

Wirtschaftlichkeit, Technik und Planung von Brennwert-Heizungsanlagen

# Im Würgegriff der Energiepreise Teil 1

Thomas Lehmann,  
Norbert Kubach\*

Die jüngste Brennstoffkostenexplosion bei Öl und Gas hat Heizungsanlagenbesitzer und Mieter in Deutschland aufgeschreckt. Im Zuge dessen wurde von einigen Massenmedien alternative Lösungen wie die Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie ins Licht der Öffentlichkeit gerückt. Allerdings wurde z. T. nicht vermittelt, daß sich der entstandene Kostendruck kurzfristig nur durch Energieeinsparung mit bereits zur Verfügung stehenden Techniken entlasten läßt. Der nachfolgende Überblick soll deshalb zeigen, wie sich dies durch Kesselaustausch und mit dem Einsatz moderner Brennwertkessel realisieren läßt.

**K**aum ein Thema beherrscht die Öffentlichkeit im Herbst 2000 mehr als die drastisch gestiegenen Energiekosten. Allerdings richtet sich das Augenmerk in erster Linie auf die Spritpreise und deren Auswirkungen auf Fuhrunternehmen und die private Mobilität. Die finanziellen Belastungen durch die Heizkosten werden



**Bild 1** „Unical-Modulex“-Gasbrennwertkessel im Leistungsbereich 80 bis 280 kW

erst an zweiter Stelle gesehen, obwohl hier die Abhängigkeiten größer sind als beim individuellen Straßenverkehr. Das private Autofahren kann in vielen Fällen eingeschränkt oder auf andere Verkehrsmittel umgestiegen werden. Gibt es dagegen einen strengen Winter, werden die Heizkosten die Haushaltskassen empfindlich belasten. Hierbei sind besonders die Heizungsanlagen betroffen, die vor 1970 errichtet wurden und von denen nach den Erhebungen der Schornsteinfeger noch ca. zwei Millionen in Betrieb sind. Deren Nutzungsgrad liegt durchschnittlich bei ca. 70 %. Das heißt, rund 30 % der eingesetzten Brennstoffenergie geht für Heizzwecke ungenutzt verloren. Bei einem Ölpreis von ca. 1 DM pro Liter, wie er im September 2000 verlangt wurde, sind das 30 Pfennig die ungenutzt durch den Schornstein gehen.

## Wasserstofftechnologie als Problemlöser?

Vergleichbar mit den Energiekrisen der 70er Jahre werden auch jetzt wieder von Massenmedien alternative Energieformen als Lösung unserer Energieprobleme ins Licht der Öffentlichkeit gerückt. Damals glaubte man, Wärmepumpen- und Solaranlagen könnten als Wärmeerzeuger für die

Gebäudebeheizung die Heizkessel ablösen. Heute hofft man, daß Wasserstoff als künftiger Energieträger Öl und Gas ersetzen kann. Dabei entsteht der Eindruck, daß für den Einstieg in die Wasserstofftechnologie lediglich die entsprechenden Maschinen und Geräte umgerüstet werden müßten. Der Öffentlichkeit werden Innovationen wie wasserstoffbetriebene Automotoren oder Brennstoffzellen für die häusliche Energieversorgung vorgestellt. Über die grundsätzlichen Schwierigkeiten wird – wenn überhaupt – nur am Rande gesprochen. Anders als Erdöl und Erdgas ist Wasserstoff kein Primärenergieträger. Er kommt in der Natur nicht vor, sondern muß mit technischen Einrichtungen, wie beispielsweise durch Elektrolyse, aus Wasser gewonnen werden. Die dafür benötigte Energie, ist mehr als in dem dann gewonnenen Wasserstoff selbst enthalten ist. Die heutigen Wasserstoffprojekte sehen z. B. vor, den elektrischen Strom für die Elektrolyse aus Solarenergie zu gewinnen. Wasserstoff könnte dann als „Energiespeicher“, wie unsere heutigen „Energieträger“, für Verkehr und Heizung eingesetzt werden. Bis solche Projekte mit völlig neuen Energiestrukturen geschaffen sind, werden noch viele Jahre ins Land gehen. Es genügt nicht, wenn Autohersteller oder Kesselhersteller ankündigen in drei bis fünf Jahren mit wasserstoffbe-

\* Thomas Lehmann und Norbert Kubach sind Mitarbeiter von Unical Kessel und Apparate GmbH, 71665 Vaihingen/Enz, Telefon (0 70 42) 95 6, Telefax (0 70 42) 95 62 00, Internet: [www.unical.de](http://www.unical.de). Lehmann ist dort in der Abt. Technik und Kubach im Bereich Marketing/Werbung tätig.

