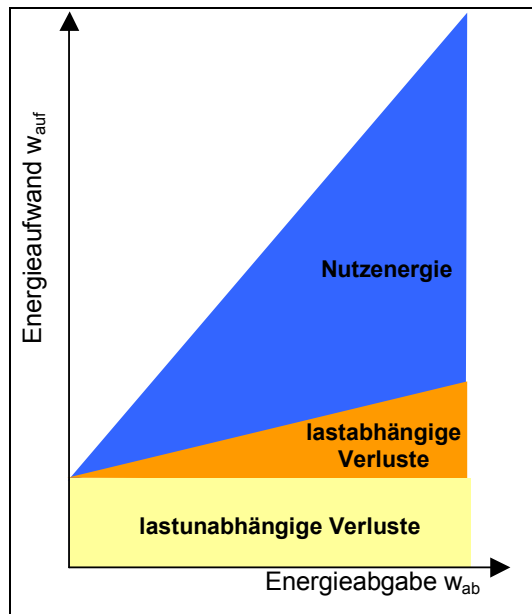


Bild 2 Aufteilung der dem Kessel zugeführten Energie (nach [12])

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.

Ableitung des normierten Energieaufwands

Der Zusammenhang von Aufwand und Nutzen eines Erzeugers kann normiert werden, wenn man sowohl die aufgenommene Feuerungswärmemenge $Q_{Feuerung}$ als auch die Nutzenergieabgabe Q_{Nutz} des untersuchten Wärmeerzeugers auf die maximal mögliche Nennenergieabgabe (Produkt aus Kesselnennleistung und Gesamtlaufzeit) bezieht.

$$w_{auf} = \frac{Q_{Feuerung}}{\dot{Q}_K \cdot t_B}$$

$$\beta = \frac{Q_{Nutz}}{\dot{Q}_K \cdot t_B}$$

- w_{auf} : normierter Energieaufwand
- $Q_{Feuerung}$: Feuerungswärmeaufnahme des Kessels
- β : Auslastung
- Q_{Nutz} : Nutzenergieabgabe des Kessels
- \dot{Q}_K : Kesselnennleistung
- t_B : Betriebszeit

Die beiden entstehenden Terme sind der normierte Energieaufwand w_{auf} und die Kessel-Auslastung β . Es ergibt sich der Zusammenhang zwischen dem normierten Energieaufwand und der Auslastung mit folgender linearer Funktion:

$$W_{auf}(\beta) = W_{auf,0} + a \cdot \beta$$

- $W_{auf}(\beta)$: normierter Energieaufwand je nach Belastung
- $W_{auf,0}$: normierter Energieaufwand bei Nulllast
- a : Verhältnissfaktor (Umwandlungsfaktor)
- β : Belastung

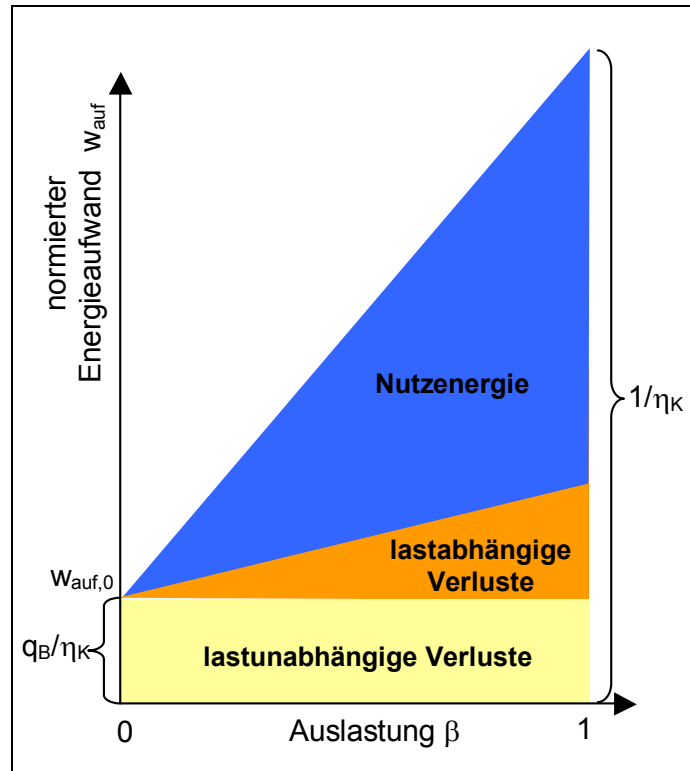


Bild 3 Bekannte Kennwerte

Entsprechend Bild 3 entspricht der Achsenabschnitt der y-Achse $w_{auf,0}$ den Bereitschaftsverlusten dividiert durch den Kesselwirkungsgrad. Für den Betriebsbereitschaftsverlust ergibt sich dann:

$$q_B = \eta_K \cdot W_{auf,0}$$

- q_B : Bereitschaftsverluste
- $W_{auf,0}$: normierter Energieaufwand bei Nulllast
- η_K : Kesselwirkungsgrad

Der mittlere Kesselwirkungsgrad (Umwandlungswirkungsgrad) ergibt sich aus der Steigung der Geraden, d.h. beispielsweise dem Verhältnis von Nutzen zu Aufwand bei einer Auslastung von $\beta = 100\%$. Es gilt:

$$\eta_K = \frac{\text{Kesselleistung}}{\text{Feuerungsleistung}} = \frac{\Delta\beta}{\Delta W_{auf}} = \frac{1}{W_{auf}(\beta = 1)}$$

- η_K : Kesselwirkungsgrad
- $w_{auf}(\beta = 1)$: normierter Energieaufwand bei Vollast

Mit Hilfe dieses Verfahrens konnten alle im Projekt gemessenen Nutzwärmemengen, unabhängig vom jeweiligen Messzeitraum, auf die "normierte Energieabgabe β " und alle gemessenen Feuerungswärmemengen auf den "normierten Energieaufwand w_{auf} " umgerechnet werden. Dabei wurden Monatswerte ausgewertet und die zugeführte Brennstoffenergie Q_B auf den Brennwert bezogen. Die maximal mögliche Kesselnutzwärme ergibt sich als Produkt der Kesselnennleistung und der Betriebszeit, d.h. des Messzeitraums.

