

Brennwertnutzen im Niedrigenergiehaus

Wie effektiv sind Brennwertkessel?

Gerd Böhm*

Als wichtigstes Kriterium für den Brennwertnutzen wird allgemein die Kessel-Rücklauf­temperatur betrachtet. Da Überströmventile diese durch Beimischung von Kesselvorlaufwasser aber anheben, wird mitunter empfohlen, auf Überströmventile in Verbindung mit Brennwertkesseln zu verzichten. Doch sind solche Empfehlungen auch tatsächlich stichhaltig?



Über das Praxisverhalten wandhängender Brennwertkessel weiß man recht gut Bescheid. Schon vor 15 Jahren hat die Ruhrgas AG in einem weit gefaßten Feldversuch sieben verschiedene Praxisanlagen über vier Heizperioden hinweg eingehend untersucht [1]. Die Jahresnutzungsgrade können sich mit über 102 % sehen lassen, ebenso die gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Vorausbe­rechnungen (Bild 1).

* Dipl.-Ing. Gerd Böhm, Buderus Heiztechnik GmbH, Wetzlar, Fax (0 64 41) 41 86 33

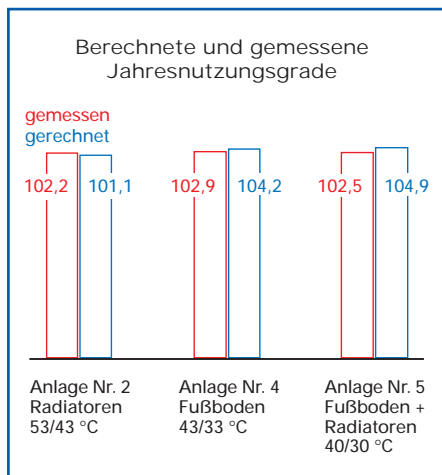


Bild 1 Teilergebnisse aus sieben Objektmessungen der Ruhrgas AG. In diesen Anlagen waren Vorläufer des Brennwertkessels GB102 W von Buderus eingesetzt

Brennwertkessel der heutigen Generation weisen fast durchweg modulierende Brenner mit extrem niedrigen Abgastemperaturen auf und lassen eine noch bessere Brennwertnutzung erwarten, bezogen zumindest auf die den seinerzeitigen Feldversuchen zugrundeliegenden Objektgegebenheiten. Aus heutiger Sicht stellt sich nun die Frage, wie effektiv Brennwertkessel unter den Betriebsbedingungen neuerer, nach Wärmeschutzverordnung errichteter Gebäude arbeiten können. Charakteristisch sind hier die schon für den Auslegungspunkt relativ geringen Volumenströme, die durch Fremdwärmegewinne und dem Eingriff von Thermostatventilen noch weiter reduziert werden. Zumindest geringvolumige Wandkessel kommen hier u. U. in Betriebssituationen, die das Einhalten bestimmter Mindestvolumenströme – z. B. durch Überströmventile – erforderlich machen. Allerdings sorgen Überströmventile durch Beimischen von Kesselvorlaufwasser für eine Anhebung der Rücklauf­temperatur, die als wichtigstes Kriterium für den Brennwertnutzen betrachtet wird (Bild 2). Es gibt deshalb Empfehlungen, auf Überströmventile in Verbindung mit Brennwertkesseln zu verzichten. Wie stichhaltig dies ist, sollen die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

Brennwertnutzen und Rücklauf­temperatur

Bild 3 veranschaulicht die Abhängigkeit des Brennwertnutzens von der Rücklauf­temperatur. Dargestellt sind die Temperaturprofile im Heizgas-Strömungsquerschnitt für