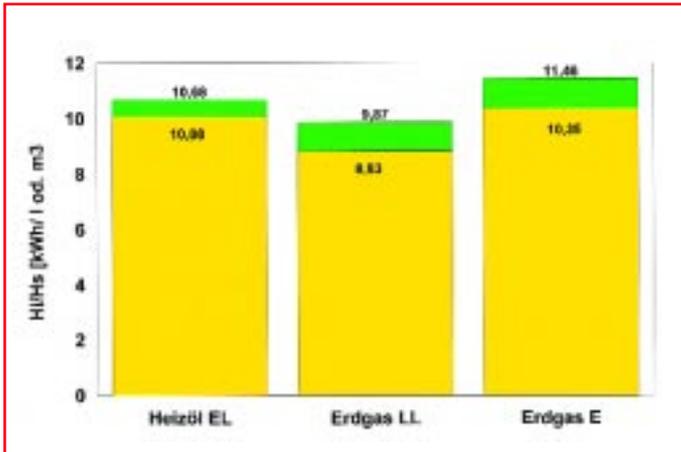


Bild 2 Oberer und unterer Heizwert von Erdgas und Heizöl EL

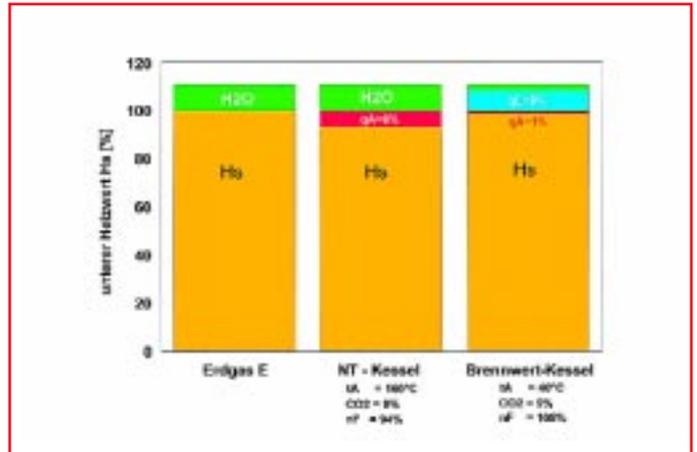


Bild 3 Vergleich der Energieausnutzung von NT- und Brennwert-Kessel

triebenen Geräten serienreif zu sein. Das Problem liegt in der Beschaffung des Wasserstoffes als preiswerter Massenenergieträger.

Der Kostendruck der durch die jüngste Energiepreisexlosion ausgelöst wurde, kann kurzfristig nur durch Energieeinsparung mit bereits zur Verfügung stehenden Techniken entlastet werden. Für die Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung ist der Austausch eines alten Kessels gegen einen modernen Brennwertkessel eine kostengünstige, und schnell zu realisierende Maßnahme. Je nach Anlage können 30 bis 40 % Energie eingespart werden. Bei älteren Gebäuden kann der Energieverbrauch auch durch nachträgliche Wärmeschutzmaßnahmen reduziert werden. Allerdings ist davon auszugehen, daß primäre Maßnahmen, wie der Einbau neuer Fenster mit Wärmeschutzverglasungen, in den meisten Fällen schon erfolgt ist. Zusätzliche Wärmeschutzmaßnahmen am Baukörper sind in der Regel mit einem höheren finanziellen und zeitlichen Aufwand verbunden. Der nachfolgende Überblick soll zeigen, wie durch Kesselaustausch und dem Einsatz moderner Brennwertkessel Energie eingespart werden kann.

dings ist bei dem derzeitigen Energiepreinsniveau zu erwarten, daß auch die Ölbrennwerttechnik wieder attraktiver wird.