Aus den Geradengleichungen des normierten Energieaufwandes wurden die mittleren Bereitschaftsverluste und mittleren Kesselwirkungsgrade extrahiert.

Durchschnittswerte aller untersuchten Anlagen

Werden alle Brennwertkesselanlagenlagen – unabhängig von ihren speziellen Merkmalen gemeinsam ausgewertet, ergibt sich das Diagramm in Bild 4. Aus der Ausgleichsgeraden ergibt sich für $\beta = 0$ ein durchschnittlicher Betriebsbereitschaftsverlust von $q_B = 0,47 \%$ für alle Brennwertanlagen. Der mittlere Kesselwirkungsgrad beträgt 90% .

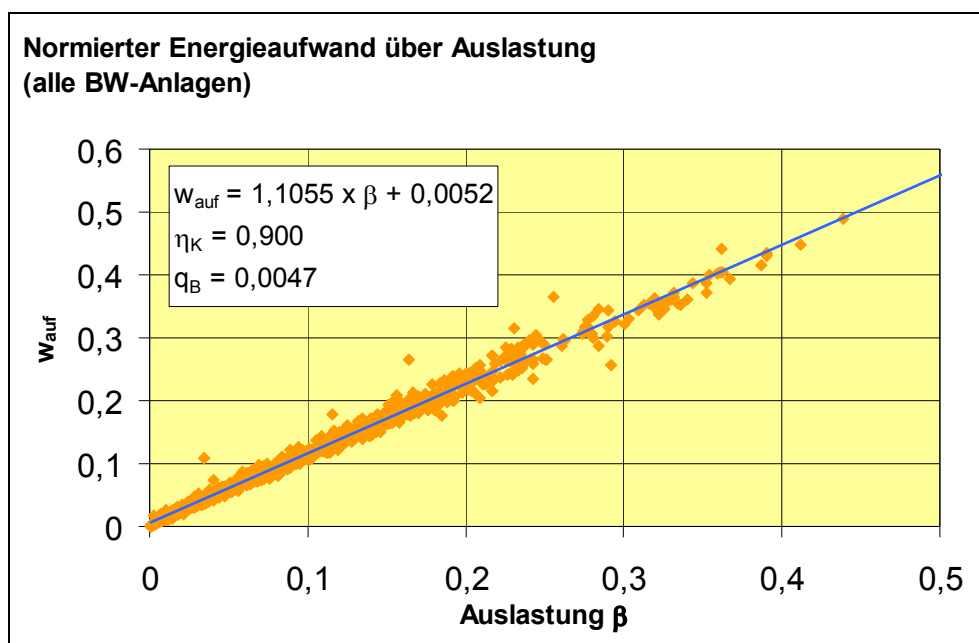


Bild 4 Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe [1]

Neben den beiden Eckpunkten der Auswertung kann zusätzlich ein mittlerer normierter Energieaufwand bestimmt werden. Hierfür wird in die Geradengleichung die mittlere Kesselbelastung aller in diesem Projekt untersuchten Heizungsanlagen eingesetzt. Für die mittlere Belastung $\beta = 0,09$ ergibt sich ein normierter Aufwand von $w_{auf} = 0,105$.

Interpretation beider Werte:

- die mittlere Kesselnutzleistung im Betrieb beträgt 9% der installierten Kesselleistung ($\beta = 0,09$), für einen typischen 20 kW Kessel ergibt sich eine mittlere Leistung von $1,8 \text{ kW}$
- die dabei benötigte zugeführte Leistung beträgt $10,5 \%$ der installierten Kesselleistung ($w_{auf} = 0,105$), für den 20 kW -Kessel also im Mittel $2,1 \text{ kW}$

Abgleich mit bekannten Bewertungskriterien

Die Jahresnutzungsgradtheorie nach Dittrich und die Beschreibung mit dem normierten Aufwand sind kompatibel, wenn der Jahresnutzungsgrad auf die Beschreibung durch zwei Kenngrößen nach Dittrich reduziert wird, der mittlere Kesselwirkungsgrad η_K und die mittleren spezifischen Bereitschaftsverluste q_B . Beide Größen sind auch Grundlage für die Geradengleichung des normierten Aufwands. Durch Umformung folgt daraus der mittlere Jahresnutzungsgrad:

$$\eta_a(\beta) = \frac{\beta}{a \cdot \beta + W_{auf,0}}$$

- $\eta_a(\beta)$: Kesselnutzungsgrad je nach Belastung
- a : Verhältnisfaktor (Umwandlungsfaktor)
- β : Belastung

Für die durchschnittliche Anlagenbelastung aller Anlagen von $\beta = 9\%$ und mit dem Koeffizienten der Geradengleichung aus Bild 4 ergibt sich ein mittlerer normierter Jahresnutzungsgrad für alle Anlagen von $85,9\%$

$$\eta_{a,H_0} = \frac{0,09}{1,1055 \cdot 0,09 + 0,0052} = 0,859$$

- a : Verhältnisfaktor (Umwandlungsfaktor) = $1,1055$
- β : Belastung = $0,09$

Dieser Wert stimmt trotz der durchgeführten Regression sehr gut mit dem davon unabhängig ermittelten mittleren Nutzungsgrad als Quotient aus der Summe aller Nutzwärmemengen zur Summe aller auf den Brennwert bezogenen Brennstoffenergien ($86,6\%$) überein.

