

## Energieeffizienz von Gebäuden und Gasbrennwertanlagen

# Energieanalyse aus dem Verbrauch

Die Autoren halten folgenden Weg für gangbar: Bedarfsenergiepässe werden generell für Neubauten erstellt, da hier noch keine Verbrauchsdaten vorliegen. Hier wird der ganzheitliche Bilanzansatz für Gebäude, Anlagentechnik, Nutzung und Qualität in Planung und Ausführung der DIN 18599 verfolgt. Für die Bewertung von Bestandsbauten, die nicht (im Zuge der Energiepasserstellung) modernisiert werden, schlagen die Autoren das Ausstellen eines verbrauchsorientierten Energiepasses vor.

Werden bestehende Gebäude modernisiert und die Berechnungen zum Energiepass dienen auch zur Prognose von Energieeinsparungen oder sind Grundlagen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, sollte unbedingt ein Abgleich zwischen vor der Modernisierung gemessenen Verbrauchswerten und voraussichtlichen theoretischen Bedarfswerten nach der Modernisierung erfolgen. Die Aussage der vermutlichen Energieeinsparung muss sich am vorhandenen Verbrauch bzw. den zugehörigen Randbedingungen orientieren und diese entsprechend berücksichtigen.

### Ermittlung der Verbrauchsdaten

Im Folgenden wird ein Ansatz zur Ermittlung von Energiekenngrößen für Baukörper, Anlagentechnik, Nutzung und Qualitätssicherung aus Verbrauchsdaten be-



Spätestens mit dem Inkrafttreten der Europäischen Gebäuderichtlinie sind auf breiter Front Energiepässe für Gebäude auszustellen. Die derzeitige Diskussion behandelt die Frage, für welche Gebäude und in welcher Detailtiefe diese Pässe zu erstellen sind. Zudem werden die interessanten Ergebnisse des Projekts „Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel“ vorgestellt.

schrieben. Der Schwerpunkt liegt bei der Bewertung von Wohngebäuden bzw. des Heizenergieverbrauchs von Gebäuden. Der Ansatz kann Grundlage für den verbrauchsorientierten Energiepass als auch den Verbrauchs-/Bedarfsabgleich sein. Vorteile, die sich aus der verbrauchsorientierten energetischen Analyse von Wohngebäuden ergeben, werden in mehreren von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekten [1] [11] [12] deutlich. Eine vertiefte Bearbeitung des Themas u. a. in der Dissertation der Mitautorin [10] zeigt, dass Verbrauchswerte eine sehr vertrauenswürdige Datenbasis für Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Energieeinsparmaßnahmen sind. Auf Basis von realen Verbrauchsdaten werden mögliche Energieeinsparungen nicht überbewertet und somit für den betroffenen Gebäudebesitzer realistisch darstellbar.

Jahresverbrauchswerte aus Heizkostenabrechnungen liefern eine erste Gesamtbewertung von Bestandsgebäuden. Detailliertere Informationen über Gebäude, Anlagentechnik, Nutzung und Qualitätssicherung lassen sich aus der Analyse von monatlichen Verbrauchswerten ermitteln. Im einfachsten Fall kann der monatliche Gesamtwärmeverbrauch des Gebäudes erfasst werden (Gas, Fernwärme usw.). Durch den (zusätzlichen) Einbau von Wärmemengenzählern zur Erfassung der Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Raumheizung – und wenn möglich auch für die Trinkwarmwasserbereitung – lassen sich die aus dem Verbrauch ableitbaren Informationen verfeinern. In einem nach Bild 1 mit Messeinrichtungen ausgestatteten Gebäude können zum einen Wärmemengen, die im beheizten Bereich auftreten von denen im unbeheizten Bereich unterschieden wer-

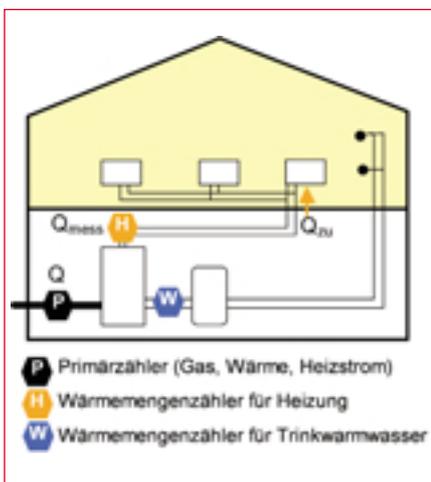


Bild 1 Anordnung der Wärmemengenzähler

den. Die Monatsdatenauswertung erlaubt darüber hinaus die Unterscheidung in Energieaufwendungen, die abhängig von der Belastung (Außentemperatur bzw. Wärmeerzeugerbelastung) sind und solche, die davon unabhängig sind.

## Beurteilung des beheizten Bereichs

Zunächst soll die Auswertung der im beheizten Bereich verbrauchten Wärmemenge erfolgen. Die gemessenen monatlichen Verbrauchswerte für die Heizung werden dazu als mittlere Wärmeleistung (gemessener Energieverbrauch in kWh/Zeitraum geteilt durch Länge des Messzeitraums in h/Zeitraum) abhängig von der zugehörigen Außentemperatur in ein Diagramm eingetragen – Bild 2. Die Heizverteilungsverluste im unbeheizten Bereich sind hier vorher berücksichtigt und von den am Wärmemengenzähler gemessenen Verbrauchswerten abgezogen worden. Die exakte monatliche Datenerfassung z. B. mit einem Speicherwärmemengenzähler ist sinnvoll, da auch Wetterdaten meist nur für Gesamtmonate verfügbar sind. Die notwendigen Wetterdaten erhält man am kostengünstigsten im Internet. Hierbei sei besonders auf den kostenlosen Service des IWU, Darmstadt hingewiesen ([www.iwu.de](http://www.iwu.de)). In das Diagramm nach dem in Bild 2 gezeigten Schema werden alle Messpunkte eingetragen. Für die Messpunkte in den sogenannten Kernheizmonaten November bis März (bei denen die mittlere Außentemperatur unter 6 ... 8°C liegt) streuen die Datenpunkte meist nur wenig um eine einfach

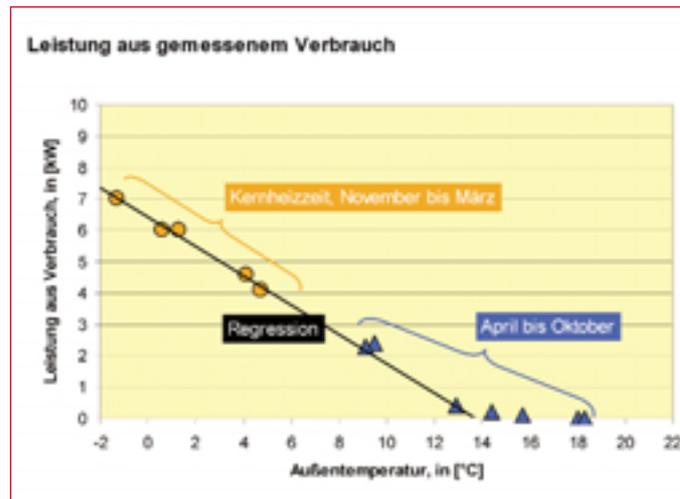


Bild 2 Auftragung der Messwerte mit Regressionsgerade

zu ermittelnde Regressionsgerade. Die anderen Messpunkte der Monate April bis Oktober sind zunächst als zusätzliche Messpunkte zu verstehen, die nicht unbedingt für das Vorhaben „Erstellung eines verbrauchsorientierten Energiepasses“ benötigt werden.