### Zweifach günstige Voraussetzungen

Die breite Markteinführung der Gas-Brennwerttechnik begann in der BRD Anfang der 90er Jahre. Vor allem der Aufklärung und Zusammenarbeit der Energieversorgungsunternehmen mit den Geräteherstellern,



Bild 4 Einflußgrößen und Abhängigkeiten für eine optimale Brennwertnutzung

### Stand der Brennwerttechnik

Der Begriff „Brennwerttechnik“ wird heute allgemein für die Gas-Brennwerttechnik in Anspruch genommen. Verschiedentlich wurden bzw. werden auch Öl-Brennwertkessel am Markt angeboten, ohne daß sie bisher einen nennenswerten Marktanteil erreicht haben. Ein Grund liegt in dem ungünstigeren Kosten-Nutzenverhältnis. Aller-

Verbraucherberatungsstellen und den Schornsteinfegerinnungen ist es zu verdanken, daß die Brennwerttechnik heute im breiten Umfang etabliert ist. Fortschrittliche Heizungsbauer, Gas- und Wasserinstallateure und nicht zuletzt das Schornsteinfegerhandwerk empfehlen ihren Kunden bei der Versorgung mit Erdgas Brennwertgeräte einzubauen. Dies hat dazu geführt, daß in vielen Gasversorgungsgebieten heute schon überwiegend Brennwertgeräte eingebaut werden. Mit der jüngsten Verteuerung der Energiepreise dürfte sich dieser Trend weiter verstärken.

Auch die für Januar 2001 von der Bundesregierung geplante neue Energieeinsparverordnung (EnEV) wird sich weiter positiv auf den Absatz der Brennwertgeräte auswirken. Sie soll die bisherige Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung ablösen und in einer gemeinsamen Verordnung zusammenfassen. Damit will die Bundesregierung ihrer Verpflichtung Nachdruck verleihen, die CO<sub>2</sub>-Emission bis zum Jahre 2005 um 25 % gegenüber dem Stand von 1990 zu senken. Von der EnEV betroffen sind vor allem alte Heizungsanlagen, die vor 1979 errichtet wurden und die mit Übergangsfristen bis 2005 erneuert werden müssen. Über die Zusammenhänge der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den unterschiedlichen Energieträgern und des Energieverbrauchs wurde an anderer Stelle ausführlich berichtet [1, 2].

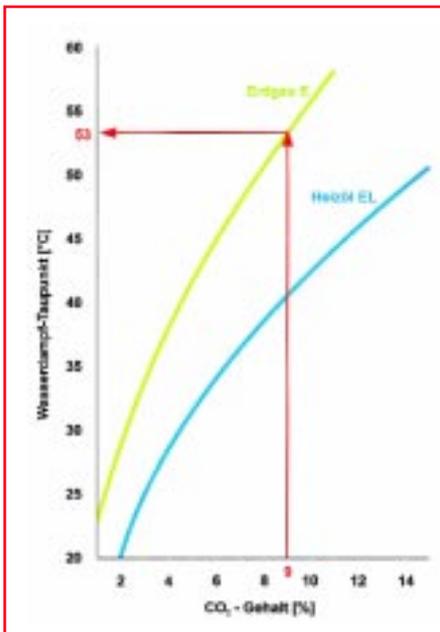
### Raumluftunabhängiger Betrieb bis 280 kW

Brennwertkessel sind heute technisch ausgereift. Ihre Zuverlässigkeit hat sich in großen Serien bewährt. Von allen heute für die Gebäudebeheizung in Großserien zur Verfügung stehenden Heizgeräten wird mit Gas-Brennwertgeräten die höchste Primärenergieausnutzung erzielt [1, 2]. Mit einem Norm-Nutzungsgrad von bis zu 110 % erreichen z. B. Unical Modulex-Gasbrennwertkessel (Bild 1) eine fast vollständige Primärenergieausnutzung. Der physikalische Grenzwert von Erdgas liegt, auf den unteren Heizwert bezogen, bei 111 %. Im Leistungsbereich bis 60 kW werden heute überwiegend kompakte Gaswand-Brennwertgeräte eingebaut. Sie können in der Regel sowohl raumluftabhängig (Bauart B) als auch raumluftunabhängig (Bauart C) be-