Mit den vorliegenden Eckwerten der mittleren Bereitschaftsverluste von $q_B = 0,47\%$ und des mittleren Kesselwirkungsgrad 90% für alle Brennwertanlagen ergibt sich der in Bild 5 dargestellte Nutzungsgradverlauf in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

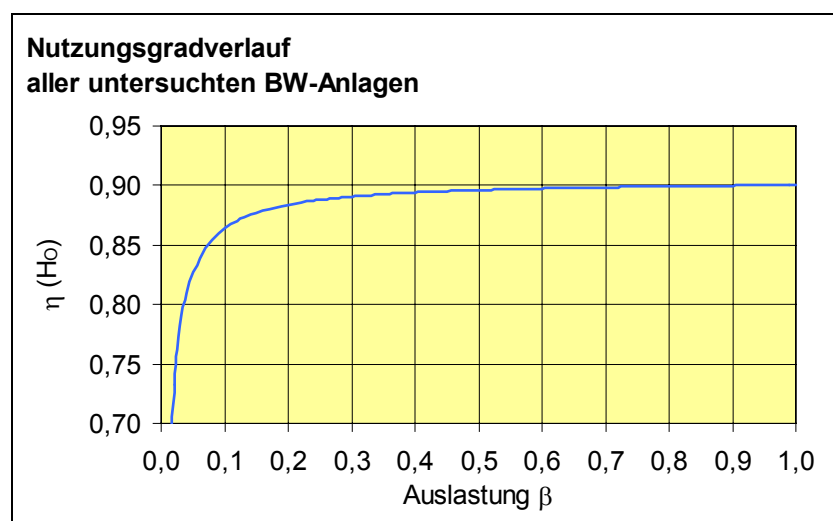


Bild 5 Nutzungsgradverlauf (H_0) aller Brennwertanlagen [1]

Wie aus dem Verlauf zu erkennen ist, fällt der Nutzungsgrad bei Belastungen unter etwa 30 bis 40 % ab. Besonders stark wird der Nutzungsgradabfall bei Belastungen unter 5 bis 10 %. Dieser Bereich ist vor allem in den Sommermonaten relevant, in denen der Kessel aus-

schließlich zur Trinkwarmwasserbereitung genutzt wird. Trotz des geringen Sommernutzungsgrades sind aber die absoluten Verluste in kWh in den Sommermonaten sehr viel kleiner als bei großen Kesselbelastungen im Winter! Hieraus wird ersichtlich, dass bei kleiner werdenden Nutzwärmeverbräuchen der Nutzungsgrad nicht das geeignete Kriterium zur Kesselbewertung darstellt.

Tabelle 2 fasst die Merkmale, die sich aus der Auswertung des normierten Energieaufwandes ergeben zusammen.

	Einheit	Kennwert
Zahl der Anlagen		60
Mittlere Kesselbelastung β	%	9
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	90,0
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,47
Betriebsbereitschaftsverlustleistung	kW	0,1
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	85,9

Tabelle 2 Kennwerte aus normiertem Energieaufwand für die Brennwertkessel [1]

Auswertung nach Anlagenmerkmalen

Die Auswertung nach dem Verfahren des normierten Energieaufwandes wurde auch verwendet, um den Einfluss verschiedener Anlagenmerkmale auf die Kesseleffizienz sichtbar zu machen. Dazu wurden jeweils Gruppen von Anlagen mit unterschiedlichen Merkmalen gebildet, z.B. die Gruppe aller Anlagen mit Überströmventil gegenüber der Gruppe ohne Überströmventil. Die verschiedenen untersuchten Merkmale zeigt Bild 6, ebenso jeweils in Klammern angegeben die Anzahl der Anlagen je Gruppe.

Aus den sich ergebenden zwei Auftragungen des normierten Energieaufwandes wurden jeweils alle Effizienzmerkmale abgeleitet. Bild 6 zeigt die Ergebnisse des mittleren Kesselwirkungsgrades (bei Belastung $\beta = 100\%$) und des mittleren normierten Kesselnutzungsgrades (bei mittlerer Kesselbelastung β) für verschiedene Anlagenmerkmale.