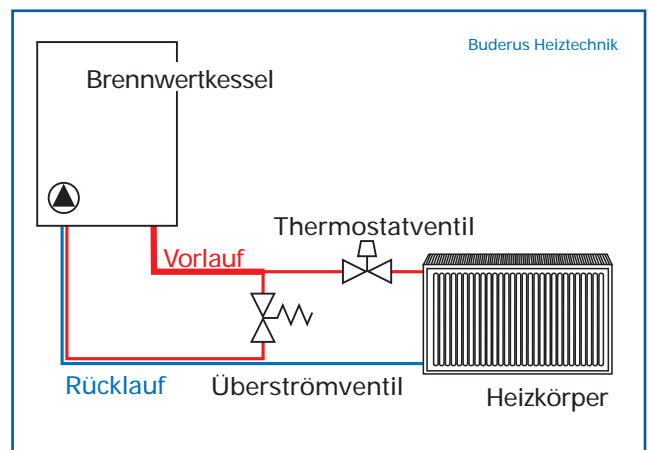


Bild 2 Das Ansprechen des Überströmventils bewirkt zwar eine Anhebung der Rücklauf­temperatur, beeinflusst aber nicht die Brennwertnutzung

die Temperaturpaarung Abgas 80 °C / Rücklauf 35 °C sowie für 45 °C/40 °C. Diese Gegenüberstellung macht zwei wichtige Bedingungen offenkundig:

– Die Rücklauftemperatur muß unter dem Wasserdampftaupunkt sein. Das ist die zwingende Grundbedingung. Alleine sagt sie allerdings nichts über die Höhe des Brennwertnutzens aus.

– Die Abgastemperatur muß möglichst dicht an der Rücklauftemperatur sein. Das ist die Bedingung für ein Optimum an Brennwertnutzen.

Fazit: Sobald die Rücklauftemperatur unter Taupunkt ist, wird die Brennwerteffektivität vom Temperaturverlauf im Abgasquerschnitt bestimmt.

Die häufig aufgestellte Formel:

höhere Rücklauftemperatur

= *geringerer Brennwertnutzen*

erweist sich somit, vor allem als Feststellung über verschiedene Gerätetypen hinweg, als oberflächlich und unzureichend. Wenn schon ein äußeres Betriebskriterium als Maßstab herangezogen wird, dann müßte es entsprechend Bild 3 zumindest von der Art

$$\frac{\Delta W}{\Delta A} \rightarrow \text{möglichst groß}$$

sein (ΔW = Temperaturdifferenz des Rücklaufs zum Wasserdampftaupunkt; ΔA = Differenz Abgastemperatur zu Rücklauftemperatur).

Angewendet auf Bild 3 bestätigt der Zahlenwert das, was auch schon optisch zu erkennen ist, nämlich die wesentlich höhere Brennwerteffektivität der Variante b).

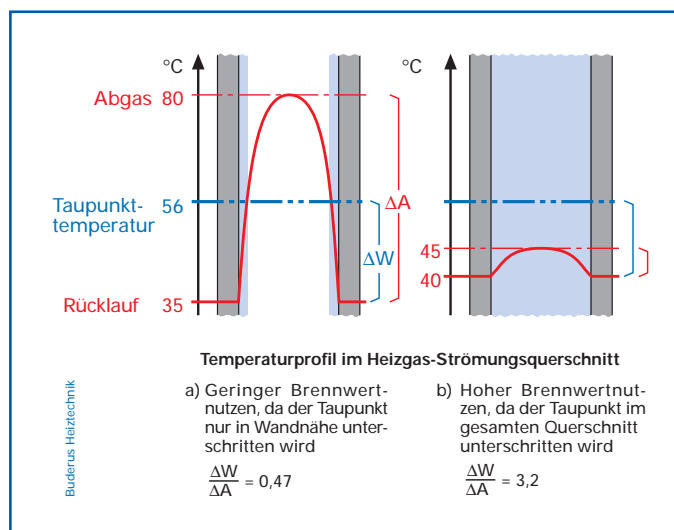


Bild 3 Sobald die Rücklauftemperatur unter Taupunkt ist, wird die Brennwerteffektivität vom Temperaturprofil im Heizgasquerschnitt bestimmt



Bild 4 Gas-Brennwertkessel GB112 W; in der Baugröße 24/W moduliert der Brenner zwischen 6,4 und 21,4 kW (Heizkurve 75/60 °C)

$$\text{für a) } \rightarrow \frac{56-35}{80-35} = 0,47$$

$$\text{für b) } \rightarrow \frac{56-40}{45-40} = 3,2$$

Inwieweit nun Überströmventile bei ein- und derselben Kesselkonstruktion den Brennwertnutzen beeinflussen, läßt sich aufgrund der Bedeutung der Abgastemperatur theoretisch nicht vorhersagen, sondern bedarf einer praktischen Inaugenscheinnahme. Hierzu dienen die in den

nachfolgenden Bildern aufgezeigten Temperaturgänge, die bei verschiedenen Betriebsbedingungen des in Bild 4 dargestellten Wandkessels aufgenommen wurden.