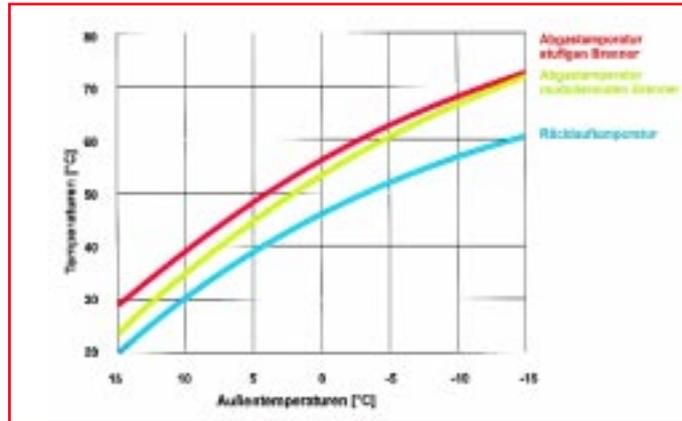
trieben werden. Bis zu einer Anlagenleistung von 50 kW dürfen nach den DVGW-TRGI-86/96-Regeln [3] Gasfeuerstätten in Aufenthaltsräumen (bewohnte Räume) installiert werden. Wegen der problemlosen Verbrennungsluftversorgung werden diese Geräte bevorzugt raumluftunabhängig betrieben. Über 60 kW dominieren die bodenstehenden Gas-Brennwertkessel, die fast ausnahmslos nur für die raumluftabhängige Betriebsweise konstruiert und zugelassen sind. Unical hat diese Marktlücke erkannt und stellte im Frühjahr 2000 auf verschiedenen Fachmessen ein neues bodenstehendes Brennwertkessel-Programm vor, das auch für den raumluftunabhängigen Betrieb (Bauart C) zugelassen ist (Bild 1). Damit eröffnen sich im Leistungsbereich 80–280 kW neue Einsatzbereiche. Das trifft vor allem dann zu, wenn auf Grund baulicher Gegebenheiten für den raumluftabhängigen Betrieb im Aufstellraum keine ausreichende Verbrennungsluftversorgung gewährleistet ist.

## Energieausnutzung und Wirtschaftlichkeit

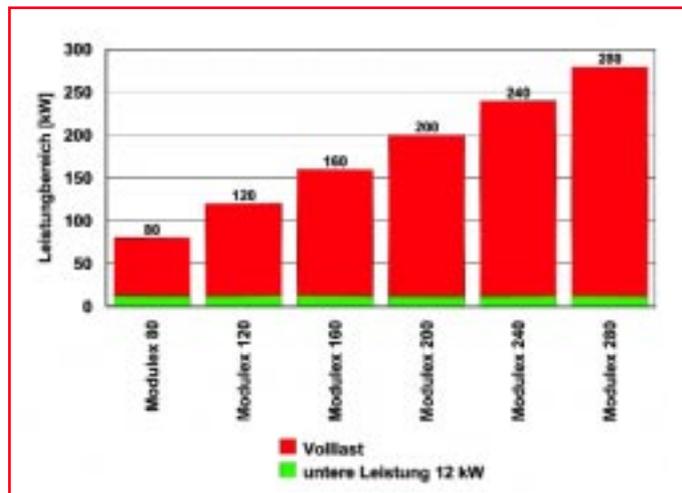
Die Grenze der Energieausnutzung konventioneller Wärmeerzeuger ist die Umwandlung der Brennstoffenergie in Heizwärme.