## Erläuterungen zum Messdatenverlauf

Die Steigung der Geraden im Diagramm entspricht dem bezogenen Wärmeverlust aus Transmission und Lüftung (= bezogene Heizlast in W/K). Diese Größe wird mit  $H$  bezeichnet. Je schlechter die Dämmqualität eines Gebäudes oder je höher der mittlere Luftwechsel desto höher die Steilheit der Geraden und desto größer ist  $H$ . Wichtig für weitergehende Überlegungen ist die Tatsache, dass die Steigung der Regres-

sionsgeraden von einer mittleren Raumtemperatur unabhängig ist. Die Größe  $H$  kann aus dem Diagramm einfach abgelesen werden. Die Größe kann aber auch nach Gleichung 1

berechnet werden. In bedarfsorientierten Energiebilanzverfahren wird hierzu recht kostenintensiv und zeitaufwendig die Gebäudegeometrie (einzelne Hüllflächen  $A_i$ , zur Gesamthüllfläche  $A$  sowie das Gebäudevolumen  $V$ ) aufgenommen, Wärmedämmstandards ( $U_i$ ) zu einem mittleren  $U_m$ -Wert unter Berücksichtigung von Temperaturkorrekturen abgeschätzt und Luftwechsel ( $n$ ) angenommen [5] [6] [8] [7] [13].

$$H = H_T + H_V = U_m \cdot A + n \cdot V \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \quad (1)$$

- $H$ : bezogener Wärmeverlust, in [W/K]
- $H_T$ : bezogener Transmissionswärmeverlust, in [W/K]
- $H_V$ : bezogener Lüftungswärmeverlust, in [W/K]

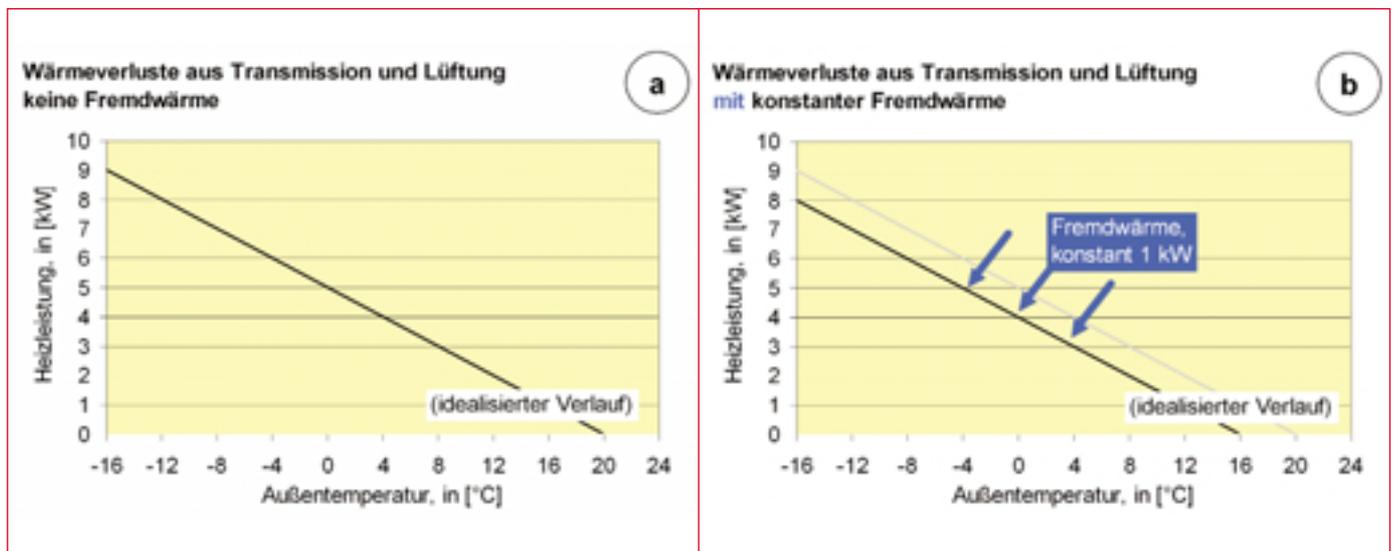
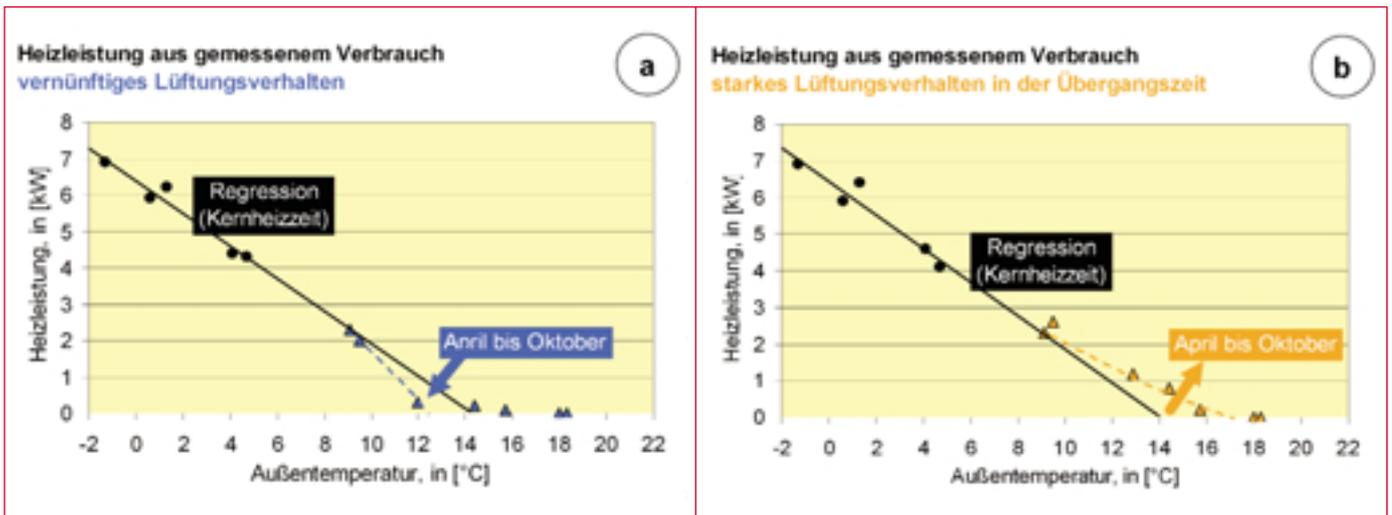
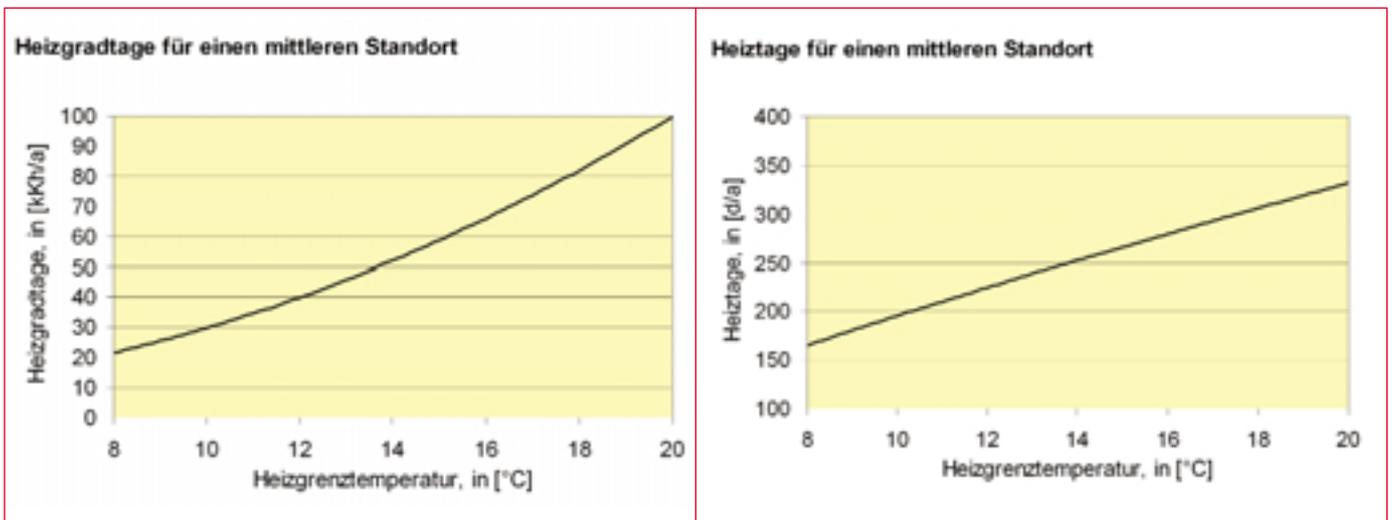