Brennwertnutzen und Betriebsbedingungen

Die Temperaturgänge und weitere meßtechnische Daten wurden im Rahmen umfangreicher Untersuchungen* aufgenommen. Zugrunde liegt die Situation eines Hauses mit 6 kW Normheizleistung und der Heizkurve 55/40 °C. Der untersuchte Kessel mit etwa 6,4 kW unterer Modulationsgrenze arbeitet somit ausschließlich intermittierend. Neben der unter verschiedenen Betriebsbedingungen erreichbaren Kesselwirtschaftlichkeit interessieren auch die Auswirkungen auf die Brenner-Schaltheufigkeit. Für den hier behandelten Themenbereich werden folgende Situationen aus den insgesamt 24 Meßreihen herausgegriffen:

Voller Volumenstrom

(= 344 l/h bei Teillast)

Dieser Zustand ist typisch für den Betriebszeitraum unterhalb +5 °C Außentemperatur, da hier im Regelfall alle bewohnten Räume beheizt werden. Bezogen auf die

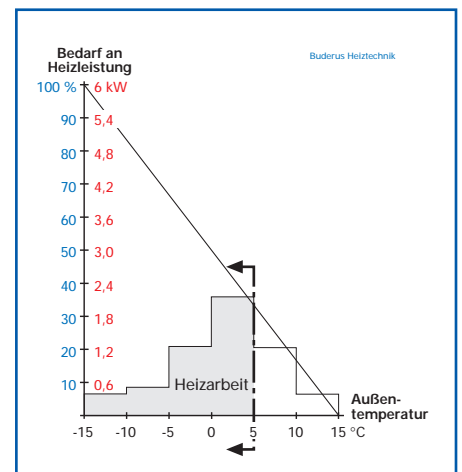


Bild 5 Anteil der Jahres-Heizarbeit bei Außentemperaturen unter +5 °C

Normheizleistung reicht die relative Auslastung nach Bild 5 von 100 % bis etwa 33 %. Bezogen auf $\dot{Q}_N = 6$ kW bedeutet dies eine minimale Leistungsabnahme von 2 kW. In diesen Betriebszeitraum fallen ca. 72 % der gesamtjährlichen Heizarbeit.

* Untersuchungen der Fachhochschule Köln, Fachbereich Versorgungstechnik, Heizungslaboratorium Prof. Dr.-Ing. K. Sommer und Dipl.-Ing. W. Polkow

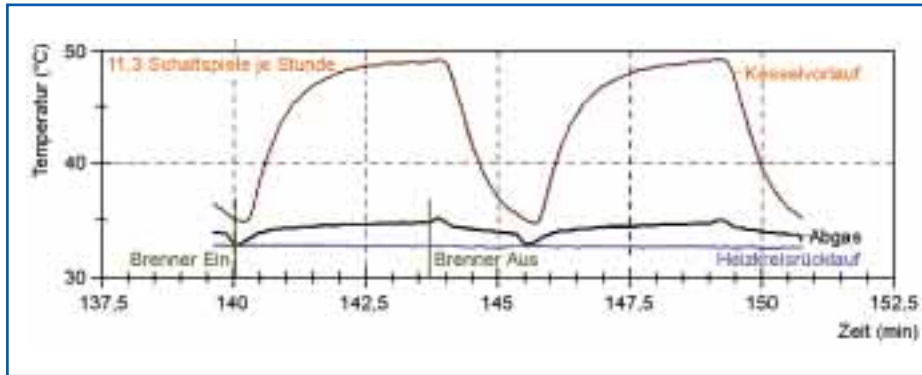


Abb.: (FH Köln)

Bild 6 Anlage mit vollem Volumenstrom 344 l/h; Leistungsabnahme 78 % (entspricht 4,7 kW); Nutzungsgrad 105,9 %