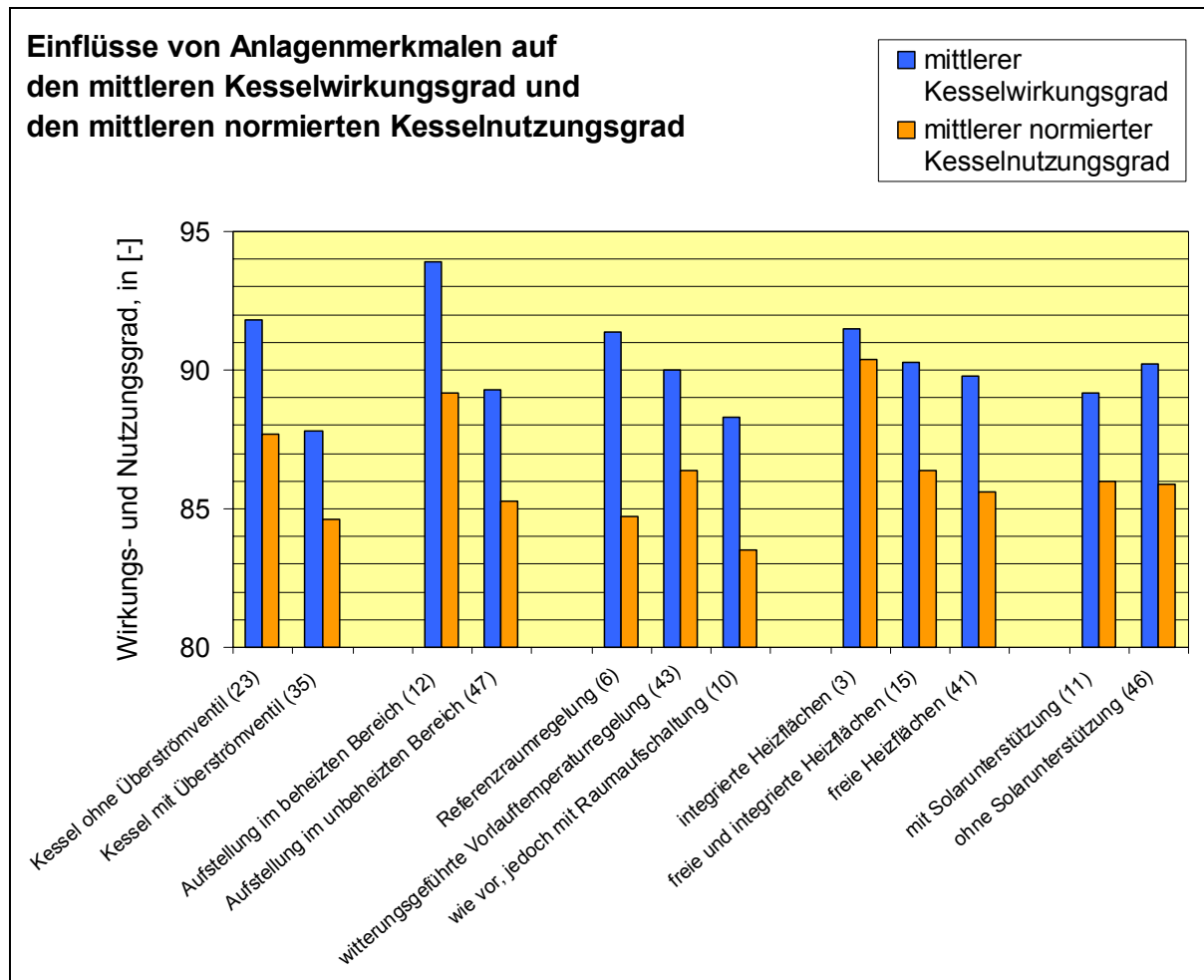


Bild 6 Einflüsse von Anlagenmerkmalen auf die Effizienz (Daten nach [1])

Der Einfluss des Kesselaufstellortes (innerhalb und außerhalb des beheizten Bereichs) sowie des Überströmventils (vorhanden oder nicht vorhanden) auf die Kennwerte sind am stärksten sichtbar.

Vergleich mit Bedarfswerten nach DIN V 4701-10

Eine Aufgabe des Projektes "Brennwertanlagen" war der Vergleich gemessener Erzeugerverluste mit Bedarfswerten. Im Folgenden werden die Vergleichsergebnisse mit den Bedarfswerten nach DIN V 4701-10 sowie mit dem Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 vorgestellt.

In der DIN V 4701-10 zur Berechnung des Primärenergieaufwandes nach der Energieeinsparverordnung werden die Erzeugerverluste getrennt für Trinkwarmwasserbereitung und Raumheizung mit Hilfe von Aufwandszahlen berechnet. Die Erzeugeraufwandszahl beschreibt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen. In der Norm wird der Bezug auf den unteren Heizwert H_U gewählt.

$$e_g(H_U) = \frac{Q_B(H_U)}{Q_{Nutz}} = \frac{Q_{Nutz} + Q_g(H_U)}{Q_{Nutz}}$$

- $e_g(H_U)$: Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_U
- $Q_B(H_U)$: Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_U
- $Q_g(H_U)$: Erzeugerverlust bezogen auf H_U
- Q_{Nutz} : Nutzwärmemenge ab Kessel

Um eine vergleichbare Datenbasis zu erhalten, müssen die auf den Heizwert bezogenen Standardaufwandszahlen nach DIN V 4701-10 in brennwertbezogene Erzeugerverluste umgerechnet werden. Die Berechnung des Erzeugerverlustes erfolgte mit einem an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel erstellten Rechenprogramm zur EnEV [7] unter Annahme folgender Randbedingungen:

- Heizwärmebedarf: 65 kWh/(m²a),
- Nutzfläche: 159 m² (entspricht dem Mittelwert der untersuchten Gebäude)
- statische Heizflächen mit Auslegung auf 55/45°C, angeordnet an den Außenwänden unter dem Fenster und mit Thermostatventilen mit 1 K P-Bereich,
- Heizverteilungen überwiegend im beheizten Bereich, Steigstränge innenliegend,
- Regelpumpe,
- zentrale Warmwasserbereitung mit indirekt beheiztem Speicher und ohne Zirkulation (Anordnung von Leitungen und Speicher überwiegend im beheizten Bereich)
- Aufstellung des Brennwertkessels im beheizten Bereich, verbesserte BDH-Kennwerte nach Neuausgabe DIN V 4701-10, August 2003.

Aus dieser Berechnung nach EnEV ergeben sich Kesselverluste von $q_g (H_0) = 9,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für eine Brennwertkesselanlage mit angenommenen sehr guten Randbedingungen.

Zum Vergleich erfolgt die Berechnung mit teilweise schlechteren anlagentechnischen Randbedingungen, den Standardwerten nach Anhang C der Norm.