Bild 3 Verlauf der Heizleistung; (a) idealisierte Verluste aus Transmission und Lüftung ohne Fremdwärme; (b) idealisierte Verluste aus Transmission und Lüftung mit konstanter Fremdwärme

# Heizung



**Bild 4 Verlauf der Heizleistung;** (a) Verlauf der Heizleistung mit normalem Lüftungsverhalten in der Übergangszeit (b) Verlauf der Heizleistung bei zu starkem Lüften in der Übergangszeit



**Bild 5 Typische Heizgradtage und Heiztage**

Der Laie fragt sich bei der Betrachtung der Verbrauchsdatenauswertung nach Bild 2 zunächst, warum die Regressionsgerade nicht durch die Raumtemperatur von z. B. 20 °C verläuft. Da die Wärmeverluste eines Gebäudes durch Transmission und Lüftung proportional der Innen-/Außentemperaturdifferenz sind, müsste theoretisch bis zur Raumtemperatur geheizt werden (Bild 3a). Dies wäre in einem Gebäude ohne jegliche innere Wärmequellen und bei Vernachlässigung solarer Wärmegewinne richtig. In der Realität tritt Fremdwärme auf. In der Kernheizzeit November bis Februar/März ist sie darüber hinaus näherungsweise konstant und führt damit zu einer Parallelverschiebung der Heizlastkurve (Bild 3b). Die Steigung der Geraden ändert sich dabei nicht. In der Übergangszeit sind die Verbrauchswerte sehr viel stärker dem Einfluss des Nut-

zerverhaltens unterworfen. Sie liegen i. d. R. nicht mehr so eindeutig auf der „Kernheizzeit-Regressionsgeraden“, sondern streuen mehr. Es gibt zwei Tendenzen:

1. In den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst entsteht durch die höheren Solareinstrahlungen eine erhöhte mittlere Fremdwärmeleistung, die theoretisch sogar zu einer niedrigeren Heizgrenztemperatur führen müsste. Die Verbrauchswerte liegen tendenziell unter der „Kernheizzeit-Regression“ (Bild 4a).
2. Da in den Übergangszeiten aus den verschiedensten Gründen aber häufig viel stärker gelüftet wird, kann jedoch auch der gegenteilige Effekt auftreten, die Heizgrenztemperatur verschiebt sich zu höheren Werten. Die Verbrauchswerte liegen tendenziell über der „Kernheizzeit-Regression“ (Bild 4b).

## Einfache Gesamtenergiebilanz

Für den Schnittpunkt der Regressionsgerade mit der Außentemperatur-Achse (X-Achse) ergibt sich eine theoretische Heizgrenztemperatur, bei der die Fremdwärmegewinne gleich den Wärmeverlusten sind und folglich die Heizlast null wird. An Tagen unterhalb dieser Außentemperatur muss geheizt werden. Mit der aus Messwerten ermittelten Heizgrenztemperatur (gerundet auf einen standardisierten Wert: 10, 12, 15, 17 °C) kann für den Standort und das Gebäude eine typische Standardheizperiodendauer  $z$  sowie mittlere Heizgradtage bestimmt werden (Bild 5). Die notwendigen statistischen Wetterdaten sind vielfach veröffentlicht [4] [17]. Der normierte Heizenergieverbrauch des Gebäudes lässt sich nun auf eine einfache

# Heizung

Beziehung zurückführen. Er ist die Summe der Wärmezufuhr in den beheizten Bereich und der technischen Verluste im unbeheizten Bereich nach Gleichung 2.

$$Q = Q_h + Q_t \quad (2)$$

$$= (H \cdot G) + (Q_d + Q_s + Q_g)$$

- $Q_h$ : normierter Heizwärmeverbrauch, in [kWh/a]
- $Q_t$ : anlagentechnische Verluste außerhalb des beheizten Bereichs, in [kWh/a]
- $H$ : aus Messdaten abgeleiteter bezogener Wärmeverlust, in [W/K]
- $G$ : normierte Heizgradtage mit einer aus Messdaten abgeleiteten Heizgrenztemperatur, in [kKh/a]
- $Q_d$ : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Verteilverluste, in [kWh/a]
- $Q_s$ : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Speicherverluste, in [kWh/a]
- $Q_g$ : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Erzeugerverluste, in [kWh/a]

Die Bestimmung der technischen Verluste unter Einbezug von Messwerten wird im Folgenden erläutert.