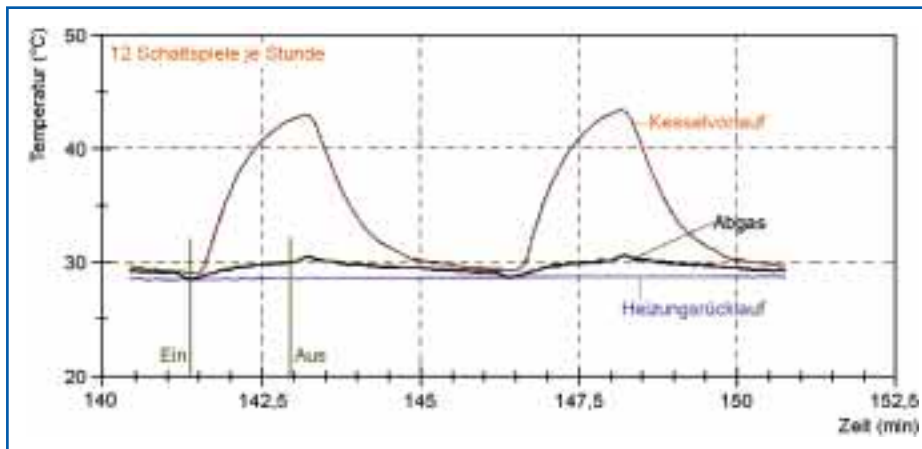


Abb.: (FH Köln)

Bild 7 Anlage mit vollem Volumenstrom 344 l/h; Leistungsabnahme 39,8 % (entspricht 2,4 kW); Nutzungsgrad 107,4 %

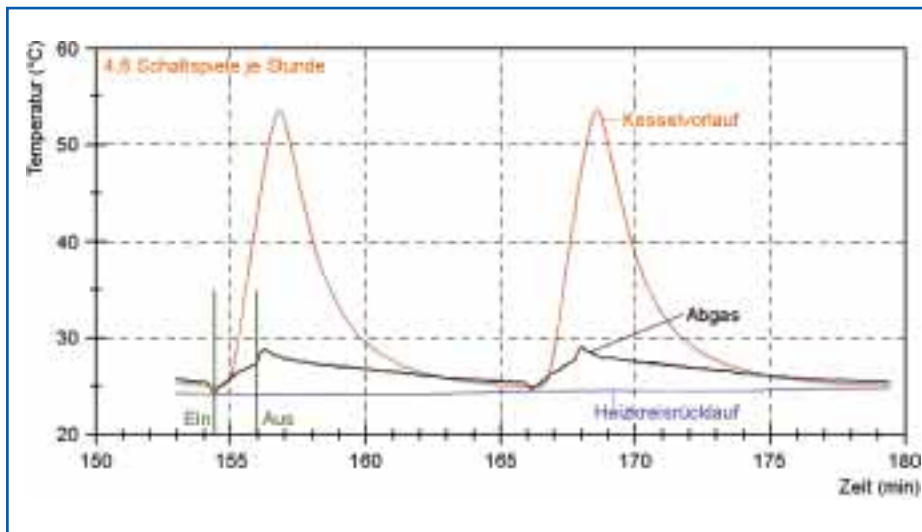


Abb.: (FH Köln)

Bild 8 Anlage mit reduziertem Volumenstrom 103 l/h; Leistungsabnahme 14,7 % (entspricht 0,88 kW); Nutzungsgrad 107,6 %

Die Temperaturgänge der Bilder 6 und 7 (aufgenommen bei 78 % bzw. 39,8 % relativer Heizleistungsabnahme) lassen schon rein optisch gesehen auf ein Höchstmaß an Brennwertnutzen schließen, weil die Abgastemperatur nur etwa 2 Kelvin über dem Heizkreis-Rücklauf liegt. Entsprechend hoch sind deshalb auch die gemessenen Nutzungsgrade mit 105,9 % bzw. 107,4 %. Diese Werte passen gut in den Kontext vorliegender Normnutzungsgrade, die mit 105 % (Heizkurve 75/60 °C) bzw. 109 % (Heizkurve 40/30 °C) ermittelt sind.