- statische Heizflächen mit Auslegung auf 70/55°C, angeordnet an den Außenwänden unter dem Fenster und mit Thermostatventilen mit 2 K P-Bereich,
- Aufstellung des Brennwertkessels im beheizten Bereich, Standardwerte nach Anhang C,
- sonst gleiche Randbedingungen.

Hier liegen die Kesselverluste bei $q_g (H_0) = 15,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Ein Niedertemperaturkessel wurde analog (mit den schlechteren Daten) berechnet. In Tabelle 3 sind die errechneten Bedarfswerte den tatsächlichen Messwerten gegenübergestellt.

	durchschnittliche Nutzfläche	Erzeugerverlust bezogen auf H ₀		
		Messwert	DIN V 4701-10, Anhang C 70/55 °C	BDH-Produktkennwerte 55/45 °C
	m ²	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Brennwertkessel	159	15,9	15,2	9,3
Niedertemperaturkessel	149	37,8	19,9	--

Tabelle 3: Gemessene Erzeugerverluste und Bedarfswerte nach DIN V 4701-10 [1]

Der aus den Aufwandszahlen nach DIN V 4701-10 mit verbesserten BDH-Daten berechnete Wärmeerzeugerverlust steht mit 9,3 kWh/(m²a) einem tatsächlich gemessenen Wärmeerzeugerverlust der Brennwertkessel von 15,9 kWh/(m²a) gegenüber.

Es kann festgestellt werden, dass die Bedarfswerte der DIN 4701-10 nur dann eine akzeptable Übereinstimmung mit den realen Messwerten ergeben, wenn die Heizflächen für eine Auslegungstemperaturspannung von 70/55 °C bei einem schlechteren P-Bereich der Thermostatventile von 2 K angenommen werden und für die Kessel die Standardwerte nach Anhang C und nicht die verbesserten Kennwerte nach BDH verwendet werden. Die in der DIN V 4701-10 theoretisch ermittelten Werte für die Erzeugerverluste entsprechen dann etwa den im Praxisbetrieb erreichten Werten.

Wird jedoch - wie heute in der Praxis üblich - mit den verbesserten BDH-Kennwerten gerechnet, ergeben sich nicht gerechtfertigte Abweichungen von ca. 6 kWh/(m² a). Diese Differenz liegt in einer Größenordnung die z. B. dem Bonus eines erfolgreich bestandenen Dicht-

heitstests für Gebäude nach der Energieeinsparverordnung entspricht. Der Blower-Door-Test setzt dabei eine Qualitätssicherung voraus, für die Investitionen von 300 ... 500 € im EFH wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Für das Heizsystem werden keine vergleichbaren Qualitätssicherungsmaßnahmen gefordert.

Die Abweichungen zwischen berechneten und in diesem Projekt gemessenen Nutzungsgraden für NT-Kessel sind noch gravierender, obwohl nach DIN 4701-10 bereits nur mit Standardwerten gerechnet wurde und keine herstellerspezifischen Werte verwendet wurden.

Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8

In einem Standard-Handbuch für Heizungs- und Klimatechnik eines bekannten Kessel- und Heizsystemherstellers finden sich noch in einer älteren Ausgabe von 1995 die folgenden Aussagen:

"Um Heizkessel-Anlagen der verschiedenen Bauarten energiewirtschaftlich auf rein messtechnischer Grundlage miteinander vergleichen zu können, kann der Jahresnutzungsgrad aus Gründen des Versuchszeitraumes praktisch nicht herangezogen werden. Damit aber eine vernünftige Beurteilung erreicht werden kann, wird - sozusagen als Kurzverfahren - eine neue Vergleichszahl angewandt, die auch in DIN 4702-8 als sog. Norm-Nutzungsgrad η_N definiert ist.

Das Bestreben dazu ist, das Messverfahren zur Ermittlung dieser Kennzahl mit einem geringst möglichen Aufwand durchzuführen. Das verlangt, von vereinfachten Annahmen auszugehen. Deshalb bleibt auch die Anwendbarkeit dieses Verfahrens auf Einkesselanlagen beschränkt.

Der Norm-Nutzungsgrad soll funktionsbedingt allein auf den Wärmeerzeuger selbst bezogen sein. Er kann daher besondere Einflußgrößen, wie Gebäudeart, Heizgewohnheiten, Kessel-dimensionierungsqualitäten und -genauigkeiten o.ä.m., die bekanntlich im normalen Jahresnutzungsgrad zusätzlich noch Berücksichtigung finden, nicht enthalten. Aus diesem Grunde lässt sich auch der Norm-Nutzungsgrad nicht mit dem Jahresnutzungsgrad ohne weiteres vergleichen, denn für ein und denselben Wärmeerzeuger liegt der Norm-Nutzungsgrad in der Regel um bis zu 1 % über dem Jahresnutzungsgrad" [2].

Mit dieser Aussage wurde und wird teilweise auch heute noch allen am Bau Beteiligten - Planern, Handwerkern, Endkunden - suggeriert, dass der reale Jahresnutzungsgrad eines Wärmeerzeugers nur geringfügig (maximal 1 %) vom Normnutzungsgrad abweicht. Die Ergebnisse des Projektes "Brennwertanlagen" [1] liefern jedoch Unterschiede zwischen real gemessenem Nutzungsgrad und Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 [4] von 10 ... 13 Prozentpunkten.

Hinweise zur Optimierung und Qualitätssicherung

Im Folgenden werden aus den Projektergebnissen erste abgeleitete Regeln für die künftige Konstruktion, die Planung und den Betrieb von Brennwertkesselanlagen formuliert.