**Bild 5 Wasserdampftaupunkt von Erdgas und Heizöl EL**



**Bild 6 Abgastemperatur modulierender und stufiger Brenner**



**Bild 7 Modulationschema des „Unical-Modullex“-Brennwertkessels**

## Energieinhalte der Brennstoffe

Als technische Obergrenze für den Wärmeinhalt eines Brennstoffes wird bei uns, wie auch in vielen anderen Ländern, der untere Heizwert  $H_i$  (früher  $H_u$ ) als Basis genommen. Der Ursprung dieser Festlegung war, daß aus korrosionstechnischen Gründen der Wasserdampf, der als Reaktionsprodukt bei Verbrennung entsteht, nicht unter die Kondensationsgrenze abgekühlt werden durfte. Die darin enthaltene latente Wärme wurde als unvermeidlicher Verlust betrachtet und blieb daher bei den energetischen Betrachtungen unberücksichtigt. Aus dieser Tradition heraus beziehen sich auch heute noch alle Wirkungs- und Nutzungsgradangaben auf den unteren Heizwert  $H_i$ . Daher kommt es bei Brennwertkesseln, die den latenten Wärmeanteil im Wasserdampf nutzen, zu dem Kuriosum, daß ihre Energieausnutzung über 100 % liegt.

Der physikalisch korrekte Energieinhalt der Brennstoffe ist der „obere Heizwert  $H_s$ “ (früher  $H_0$ ) der auch als „Brennwert“ bezeichnet wird. Er schließt die im Wasserdampf enthaltene Kondensationswärme mit ein. Sowohl der obere Heizwert (Brennwert)

als auch der untere Heizwert hängen von dem Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis (CH-Verhältnis) ab. Je höher der Wasserstoffanteil im Brennstoff ist, um so größer ist der durch Brennwertnutzung mögliche zusätzliche Energiegewinn (Bild 2).

## Kesselbauarten und Grenzen ihrer Energieausnutzung

Die Vorteile der Brennwertkesseln werden besonders bei der Gegenüberstellung mit Niedertemperatur-Kesseln deutlich. Andere Kesselbauarten wie z. B. Standard-Heizkessel die vor den Energiekrisen der 70er Jahre eingebaut wurden, sind heute nur noch im Gebäudebestand vorhanden. Nach der Heizungsanlagen-Verordnung-1994 (Heiz-AnlV) [4] dürfen diese Kessel seit 1998 in der BRD nicht mehr eingebaut werden. Wenn die höhere Energieausnutzung eines Brennwert- gegenüber einem Niedertemperatur-Kessel (NT-Kessel) gegenübergestellt wird, ist vielfach nur von dem Kondensa-

tionswärmegewinn die Rede. Daß ein erheblicher Anteil der höheren Energieausnutzung auch aus einem wesentlich geringeren Abgasverlust stammt, wird dabei oft übersehen. Diese Unterschiede werden deutlich, wenn man beide Kesselbauarten an Hand ihrer konstruktiven Besonderheiten und dem feuerungstechnischen Wirkungsgrade gegenübergestellt werden.

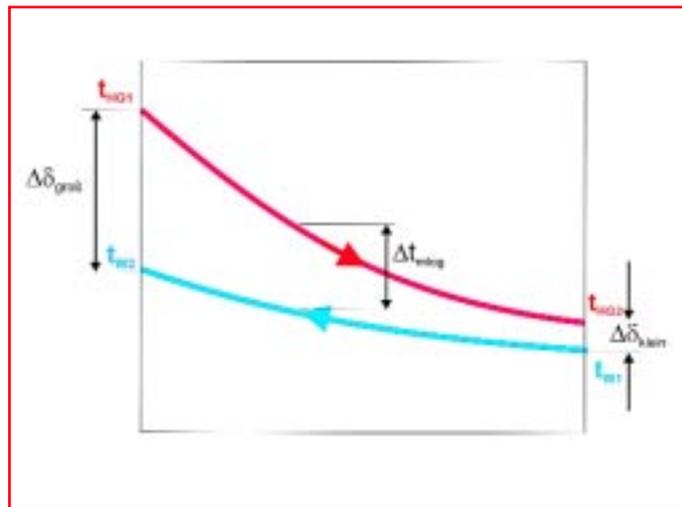
NT-Kessel sind so konstruiert, daß bei niedrigeren Kesselwassertemperaturen, wie sie in der Übergangszeit benötigt werden, der Wasserdampf in den Verbrennungsgasen nicht kondensiert. Um Korrosion zu vermeiden müssen die Kesselheizflächen trocken bleiben. Um dies zu verhindern haben NT-Kessel spezielle Heizflächen. Allerdings dürfen dabei die Abgastemperaturen nicht zu niedrig liegen. In der Regel liegt deren untere Grenze bei ca. 140–160 °C unter Vollast-Betriebsbedingungen. Bei Brennwertkessel liegen die Verhältnisse genau gegenläufig. Um die latente Wärme des Wasserdampfes zu nutzen, sollte im Kessel möglichst viel Wasserdampf kondensieren. Daher wird eine geringe Abgastemperatur angestrebt. Sie kann im Grenzfall nur an die niedrigste Temperatur im gesamten Heizsystem, in der Regel die Rücklauftemperatur, herangeführt werden. Dazu sollten die Heizflächen so konzipiert sein, daß sie eine intensive Wasserdampfkondensation begünstigen. Moderne Brennwertkessel wie die „Modulex“-Baureihe erreichen Abgastemperaturen, die nur 5–11 K über den Rücklauftemperaturen liegen. Die unterschiedlichen Energiepotentiale der verschiedenen Kesselbauarten lassen sich durch die Gegenüberstellung der feuerungstechnischen Wirkungsgrade anschaulich darstellen (Bild 3).