Reduzierter Volumenstrom

(= 103 l/h bei Teillast)

Bei Außentemperaturen über +5 °C ist zunehmend mit wirksamen Fremdwärmegegewinnen zu rechnen, die in der Praxis zumeist über Thermostatventile ausgeregelt werden (d. h. der Volumenstrom wird gedrosselt). Der Temperaturgang nach Bild 8 zeigt eine solche Situation bei 14,7 % relativer Auslastung, also bei nur noch 0,88 kW Heizleistungsbedarf. Auch hier ist in Anbetracht der niedrigen Abgastemperatur von 25 °C bis 28 °C hervorragende Brennwertnutzung zu erwarten. Die Messung ergibt einen Nutzungsgrad von 107,6 %. Bedingt durch die längeren Brenner-Aus-Zeiten geht die Brenner-Schalhäufigkeit drastisch zurück.

Interessant ist auch, daß sich das relativ hohe Schwingen der Vorlauftemperatur überhaupt nicht auf die Rücklauftemperatur auswirkt. Dies ist ein Zeichen dafür, daß die thermisch trägen Massen gegenüber den geringen transportierten Energiemengen sehr wirksam sind. Das ist zum einen günstig für die Raumtemperatur-Konstanz und sorgt zum anderen für einen Rückgang der Schalhäufigkeit.

Reduzierter Volumenstrom und Überströmventil

Überströmventile werden zur Gewährleistung eventuell geforderter Mindest-Volumenströme eingesetzt. Wie schon erläutert wird damit der Kesselrücklauf angehoben, was keinesweg geringeren Brennwertnutzen bedeuten muß. Denn solange die Rücklauf-Temperatur unter Taupunkt (etwa 56 °C) ist, entscheidet die Abgastemperatur über den Brennwertnutzen.

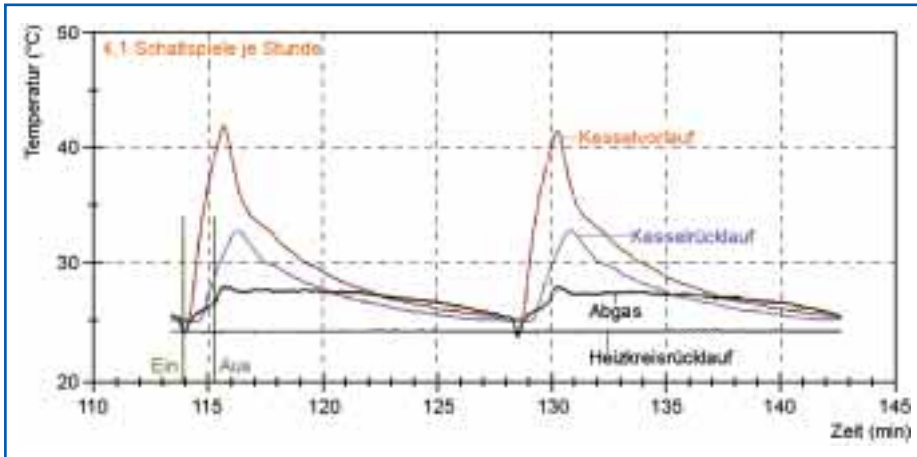


Bild 9 Anlage mit reduziertem Volumenstrom 103 l/h und 200 l/h im Kesselkreis durch Überströmventil; Leistungsabnahme 11,5 % (entspricht 0,69 kW); Nutzungsgrad 103,4 %