Empfehlungen an die Hersteller

Mit zunehmendem Dämmstandard neuer und nachträglich modernisierter Gebäude differiert in immer stärkerem Maße die Leistungsanforderung an die minimale und maximale Kesselleistung einerseits für die Raumheizung (im Einfamilienhaus 1 ... 6 kW) und für die Trinkwassererwärmung (mindestens 10 ... 12 kW beim Speicherprinzip, 18 ... 24 kW beim Durchflussprinzip). Die heute überwiegend angebotenen und vertriebenen Geräte sind als Allroundgeräte konzipiert für:

- kombinierten Heiz- und Trinkwarmwasserbetrieb nach dem Durchflussprinzip, meist mit nur einer Pumpe und einem Umschaltventil,
- kombinierten Heiz- und Trinkwarmwasserbetrieb mit gesondertem Speicher.

Da beide Aufgaben mit nur einem Konstruktionsprinzip erfüllt werden sollen, weisen fast alle heute am Markt angebotenen Brennwertgeräte einen extrem niedrigen Kesselwasserinhalt auf. Nur so kann die Trinkwassererwärmung nach dem Durchflussprinzip einigermaßen komfortabel ohne zu lange Verzögerungszeiten gewährleistet werden. Der geringe Kesselwasserinhalt der Geräte bewirkt:

- hohe hydraulische Widerstände und als Folge hohe Gerätedruckverluste,
- die Notwendigkeit eines Kesselmindestumlaufstroms,
- den Einbau integrierter, für die nach geschalteten Heizkreise im Regelfall viel zu großer Pumpen,
- den Einbau von Überströmventilen oder sogar den Einsatz von hydraulischen Weichen, die zur Rücklauf Temperaturanhebung und damit zu verminderter Brennwertnutzung führen.

In Einzelfällen wird sogar der Einbau von Heizwasserpufferspeichern empfohlen. Sowohl beim Einsatz von hydraulischen Weichen als auch von Pufferspeichern ist der zusätzliche Einsatz einer gesonderten Pumpe in der Primärenergiebilanz zu berücksichtigen.

Da heute die Trinkwassererwärmung überwiegend nach dem Speicherprinzip erfolgt und eine geringe Zeitverzögerung bei der Wärmebereitstellung daher toleriert werden kann, sollten die hierfür eingesetzten Brennwertkesselkonstruktionen einen so hohen Kesselwasserinhalt aufweisen, dass der hydraulische Widerstand des Gerätes vernachlässigbar wird und somit auf eine Kesselpumpe verzichtet werden kann bzw. integrierte Pumpen mit kleinsten Leistungswerten und mit einstellbaren Förderhöhen verwendet werden.

Dies würde den Einsatz der kleinsten heute bereits verfügbaren Umwälzpumpen mit ca. 10 ... 25 W elektrischer Leistungsaufnahme anstelle der heute üblichen Pumpen zwischen 60 ... 150 W ermöglichen. Der Primärenergieverbrauch könnte um 8 ... 15 % bzw. die Verluste um weitere 6 ... 25 kWh Primärenergie je m² und Jahr in neuen Einfamilienhäusern vermindert werden. Geräte mit geringem hydraulischem Widerstand werden bereits seit vielen Jahren von einzelnen Herstellern angeboten, wurden z. T. jedoch wieder aus den Programmen herausgenommen.

Parallel sind möglichst hohe Modulationsbereiche der eingesetzten Gasbrenner zu fordern, um eine Anpassung an verschiedene Auslegungslasten und Teillastbereiche zu ermöglichen.

Integrierte Pumpen sollten einstellbar sein und Kessel ggf. ohne integrierte Pumpe ausgeliefert werden, damit die Pumpe entsprechend der nachgeschalteten Anlage gewählt werden kann.

Als wichtigster Einfluss auf einen möglichst ausgeprägten Brennwerteffekt erweist sich für Geräte mit einem Zwangsumlauf das mittlere Kesselwassertemperaturniveau, das wesentlich durch die Werkseinstellung der integrierten witterungsgeführten Kesseltemperaturregelung geprägt wird. Praxisberichte zeigen, dass die ausführenden Firmen die Werkseinstellung bei normalen Heizkörpersystemen in ca. 90 % aller Fälle aus „Sicherheitsgründen“ nicht verändern. Dies bewirkt hohe Kesselvorlauftemperaturen und, v. a. bei Einsatz von Überströmventilen, auch hohe mittlere Rücklauf- und hohe mittlere Kesselwassertemperaturen, die eine Kondensation und damit eine optimale Brennwertnutzung verhindern.

Kurzfristig wird den Herstellern empfohlen, die Werkseinstellung der Kesseltemperaturregelung im Auslieferungszustand zu verändern. Vorgeschlagen werden Auslegungsvorlaufemperaturen von 50 bis 55 °C (rund 20 bis 25 K niedriger als die heute übliche Werkseinstellung) und eine Parallelverschiebung der Heizkurve um 2 bis 4 K bezogen auf die Raumtemperatur.

Damit wäre gewährleistet, dass auch bei Außentemperaturen über 8 bis 12 °C „fühlbare“ Heizwassertemperaturen am Heizkörper vorliegen. Damit wären Beschwerden der Nutzer, bei der heute üblichen Überdimensionierung von Heizkörpern weitgehend ausgeschlossen. Vorschlag:

- Heizkurvensteilheit: $A = 1,0$
- Parallelverschiebung $B = 2$ bis 4 K bezogen auf die Raumtemperatur.

Der Brennwertkessel arbeitet dann mit seiner mittleren Kesselwassertemperatur in der gesamten Heizperiode weitgehend im Brennwertbereich.

Empfehlungen für die Planung

Zu unterscheiden sind Planungen für die Kesselmodernisierung im Bestand und für Neuanlagen. Es sollten jedoch grundsätzlich weitgehend einfache Anlagensystemkonzepte geplant werden, Kessel mit hohem Wasserinhalt bevorzugt und die Kessel soweit möglich im beheizten Bereich des Gebäudes angeordnet werden.