## Verteilverluste im unbeheizten Bereich

Die standardisierten Verteilverluste im unbeheizten Bereich müssen mit Hilfe von Kennwerten, aber auch unter Verwendung von realen Anlagengrößen abgeschätzt werden. Es kann der Zusammenhang nach Gleichung 3 verwendet werden.

$$Q_d = L_{\text{Rohr}} \cdot U_{\text{Rohr}} \cdot (t_{i,\text{Rohr}} - t_{\text{unbeheizter Raum}}) \cdot z \quad (3)$$

- $Q_d$ : standardisierte Verteilverluste, in [kWh/a]
- $L_{\text{Rohr}}$ : Heizleitungslängen im unbeheizten Bereich des Gebäudes, in [m]
- $U_{\text{Rohr}}$ : mittlerer längenbezogener Wärmeverlust der Leitungen (z. B. nach Bild 6a), in [W/(mK)]
- $t_{i,\text{Rohr}}$ : mittlere Temperatur in den Rohren (näherungsweise nach Bild 6b), in [°C]
- $t_{\text{unbeheizter Raum}}$ : Temperatur im unbeheizten Raum (z. B. aus Messung abgeschätzt), in [°C]
- $z$ : Heiztage mit der aus Messdaten abgeleiteten Heizgrenztemperatur (siehe Bild 5), in [h/a]

Die Leitungslängen im unbeheizten Bereich müssen bei einer Gebäudebegehung aufgenommen werden. Dabei wird auch der typische Dämmstandard für die Leitungen erfasst. Bild 6b kann zur Ermittlung des mittleren längenbezogenen Wärmeverlustes für die Rohre herangezogen werden. Bei der Gebäudebegehung werden nun noch vier Temperaturen erfasst: die Vorlauftemperatur der Heizleitungen, die mittlere Rücklauftemperatur der Heizleitungen, die Außentemperatur und die typische Kellertemperatur.

Mit Bild 6a wird aus dem Mittelwert der gemessenen Vor- und Rücklauftemperatur des Heiznetzes (I) und der gemessenen Außentemperatur (II) der typische Heizwassertemperaturverlauf (III) konstruiert. Vereinfacht liegen alle Heiznetztemperaturen über den Verlauf des Jahres auf dieser Linie (III). Der Einsatz einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung wird hierbei vorausgesetzt. Nun kann beispielsweise mit der normierten mittleren Außentemperatur aus den statistischen Wetter-

daten (IV) auch die mittlere Heizwassertemperatur (V) bestimmt werden. Zusammen mit der typischen gemessenen Kellertemperatur und der normierten Anzahl der Heiztage kann der Mittelwert für die Verteilverluste im unbeheizten Bereich bestimmt werden.

Die beschriebene Vorgehensweise kann auch für die Abschätzung monatsweiser Verteilverluste verwendet werden. Aus Bild 6a wird die mittlere Heizwassertemperatur anhand der mittleren Monatstemperatur abgelesen und in die Gleichung zur Bestimmung der Verteilverluste wird die Zeitdauer eines Monats eingesetzt.

## Beurteilung von Wärmeerzeugern

Mit den Messeinrichtungen nach Bild 1 lassen sich auch alle wichtigen Kennwerte fossil beheizter Wärmeerzeuger ableiten. Alternativ zur heute üblichen Bewertung von Wärmeerzeugern mit Nutzungsgraden oder Aufwandszahlen kann dazu das Verfahren des „normierten Energieaufwands“ [14] verwendet werden. Basis des Verfahrens sind gemessene Nutzenergieabgaben (Output) und Endenergiemengen (Input) der Wärmeerzeuger. Die Darstellung des Nutzungsgrades oder der Aufwandszahl als Funktion der Auslastung ergibt stark gekrümmte Verläufe – vor allem im Bereich geringer Auslastungen des Wärmeerzeugers (Bild 7a und b).

Stellt man die Verluste jedoch in der Form „Energieaufwand“ über „Energieabgabe“ dar, ergeben sich in erster Näherung lineare Auftragungen (Bild 7c). Die lastabhängigen Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste) nehmen linear mit der Nutzenergieabgabe (= Belastung) des Kessels zu,