### Maßnahmen zur optimalen Energieausnutzung

$$\eta_F = 1 - \frac{\overbrace{q_A}^{\text{sensibler Anteil}}}{100} + \frac{\overbrace{H_s - H_1}^{\text{latenter Anteil}}}{H_1} \times \alpha$$

$$q_A = (t_A - t_L) \times \left[ \frac{A_1}{\text{CO}_2} + B_1 \right]$$

$$\alpha = \frac{V_K \text{ Kondenswassermenge (gemessen)}}{V_D \text{ Wasserdampfmenge (als Verbrennungsprodukt)}}$$



**Bild 8 Wärmeübertragung Heizgas/Wasser und Temperaturverlauf**

### Legende

- $\eta_F$  = feuerungstechnischer Wirkungsgrad
- $t_A$  = Abgastemperatur
- $t_L$  = Lufttemperatur
- $A_1$  = 0,37 Brennstoffkonstante Erdgas
- $B$  = 0,009 Brennstoffkonstante Erdgas
- $q_A$  = Abgasverlust
- $H_s$  = oberer Heizwert
- $H_1$  = unterer Heizwert
- $\alpha$  = Kondensatzahl

Gegenüber NT-Kesseln wird bei Brennwertnutzung die Formel des feuerungstechnischen Wirkungsgrades um den „latenten Anteil“ erweitert. Die Kondensatzahl ist das Verhältnis des Wasseranteils der im Kessel kondensiert zu der Menge, die bei der Verbrennung unvermeidlich als Reaktionsprodukt anfällt. Sie ist somit eine Bewertungsgröße für die Effektivität der Brennwertnutzung. Je näher  $\alpha \rightarrow 1$ , um so mehr Wasserdampf kondensiert und desto höher ist der Brennwertnutzen.

Der „sensible Abgasverlust“ wird von der Abgastemperatur und dem Verbrennungsluftüberschuß, z. B. indirekt als  $\text{CO}_2$ -Wert gemessen, bestimmt. Dabei hängt die Abgastemperatur in erster Linie von der Kesselbauart ab. Sie ist daher eine „kesselspezifische Einflußgröße“. Der Verbrennungsluftüberschuß ist dagegen nur von der Güte des Brenners abhängig. Daher ist er eine „brennerspezifische Einflußgröße“. Die Qualität eines Brenners zeigt sich in dem geringsten möglichen Luftüberschuß (z. B.  $\text{CO}_2$ -Wert) der für eine stabile Verbrennung notwendig ist. Ob der Brenner dabei in einem NT- oder Brennwertkessel eingesetzt wird, spielt so gut wie keine Rolle.