Im Bestand sind das vorhandene Rohrnetz sowie die Heizflächen in einer Ist-Analyse aufzunehmen. Hierzu wurden von den Verfassern Hilfen, u. a. auch mit Softwareunterstützung, im Rahmen der Projekte: OPTIMUS [11] in Zusammenarbeit mit ProKlima Hannover entwickelt und bereits erfolgreich erprobt [6]. Wichtig ist die Anpassung der notwendigen Heizwassertemperaturen auf einem für das Gesamtsystem, v. a. für die Brennwertnutzung sinnvollen, möglichst niedrigen Temperaturniveau.

Im Neubau sollten innerhalb eines Raumes nur noch einfache Heizsysteme: entweder nur Heizkörper oder nur Fußbodenheizflächen eingesetzt werden. Empfehlungen der Autoren für die Komponentenauslegung finden sich in [9]. Gesamtsysteme eines Herstellers, speziell auch für Solarunterstützte Systeme, und ein einfaches Gesamtregelkonzept sind zu bevorzugen.

Für Kessel mit ausreichendem Wasserinhalt und ohne Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom werden Gesamtspreizungen des Heizkreislaufs von 15 ... 25 K (Vorlauftemperatur: 60 ... 70°C, Rücklauftemperatur: 40 ... 55°C) empfohlen. Für Kessel mit geringem Wasserinhalt können meist keine Gesamtspreizungen über 10 ... 15 K (Vorlauftemperatur: 50 ... 60°C, Rücklauftemperatur: 40 ... 55°C) eingestellt werden. Je höher die Auslegungsspreizung, desto besser ist die Regelgüte für die Einzelraumregelung zusammen mit angepassten, voreinstellbaren Thermostatventilen (kleine k_{VS} -Werte).

Zu achten ist weiterhin auf die Wahl eines Kessel mit einem möglichst hohen Modulationsbereich der in den Brennwertgeräten integrierten Brenner mit möglichst niedriger Grundlaststufe (unter 4 ... 5 kW) sowie auf eine getrennte Einstellung der Brenner-/Kessel-Leistungen für die Raumheizung und für die Trinkwarmwasserspeicherladung.

Die Planung sollte eine Heizlastberechnung, eine Rohrnetzberechnung und eine Heizflächenauslegung mit den Plandaten für die Einstellung der Heizkurve am Kesselregler, für die Einstellung der Pumpförderhöhe und für den hydraulischen Abgleich (Voreinstellwerte für Thermostatventile) umfassen.

Bei der Wahl von Kesseln im kleinen Gebäude ist besonders auf geringe Bereitschaftsverluste und Pumpenstromaufwendungen zu achten, da die Kessel praktisch die gesamte Heizperiode hindurch in Betrieb bzw. größtenteils in Betriebsbereitschaft sind.

Grundsätzlich wird der Einbau eines Wärmemengenzählers nach dem Wärmeerzeuger als Kontrollinstrument für den späteren Betrieb empfohlen.

Empfehlungen für die Ausführung

Die Plandaten sind von den ausführenden Handwerkern einzustellen und in einer Fachunternehmererklärung zu bestätigen. Zu achten ist v. a. auf die korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler sowie die Anpassung der Pumpe und auf die Durchführung des hydraulischen Abgleichs, um niedrige Rücklauftemperaturen und einen geringen Pumpenenergieverbrauch zu gewährleisten.

Empfehlungen für die Nutzung

Zusammen mit dem ausführenden Handwerksunternehmen ist der Kunde bei der Endabnahme über alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen zu informieren. Dies betrifft v. a. die Reglereinstellung (Heizpausen, Heizgrenztemperaturen, Sommerbetrieb) sowie die Bedienung der Thermostatventilregler.

Es ist grundsätzlich zu empfehlen, monatliche Verbrauchswerte regelmäßig zu erfassen und damit Verbrauchskontrollen zu ermöglichen. Auf das typische Verschwendungspotential zu hoher Raumtemperaturen, dauernd gekippter Fenster, v. a. in der Übergangszeit, ist deutlich hinzuweisen. Weitere Hinweise finden sich in [6].

Rückkopplung der Hersteller

Die Ergebnisse des Projektes "Brennwertanlagen" sowie die Förderbedingungen der Brennwertkesselförderung von proKlima Hannover boten den Anlass für einen ersten Erfahrungsaustausch mit Herstellern (Bild 7). Neben der Vorstellung der Ergebnisse wurden die aus den Projektergebnissen resultierenden Wünsche an die Kesselkonstruktion und den Anlagenbetrieb mit 15 Vertretern von 8 Kesselfirmen diskutiert.



Bild 7 Gespräch mit Herstellern bei proKlima in Hannover

Folgende wichtige Ergebnisse brachte die Zusammenkunft:

- Sofern der Markt es fordert, könnten seitens der Hersteller Kesselkonstruktionen mit ausreichendem Wasserinhalt bzw. mit geringem hydraulischem Widerstand angeboten werden. Die Technik ist vorhanden. Derzeit besteht jedoch praktisch nur der Wunsch nach Geräten mit Allroundfunktionen (Kombibetrieb) und geringstem Platzbedarf
- Die Diskussion lieferte den Vorschlag seitens der Hersteller, dass integrierte Pumpen externen vorgezogen werden sollen, da Kompaktgeräte am Markt immer stärker nachgefragt sind und diese Bauweise eine optimale Einbindung der Pumpe in die Kesselregelung ermöglicht. Eine Einstellmöglichkeit der Pumpförderhöhe für integrierte Pumpen und gegebenenfalls zu ergänzende Differenzdruckregler sollte wenigstens in 3 Stufen möglich sein: 0,5 m, 1 m, 1,5 m WS.
- Eine Modulation im Bereich von 1 : 6 bis 1 : 10 ist ein Kompromiss bei Geräten mit maximal 18 kW Leistung.