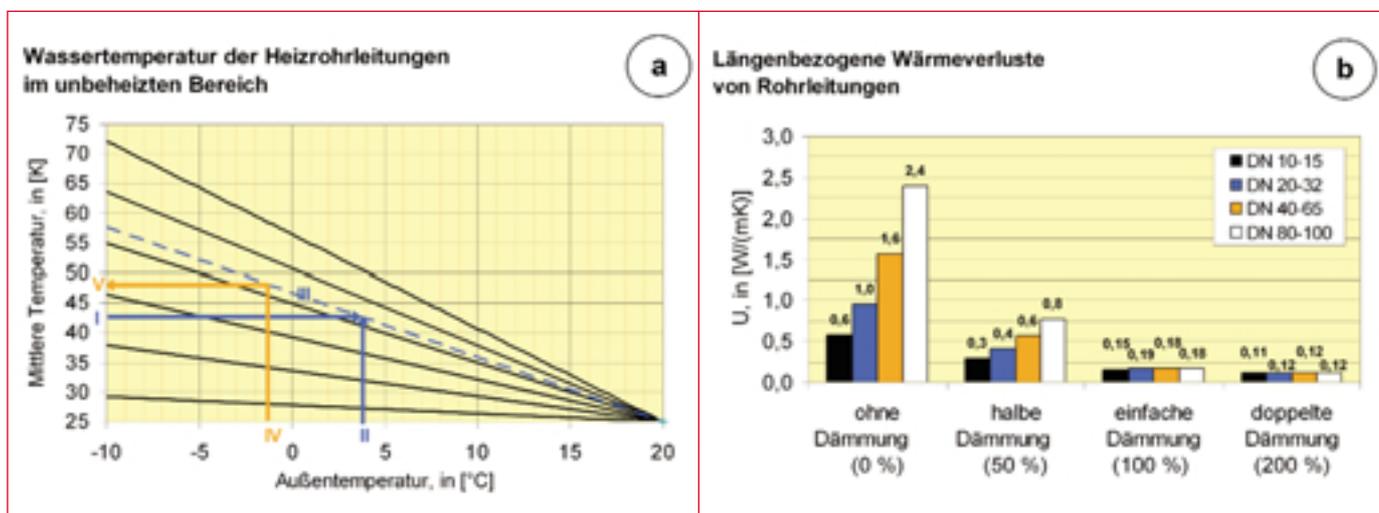
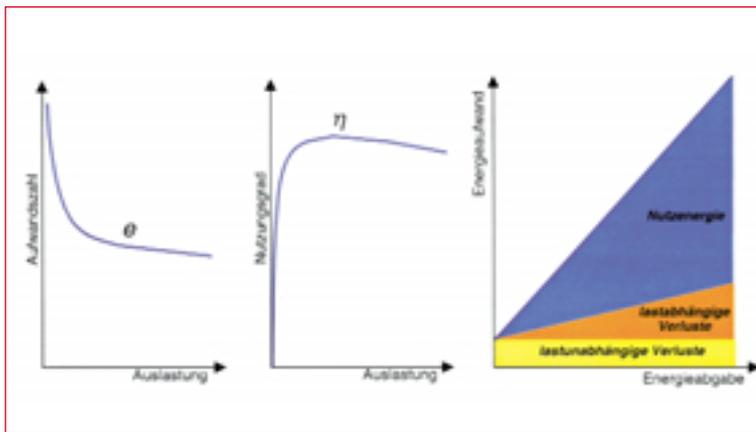


Bild 6 Abschätzung von Verteilverlusten; (a) Heizwassertemperatur, (b) Längenbezogener Wärmeverlust der Leitungen



**Bild 7 Nutzungsgrad (a), Aufwandszahl (b), Energieaufwand (c) [10]**

chung 9 kann ein standardisierter Erzeugerverlust bestimmt werden.

$$\beta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\dot{Q}_K \cdot z} \quad (8)$$

$$Q_g = Q_{\text{Feuerung}} - Q_{\text{Nutz}} = (w_{\text{auf}} \cdot \dot{Q}_K \cdot z) - Q_{\text{Nutz}} \quad (9)$$

- $\beta$ : Auslastung
- $Q_{\text{Nutz}}$ : Nutzenergieabgabe des Kessels
- $\dot{Q}_K$ : Kesselnennleistung
- $z$ : Heiztage mit der aus Messdaten abgeleiteten Heizgrenztemperatur (siehe Bild 5), in [h/a]
- $Q_g$ : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Erzeugerverluste, in [kWh/a]
- $Q_{\text{Feuerung}}$ : Feuerungswärmeaufnahme des Kessels
- $w_{\text{auf}}$ : normierter Energieaufwand

## Kompatibilität der Energiepassverfahren

Der einfache Vorschlag zur Energiebilanz aus Verbrauchsmessungen ist voll kompatibel mit den bekannten Bilanzansätzen und hat den Vorteil, dass er mit einfachen Mitteln und Rechenwerkzeugen durchführbar ist. Die Bewertung des Gesamtsystems „Gebäude“ kann alternativ zur theoretischen Bedarfsrechnung also auch anhand von Verbrauchsdaten erfolgen, im einfachsten Fall aus Jahresverbrauchsdaten. Mit heute verfügbaren Wärmemengenzählern, welche die Datenspeicherung von Monatsverbrauchswerten ohne Zusatzaufwand er-

während die lastunabhängigen Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste) praktisch nicht von der Belastung abhängen.

Will man das Diagramm des „normierten Energieaufwands“ anhand von Messwerten erstellen, reichen praktisch 2 Messpunkte aus, um die Gerade zeichnen zu können – ein klarer Vorteil gegenüber der Darstellung des Nutzungsgrades oder der Aufwandszahl. Mit weiteren Messwerten (mehrere Monate) gewinnt die Auswertung zusätzlich an Sicherheit. Es werden für den Kessel somit zunächst die absoluten Wärmemengen (Input, Output) für den Erzeuger erfasst. Monatliche Messwerte eignen sich dafür. Anschließend werden die Messwerte nach Gleichung 4 und 5 normiert. Dazu werden sowohl die monatlich gemessene Feuerungswärme  $Q_{\text{Feuerung}}$  (Brennstoffverbrauch mal Brennwert) als auch die Nutzenergieabgabe  $Q_{\text{Nutz}}$  (Wärmemengenzählerwerte) des untersuchten Wärmeerzeugers auf die maximal mögliche Energieabgabe (Produkt aus Kesselnennleistung und Zeit eines Monats) bezogen.

$$w_{\text{auf}} = \frac{Q_{\text{Feuerung}}}{\dot{Q}_K \cdot t_B} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\dot{Q}_K \cdot t_B} \quad (5)$$

- $w_{\text{auf}}$ : normierter Energieaufwand
- $Q_{\text{Feuerung}}$ : Feuerungswärmeaufnahme des Kessels
- $\beta$ : Auslastung
- $Q_{\text{Nutz}}$ : Nutzenergieabgabe des Kessels
- $\dot{Q}_K$ : Kesselnennleistung
- $t_B$ : Messzeit (z. B. ein Monat)

Die beiden entstehenden Größen sind der normierte Energieaufwand  $w_{\text{auf}}$  und die Kessel-Auslastung  $\beta$ . Alle Monatswerte werden in ein Diagramm eingetragen und

durch eine Ausgleichsgerade verbunden (siehe Bild 8). Aus der Geraden nach Bild 8 können anschließend sehr einfach bekannte Energiekennwerte ermittelt werden. Der Kesselwirkungsgrad im Betrieb ergibt sich beispielsweise bei einer Auslastung von 100 % ( $\beta = 1$ ). Es gilt Gleichung 6.

$$\eta_K = \frac{\text{Kesselleistung}}{\text{Feuerungsleistung}} = \frac{1}{w_{\text{auf}} (\beta = 1)} \quad (6)$$