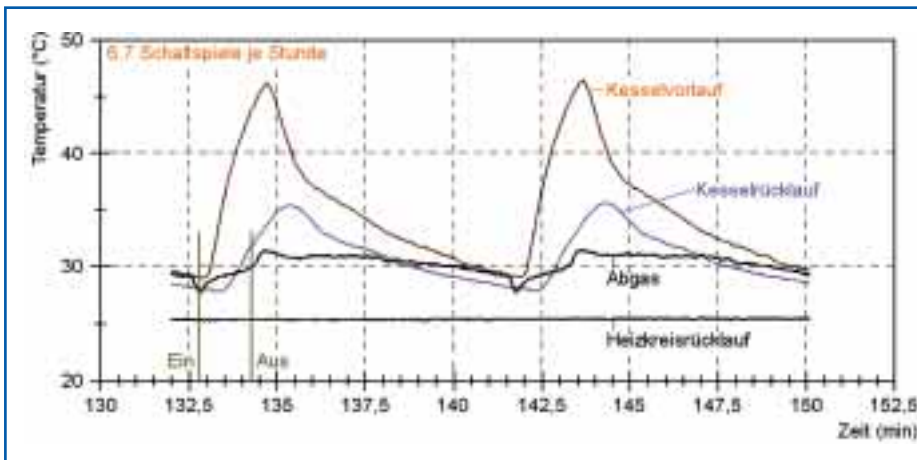


Bild 10 Anlage wie Bild 9; Leistungsabnahme 20 % (entspricht 1,2 kW)

Die Bilder 9 und 10 geben Temperaturgänge bei 11,5 % und 20 % relativer Gebäudeauslastung (entspricht 0,69 kW bzw. 1,2 kW Heizleistungsbedarf) wieder. Der Volumenstrom im Heizkreis ist wie zuvor auf 103 l/h gedrosselt. Mittels Überströmventil werden jedoch 200 l/h im Kesselkreis kurzgeschlossen.

Verglichen mit Bild 8, das etwa der gleichen Situation ohne Überströmung entspricht, ist trotz schwingendem Kesselrücklauf kein Unterschied in den Abgas-Temperaturgängen auszumachen, was auf den gleichen Brennwertnutzen hindeutet. Daß der Nutzungsgrad mit 103,4 % geringer ist, resultiert aus den im Nutzungsgrad

enthaltenen Bereitschafts- und Strahlungsverlusten, die bei den hier vorliegenden extrem geringen Nutzwärmemengen deutlicher in Erscheinung treten.

Warum das Überströmventil keine nachteilige Wirkung auf Abgastemperatur und Brennwertnutzen hat, ist aus den vorliegenden Temperaturgängen leicht abzuleiten:

- Bei Brenner-Ein ist die Differenz zwischen Vorlauf und Heizkreisrücklauf minimal. Der Kesselrücklauf wird nur um 1 bis 3 Kelvin angehoben.
- Die Kessel-Rücklauf-Temperatur reagiert zeitversetzt zum Vorlauf. Das Minimum der Schwingungen liegt etwa in der Mitte des Brenner-Ein-Intervalls, das Maximum außerhalb.

Diese Phasenverschiebung entkoppelt den Abgas-Temperaturverlauf vom Kesselrücklauf. Bei Brenner-Aus liegt die Abgastemperatur sogar unter dem Rücklauf.

Brennwertnutzen und Nutzungsgrad

Brennwertnutzen ist nichts anderes als ein auf Minimum gebrachter Abgasverlust. Die Kondenswassermenge allein ist deshalb noch kein Nachweis für die Kesselwirtschaftlichkeit, da sie nichts über die Strahlungs- und Bereitschaftsverluste des Kessels aussagt. Wie bei jedem konventionellen Kessel auch, ist allein der Nutzungsgrad Maßstab der Wirtschaftlichkeit. Mit der bekannten Nutzungsgradgleichung

$$\eta_N = \frac{\eta_K}{\left(\frac{1}{\varphi} - 1\right) \cdot \dot{q}_B + 1}$$

η_K Kesselwirkungsgrad
 $\left(\frac{1}{\varphi} - 1\right) \cdot \dot{q}_B$ Bereitschaftsverlust Kesselauslastung
 η_N Nutzungsgrad

wird die Verbindung von Kesselwirkungsgrad η_K (in dem der Abgasverlust und Strahlungsverlust steckt) mit dem Bereitschaftsverlust \dot{q}_B geschaffen. Damit läßt sich z. B. der Nutzungsgrad von 103,4 % (nach Bild 9), der unter Berücksichtigung der extrem niedrigen Abgastemperatur vielleicht etwas gering erscheinen mag, besser verstehen.