Die gemeinsame Forderung aller Parteien ist jedoch, dass der Verbrauch von Geräten mehr ins Zentrum des Bewusstseins (der Nutzer und Handwerker) gerückt werden muss, damit effizientere (u.U. momentan noch teurere) Techniken am Markt eine Chance haben.

Ausblick: Vorschläge zur Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie

Das Projekt hat deutlich bestätigt, dass die häufig angegebenen Normnutzungsgrade von Brennwertkesselanlagen im Praxisbetrieb unter den in klassischen Heizungsanlagen vorliegenden Randbedingungen nicht zu erreichen sind. Die typische Anlage der untersuchten Gebäude weist einen mittleren Bereitschaftsverlust von $q_B = 0,5 \%$ oder ca. 100 W auf. Der mittlere Wirkungsgrad beträgt 90 % (H_0). Da die Anlagen aber im Mittel nur zu 9 % ausgelastet sind, ergibt sich ein durchschnittlicher normierter Jahresnutzungsgrad von etwa 86 % (H_0).

In Zukunft sollten zur Bewertung der Effizienz der normierte Aufwand bezogen auf die mittlere Kesselleistung bzw. die daraus abgeleiteten Größen (mittlerer Kesselwirkungsgrad, mittlerer spezifischer Bereitschaftsverlust) sowie für Vergleiche mit Verordnungswerten und für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen parallel flächenbezogene Verlustkennwerte anstelle von Nutzungsgraden und Aufwandzahlen herangezogen werden.

Bei aller Kritik an den untersuchten Brennwertanlagen soll an dieser Stelle noch mal darauf hingewiesen werden, dass die als Referenzanlagen betrachteten Niedertemperaturanlagen deutlich höhere Wärmeverluste aufweisen; auch hier werden die angegebenen Normnutzungsgrade nicht erreicht.

Aus der vorliegenden Untersuchung der "Brennwertanlagen" sowie den Aussagen zur "Energieanalyse aus dem Verbrauch" [3] geht hervor, dass es nicht ausreicht, den Wärmeerzeuger oder andere Komponenten der Heizungsanlage und des Gebäudes einzeln zu betrachten und zu bewerten. Nur die Optimierung des Gesamtsystems im Zusammenspiel mit Gebäudedämmstandard und Nutzerprofil kann zu besserer Energieausnutzung und zu einwandfreier Funktion der Heizungsanlage führen.

Die Bewertung des Gesamtsystems "Gebäude" kann anhand von Verbrauchsdaten erfolgen. Eine mit einfachen Mitteln und Rechenwerkzeugen durchführbare Analyse von Messwerten liefert eine Reihe von Kennwerten für die Bewertung des beheizten Bereichs eines Gebäudes und der Wärmeversorgung außerhalb des beheizten Bereichs.

Damit ist die Chance gegeben, Gebäude kostengünstig und realistisch energetisch zu beurteilen, wenn "nur" ein Energiepass erstellt werden soll. Auch die Gefahr, dass insbesondere bei der Modernisierung durch reine Bedarfsrechnungen mit entsprechenden Normen und Richtlinien zu optimistische Einsparungen vorausberechnet werden, wird durch den Verbrauchs-Bedarf-Abgleich beseitigt.

Quellen

[1]	Brennwertkessel im Feld; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von Brennwertkesseln im Feld; durchgeführt von der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Abschlussbericht im Internet unter http://enev.tww.de
[2]	Buderus Heiztechnik GmbH (Hrsg.); Handbuch für Heizungstechnik; Beuth; Berlin; 1995 und 2002
[3]	Dieter Wolff und Kati Jagnow; E–A–V: Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner, Nr. 9/2004; Gentner; 2004
[4]	DIN 4702-8; Heizkessel; Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors; Beuth-Verlag, Berlin, 1990
[5]	DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen; Vornorm - Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth-Verlag, Berlin, 2001 und 2003
[6]	Kati Jagnow, Christian Halper, Tobias Timm und Marco Sobirey; Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand; Teile 1 bis 5; TGA Fachplaner; Nr. 5, 8 und 11/2003, 01 und 03/2004; Gentner; Stuttgart; 2003 und 2004
[7]	Kati Jagnow; EP - Rechenprogramm zur EnEV; erstellt 2001 bis 2004; im Internet frei verfügbar unter http://enev.tww.de
[8]	Kati Jagnow; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; 2004
[9]	Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.); Bauen Am Kronsberg - Heiztechnisches Konzept; Amt für Umweltschutz; Hannover; 1998
[10]	Optimus; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Optimierung von Heizungsanlagen zusammen mit dem ausführenden Handwerk, Berufsbildenden Schulen, Berufsschullehrererausbildung und Wissenschaftlicher Begleitung; beteiligt u.a. Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; im Internet unter http://www.optimus-online.de
[11]	Optimus; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Optimierung von Heizungsanlagen zusammen mit dem ausführenden Handwerk, Berufsbildenden Schulen, Berufsschullehrererausbildung und Wissenschaftlicher Begleitung; beteiligt u.a. Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; im Internet unter http://www.optimus-online.de
[12]	Peter Deutscher und Lothar Rouvel; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; 2 Teile; HLH; Nr. 7 und 8/2003; VDI; Düsseldorf; 2003
[13]	Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Gebäuderichtlinie); 16. Dezember 2002