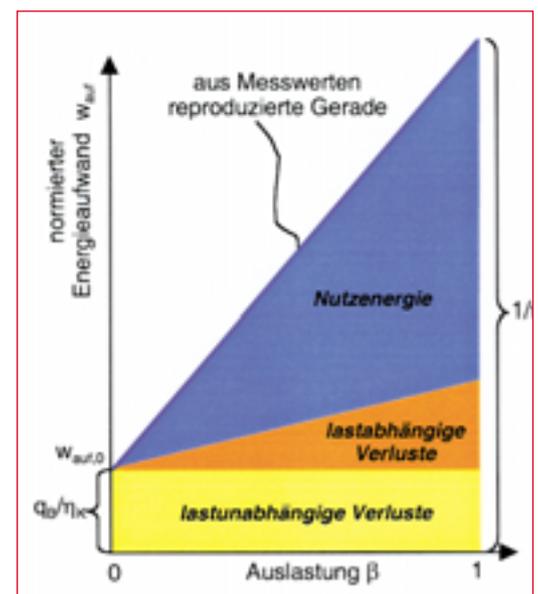
- $\eta_K$ : Kesselwirkungsgrad
- $w_{\text{auf}} (\beta = 1)$ : normierter Energieaufwand bei Vollast

Den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse nennt man  $w_{\text{auf},0}$ . Aus dieser Kenngröße kann nach Gleichung 7 der mittlere Betriebsbereitschaftsverlust berechnet werden.

$$q_B = \eta_K \cdot w_{\text{auf},0} \quad (7)$$

- $q_B$ : Bereitschaftsverluste
- $w_{\text{auf},0}$ : normierter Energieaufwand bei Nullast
- $\eta_K$ : Kesselwirkungsgrad

Mit Hilfe des normierten Energieaufwands  $w_{\text{auf}}$  können auch die standardisierten Erzeugerverluste  $Q_g$  berechnet werden. Es wird zunächst die Energiemenge  $Q_{\text{Nutz}}$  bestimmt, die der Kessel im Verlauf eines Standardjahres abgeben muss. Dies ist die Summe aus normiertem Heizwärmeverbrauch  $Q_h$  und den normierten Verteil- und Speicher- verlusten  $Q_d$  sowie  $Q_s$  (nach Gleichung 2). Mit Hilfe der Gleichung 8 wird dann eine mittlere Belastung  $\beta$  des Erzeugers berechnet. Für diese Belastung wird der normierte Energieaufwand  $w_{\text{auf}}$  aus dem Diagramm (Bild 8) bestimmt. Mit Glei-



**Bild 8 Ermittlung bekannter Kennwerte**

# Heizung

möglichen, ließen sich die oben beschriebenen Informationen zum Gebäude und zur Anlagentechnik, sowie zur Nutzung für eine bevorstehende Sanierung bzw. Modernisierung gewinnen. Es erscheint den Verfassern deshalb durchaus angemessen, die Installation von zusätzlichen Messeinrichtungen (Ölmengenmesser, Wärmemengenzähler), ggf. finanziert durch Zuschüsse, als sinnvolle Maßnahme zur Erstellung eines Energiepasses für Gebäude mit hohen Verbrauchswerten und/oder mit kurz-, mittel- oder langfristig vorgesehener Modernisierung der Fassade, der Fenster und der Anlagentechnik zu fordern.

Der in der derzeitigen Diskussion favorisierte, rein bedarfsorientierte Energiepass [8] [7] kann so durch den verbrauchsorientierten sinnvoll und kostengünstig ergänzt werden. Dies gilt vor allem für alle Bestandsgebäude, die in absehbarer Zeit nicht für eine Sanie-

rung oder für eine Modernisierung vorgesehen sind. Durch Verbrauchsauswertungen erhält man zudem realistische Energiekennwerte ohne die Gefahr, dass auf Basis reiner Bedarfsrechnungen mit teilweise unrealistisch festgelegten Randbedingungen falsche Hoffnungen auf nicht erreichbare Einsparungen bei einer Modernisierung entstehen.

## Brennwertkessel im Feldtest

Abschließend und ergänzend wird nachfolgend noch über das Projekt „Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel“ berichtet. Hierbei ließen sich mit den gleichen Messeinrichtungen wie oben beschrieben alle wichtigen Kennwerte der fossil beheizten Wärmeerzeuger ableiten.

Im Projekt wurden 60 Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln sowie 7 Anlagen mit Gas-Niedertemperaturkesseln mit zusätzlichen Wärmemengenzählern ausgestattet. Dabei wurde die zugeführte Energie (Aufwand) über die Gasmenge und die abgeführte Energie (Nutzen) über die Wärmemengenzähler erfasst. Zur Datenauswertung wurde u. a. das Verfahren des „normierten Energieaufwandes“ verwendet. Die untersuchten Brennwertkessel (in Ein- und Zweifamilienhäusern) sind gegenüber der Gebäudeheizlast um etwa das zwei- bis

vierfache überdimensioniert, so dass sich eine mittlere Kesselauflastung  $\beta$  von ca. 9 % ergibt. Werden alle Brennwertkesselanlagenlagen unabhängig von ihren speziellen Merkmalen gemeinsam ausgewertet, ergibt sich das Diagramm des „normierten Energieaufwandes“ nach Bild 9. Aus der Ausgleichsgeraden der Monatsmesswerte resultiert auf ein Jahr bezogen ein durch-

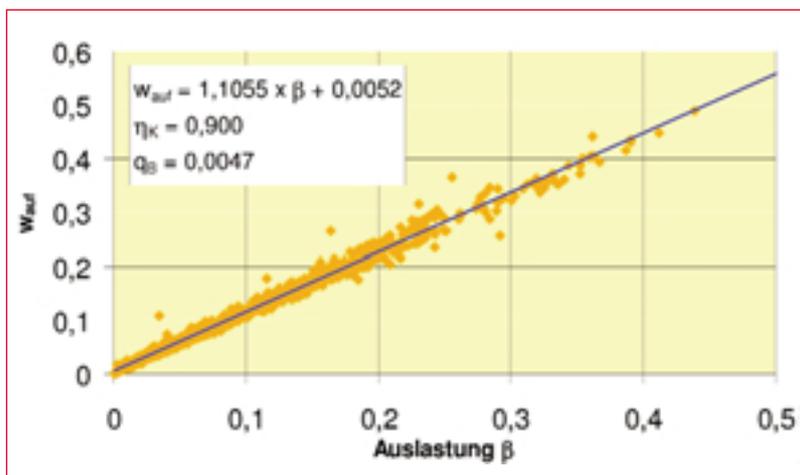


Bild 9 Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe [1]

schnittlicher Betriebsbereitschaftsverlust von  $q_B = 0,47$  % für alle Brennwertanlagen. Der mittlere Kesselwirkungsgrad im Betrieb beträgt  $\eta_K = 90$  % (Brennwertbezug). Für die festgestellte mittlere Belastung der Anlagen von 9 % ergibt sich ein normierter Energieaufwand von  $w_{auf} = 0,105$ . Das bedeutet:

1. 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 kW.
2. Die benötigte, zugeführte Leistung beträgt 10,5 % der installierten Kesselleistung ( $w_{auf} = 0,105$ ). Für den 20-kW-Kessel beträgt sie also im Mittel 2,1 kW.
3. Der mittlere Nutzungsgrad aller untersuchten Brennwertkessel liegt damit bei rund 86 % ( $1,8 \text{ kW} / 2,1 \text{ kW}$ ) bezogen auf den Brennwert. Bezogen auf den Heizwert liegt der Nutzungsgrad damit bei etwa 96 %.