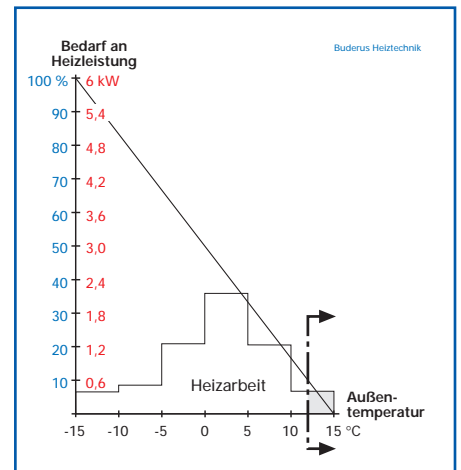


Bild 11 Anteil der Jahres-Heizarbeit bei Außentemperaturen über +10 °C

Der Nutzungsgrad wurde bei 11,5 % Gebäudeauslastung gemessen, was für den Kessel mit 21,4 kW Nennleistung nur noch eine Auslastung von 3 % ($\varphi = 0,03$) bedeutet. Als Bereitschaftsverlust können für

die gegebenen Temperaturverhältnisse etwa 0,18 % ($\dot{q}_B = 0,0018$) angesetzt werden. Aus dem Nutzungsgrad errechnet sich somit der Kesselwirkungsgrad

$$\eta_K = 103,4 \left[\left(\frac{1}{0,03} - 1 \right) \cdot 0,0018 + 1 \right] \\ = 109,4 \%$$

was auf nahezu vollständige Brennwertnutzung schließen läßt. Denn der theoretische Maximalwert liegt unter Berücksichtigung des Strahlungsverlustes und der den Messungen zugrundeliegenden Gasart etwa bei $\eta_K = 110,5 \%$.

Bei so geringen Leistungsabnahmen (0,69 kW), wie sie Bild 9 zugrundeliegen, gewinnt der Kessel-Bereitschaftsverlust immer mehr die Überhand. Es ist deshalb unabweichlich, daß trotz hervorragender Brennwertnutzung der Nutzungsgrad nicht nur unter 100 %, sondern sogar bis auf 0 % abfallen wird. In dieser Phase wird die Kesselwirtschaftlichkeit nur noch von zwei Kri-

terien bestimmt: von der Betriebstemperatur und der Kessel-Baugröße (nicht Kesselleistung). Insofern bedeutet ein Überströmventil, das die mittlere Kesseltemperatur erhöht, theoretisch zwar einen energetischen Nachteil, dagegen steht aber der Vorteil der geringvolumigen Kessel: die kleine Oberfläche. Physikalisch korrekt ausgedrückt erfordert das Niedrigenergiehaus nicht „angepaßte“ kleine Kesselleistungen, sondern „angepaßte“ kleine Kessel-Baugrößen, also kleine Kesselvolumen.

Mit dieser Aussage soll das hier behandelte Thema aber nicht schließen, weil die wirklichen Verhältnisse bei den geringen Leistungsbedarfen alle Diskussionen dieser Art zur reinen Zeitverschwendung degradieren. So umfaßt die relative Gebäudeauslastung kleiner 10 % nur etwa 4 % der Jahres-Heizarbeit (Bild 11). Bezogen auf 6 kW Normheizleistung und 1500 Vollbenutzungsstunden entspricht das

$$\frac{6 \text{ kW} \cdot 1500 \text{ h/a} \cdot 0,04}{10 \text{ kWh/m}^3} = 36 \text{ m}^3/\text{a Erdgas E}$$

Wenn der Kessel statt 107 % Nutzungsgrad nur mehr 90 % aufweist, bewirkt das einen Unterschied von

$$36 \text{ m}^3 \left(\frac{1}{0,9} - \frac{1}{1,07} \right) = 6,3 \text{ m}^3 \text{ Erdgas E}$$

Hier noch „Optimierungen“ oder gar neue Geräteentwicklungen einzufordern, wäre geradezu grotesk. Das Niedrigenergiehaus hat somit tatsächlich seine eigenen Bedingungen. Und diese begünstigen eher den Trend auf das letzte Quentchen an „Optimierung“ zu verzichten, wenn dadurch vor allem die Zuverlässigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Geräte gesteigert werden können. □

Literatur:

[1] „Brennwertkessel im Feldversuch: Praxiserfahrungen über 4 Heizperioden“; Theo Jannemann, Gas 39 (1988) Heft 2.