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 Überströmven-

til. Die verschiedenen untersuchten Merkmale zeigt Bild 10, ebenso jeweils in Klammern angegeben die Anzahl der Anlagen je Gruppe.

Aus den sich ergebenden Auftragungen des normierten Energieaufwandes wurden jeweils alle Effizienzmerkmale abgeleitet. Bild 10 zeigt die Ergebnisse des Kesselwirkungsgrades (bei Belastung  $\beta = 100$  %) und

des mittleren normierten Kesselnutzungsgrades (bei mittlerer Kesselbelastung  $b$ ) für verschiedene Anlagenmerkmale.

Die Analyse der Feldmessungen zeigt Abhängigkeit des mittleren Nutzungsgrades sowie des Kesselwirkungsgrades:

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

Weitere Erläuterungen und Auswertungen der Brennwertkesselanlagen sowie die Ergebnisse für die Niedertemperaturanlagen sind in den entsprechenden Kapiteln des im Internet veröffentlichten Berichtes [1] zu finden.

## Jahresnutzungsgrade zwischen 60 und 94 %

Ein Vergleich der Messwerte des Projekts „Brennwertkessel“ mit theoretischen Bedarfswerten nach DIN V 4701-10 sowie dem Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 [3] ergab große Differenzen für die untersuchten Anlagen. Die Spannweite der auf die beheizte Fläche bezogenen Kesselverluste der im Feldtest untersuchten Wärmeerzeuger liegt zwischen 5 und 35  $\text{kWh}_{(H_0)}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  die Spannweite der auf den Brennwert  $H_0$  bezogenen Jahresnutzungsgrade zwischen ca. 60 und 94 %; wobei man beim heutigen Stand deutscher Kesseltechnologie von gleicher Qualität der eingesetzten Geräte ausgehen kann.

Für ein typisches Einfamilienhaus des Projekts ergaben sich im Mittel beispielsweise gemessene brennwertbezogene Kesselverluste von  $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Die EnEV-konforme Berechnung liefert im gleichen Fall  $q_g (H_0) = 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  bei guten Rand-

# Heizung

bedingungen (BDH-Produktkennwerte, 55/45 °C Auslegung u. a.) und  $q_{\text{gr}}(\text{H}_2\text{O}) = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bei schlechten Randbedingungen (DIN-Standardwerte für Brennwertkessel und 70/55 °C Auslegung u. a.).

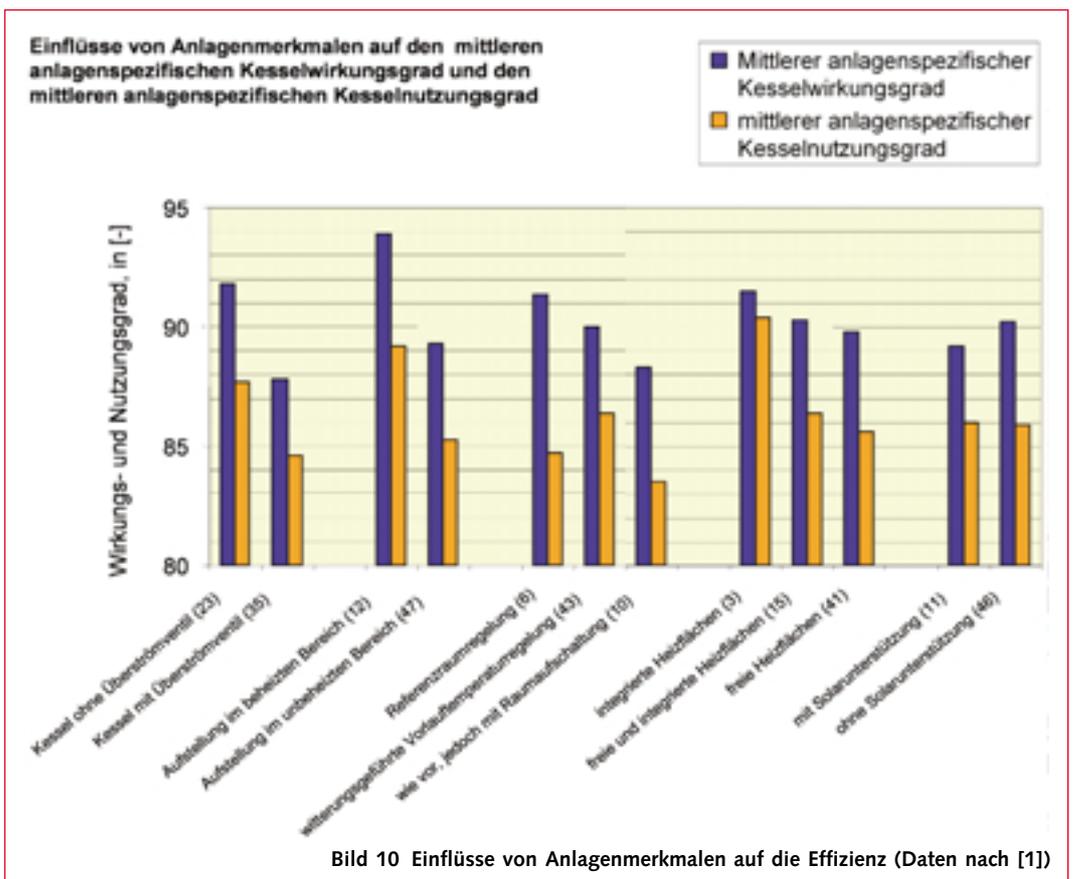
Die Theoriewerte der DIN 4701-10 ergeben also nur eine akzeptable Übereinstimmung mit den realen Messwerten, wenn u. a. für die Kessel die Standardwerte nach Anhang C und nicht die verbesserten Kennwerte nach BDH verwendet werden.

Die in der Praxis verbreitete Annahme, dass der tatsächlich erreichbare Jahresnutzungsgrad nur etwa 1 % unter dem Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 liegt [2], konnte durch das Projekt nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse des Projektes „Brennwertanlagen“ [1] liefern Unterschiede zwischen real gemessenem Nutzungsgrad und Normnutzungsgrad von 10 bis 13 %.

Neben diesen Ergebnissen ergab sich aus den Auswertungen eindeutig, dass nur der Bezug auf den Brennwert bzw. auf den oberen Heizwert sinnvolle Aussagen zur Effizienz von Wärmeerzeugern zulässt. 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).

## Hinweise für Konstruktion, Planung und Betrieb

Aus dem Vergleich der Theorie- und Praxiswerte wurden im Projekt „Brennwertkessel“ Regeln für die künftige Konstruk-



tion, die Planung und den Betrieb von Brennwertkesselanlagen formuliert [1].

### An die Hersteller

- Es werden Brennwertkessel mit höherem Wasserinhalt, ohne Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom (Überströmventil) benötigt.
- In Geräte integrierte Pumpen sollten insgesamt geringere Leistungen aufweisen (geringere hydraulische Widerstände der Geräte), auf jeden Fall aber sollte die Förderhöhe einstellbar und an das Netz anzupassen sein.
- Die Modulationsbereiche der Geräte sollten möglichst hoch sein, um eine Anpassung an verschiedene Auslegungslasten und Teillastbereiche zu ermöglichen.
- Die Kesselwassertemperatur sollte im

Auslieferungszustand 50 bis 55 °C betragen mit einer Parallelverschiebung der Heizkurve von etwa 2 bis 4 K bezogen auf die Raumtemperatur. Der Brennwertkessel arbeitet dann mit seiner mittleren Kesselwassertemperatur praktisch in der gesamten Heizperiode im Brennwertbereich, während dies heute (ca. 75 °C Werkseinstellung) nicht der Fall ist.

### An die Planer

- Einfache Anlagenkonzepte planen. Gesamtsysteme eines Herstellers, speziell auch für solarunterstützte Systeme, und ein einfaches Gesamtregelkonzept sind zu bevorzugen.
- Im Neubau innerhalb eines Raumes entweder nur Heizkörper oder nur Fußbodenheizflächen einsetzen.

- Kessel mit großem Wasserinhalt und möglichst hohem Modulationsbereich (Grundlaststufe unter 4 bis 5 kW) bevorzugen.
- Kessel soweit möglich im beheizten Bereich des Gebäudes anordnen.
- Bei der Wahl von Kesseln im kleinen Gebäude besonders auf geringe Bereitschaftsverluste und Pumpenstromaufwendungen achten, da die Pumpen praktisch die gesamte Heizperiode hindurch in Betrieb bzw. die Kessel größtenteils in Betriebsbereitschaft sind.
- Im Bestand sind das vorhandene Rohrnetz sowie die Heizflächen in einer Ist-Analyse aufzunehmen. Wichtig ist die Anpassung der notwendigen Heizwassertemperaturen auf einem für das Gesamtsystem, v. a. für die Brennwertnutzung sinnvollen, möglichst niedrigen Temperaturniveau. Hierzu wurden von den Verfassern Hilfen (auch mit Softwareunterstützung) im Rahmen der Projekte: „Optimus“ [12] in Zusammenarbeit mit ProKlima Hannover entwickelt und bereits erfolgreich erprobt [9].
- Grundsätzlich wird der Einbau eines Wärmemengenzählers nach dem Wärmeerzeuger als Kontrollinstrument für den späteren Betrieb empfohlen.

## An die Ausführenden

- Plandaten einstellen und in einer Fachunternehmererklärung bestätigen.
- Auf die korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler (diese wird heute in ca. 90 % aller Fälle aus „Sicherheitsgründen“ nicht eingestellt) sowie die Anpassung der Pumpe und auf die Durchführung des hydraulischen Abgleichs ist zu achten.
- Information der Nutzer über alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen sowie die Bedienung der Thermostatventilregler.

Die an die Hersteller gerichteten Vorschläge wurden in mehreren Gesprächen diskutiert mit dem ersten Konsens, dass sofern der Markt es fordert, seitens der Hersteller Kesselkonstruktionen mit ausreichendem Wasserinhalt bzw. mit geringem hydraulischem

Widerstand angeboten werden können. Hier stellt sich die Frage, ob der Markt primär von den Abnehmern oder vom Angebot der Hersteller bestimmt wird.

## 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] DIN 4702-8; Heizkessel; Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors; Beuth-Verlag, Berlin, 1990
- [4] DIN 4710; Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland; Beuth-Verlag; Berlin; 2003
- [5] DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth-Verlag; Berlin; 2000 und 2003
- [6] DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Vornorm – Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth-Verlag, Berlin, 2001 und 2003
- [7] DIN V 4701-12 Blatt 1; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand; Teil 12: Heizung, Trinkwarmwasserbereitung, Lüftung; Blatt 1 – Wärmeerzeuger und Trinkwarmwassererwärmung; Beuth; Berlin; 2003.
- [8] Energetische Bewertung von Bestandsgebäuden; Arbeitshilfe für die Ausstellung von Energiepässen; Deutsche Energieagentur; Berlin; 2004
- [9] 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
- [10] Kati Jagnow; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagen-technik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; 2004
- [11] Kronsberg; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Entwicklung und Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen im Bereich des ökologischen Bauens am Beispiel des Stadtteils Hannover Kronsberg
- [12] Optimus; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Optimierung von Heizungsanlagen zusammen mit dem ausführenden Handwerk, Berufsbildenden Schulen, Berufsschullehrerausbildung und Wissenschaftlicher Begleitung; beteiligt u.a. Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; im Internet unter <http://www.optimus-online.de>
- [13] PAS 1027; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand; Ergänzung zur DIN 4701-12 Blatt 1; 2004.
- [14] Peter Deutscher und Lothar Rouvel; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; 2 Teile; HLH; Nr. 7 und 8/2003; VDI; Düsseldorf; 2003
- [15] Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Gebäuderichtlinie); 16. Dezember 2002
- [16] Tobias Loga; Heizgrenztemperaturen für Gebäude unterschiedlicher energetischer Standards; Bauphysik Nr. 25; 2003 sowie Energiebilanztoolbox; IWU; Darmstadt; 2001.
- [17] Wetterdatenzusammenstellung des IWU (<http://iwu-darmstadt.bei.t-online.de/datei/>) auf Basis der Daten des Deutschen Wetterdienstes (<http://www.dwd.de/de/Funde/Klima/KLIS/daten/online/nat/index.htm>)



**Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff** ist Professor für Heizungs- und Regelungstechnik im Fachbereich VT an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel, Telefax (0 53 31) 9 39 44 02



**Dipl.-Ing. (FH) Kati Jagnow** ist selbständige Ingenieurin der TGA in Wernigerode



**Dipl.-Ing. (FH) Peter Teuber** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Heizungs- und Klimatechnik, IfHK, FH Braunschweig/Wolfenbüttel