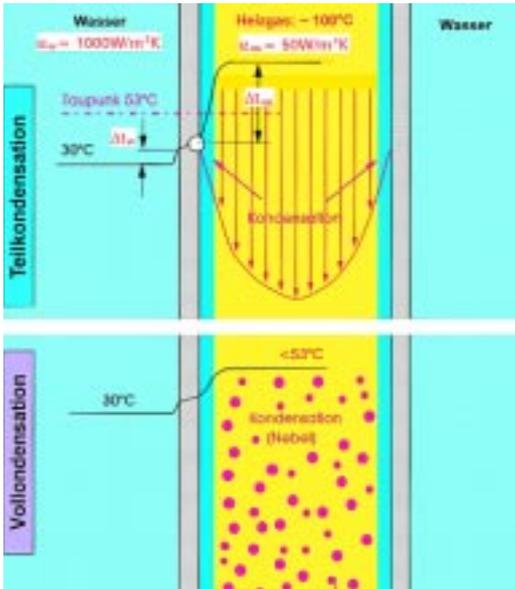
Effektivität und Höhe der Energieausnutzung einer Brennwert-Heizungsanlage hängen sowohl von der Konstruktion des Brennwertgerätes als auch von der angeschlossenen Wärmeverteilungsanlage ab. Bild 4 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Einflußgrößen mit ihren Abhängigkeiten.

### Brennwertnutzung und konstruktive Voraussetzungen

Eine optimale Brennwertnutzung hängt maßgeblich von der Bauart und Konstruktion der Gasbrenner und Kessel-Wärmeaustauschers ab. Dies wird deutlich, wenn man die Bedingungen die zur Kondensation des Wasserdampfes im Heizgasstrom führen näher betrachtet. Eine der wichtigsten Einflußgrößen hierfür ist die Abgastemperatur. Sie sollte möglichst niedrig liegen. Daher wird sie an die niedrigste Temperatur in der gesamten Heizungsanlage herangeführt. In der Regel ist dies die Rücklauftemperatur. Als Führungsgröße bestimmt sie den charakteristischen Verlauf der Abgastemperatur. Die absolute Temperaturdifferenz zwischen Abgas- und Rücklauftemperatur hängen von der Konstruktion der Wärmeaustauscher und der Betriebsweise der Brenner ab.

### Einflußgröße Wasserdampftaupunkts

Die Kondensation des Wasserdampfes im Heizgasstrom (Verbrennungsgase die durch den Kessel strömen) setzt ein, sobald der „Wasserdampftaupunkt“ unterschritten wird. Damit die Kondensation im Kessel möglichst früh einsetzt und viel Wasserdampf kondensieren kann, sollte der Taupunkt möglichst hoch liegen. Er wird durch den prozentualen Wasserdampfanteil im Heizgasstrom festgelegt. Neben Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ) entsteht als Reaktionsprodukt bei der Verbrennung noch Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Beide Reaktionsprodukte hängen von der chemischen Zusammensetzung des verbrannten Brennstoffes ab. Für die gleiche Gasart werden immer die gleichen Men-



**Bild 9 Wärmeübertragungsverhältnisse und Kondensationsarten an einfachen Heizflächen**

höher liegt der Wasserdampftaupunkt. Bei einem  $\text{CO}_2$ -Wert von 9 % für Erdgas E liegt der Taupunkt bei  $53^\circ\text{C}$ . In Bild 5 ist neben der Taupunktkurve für Erdgas auch die von Heizöl EL aufgetragen. Wegen des geringeren Wasserstoffgehaltes von Heizöl liegt sie deutlich unter der für Erdgas. Ein Grund dafür, daß Heizöl für Brennwertnutzung weniger effektiv ist.

Neben dem Brennstoff hängt der Wasserdampftaupunkt von dem minimalen Luftüberschuß ab, der für eine stabile Verbrennung notwendig ist. Somit hat die Qualität des Brenners einen entscheidenden Einfluß auf die Effektivität der Brennwertnutzung.

gen  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampf gebildet. Ihre prozentualen Anteile im Heizgasstrom hängen zusätzlich noch von der Luftmenge ab, die bei der Verbrennung übrig bleibt. Es ist der Luftüberschuß der für die Stabilität der Verbrennung notwendig ist, selbst aber nicht verbraucht wird. Daher ist er zusammen mit den Verbrennungs-Reaktionsprodukten im Abgas enthalten. Durch den Luftüberschuß werden die aus der Verbrennung entstandenen Reaktionsprodukte  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampf verdünnt. Je geringer der Luftüberschuß für die Aufrechterhaltung einer stabilen Verbrennung notwendig ist, um so

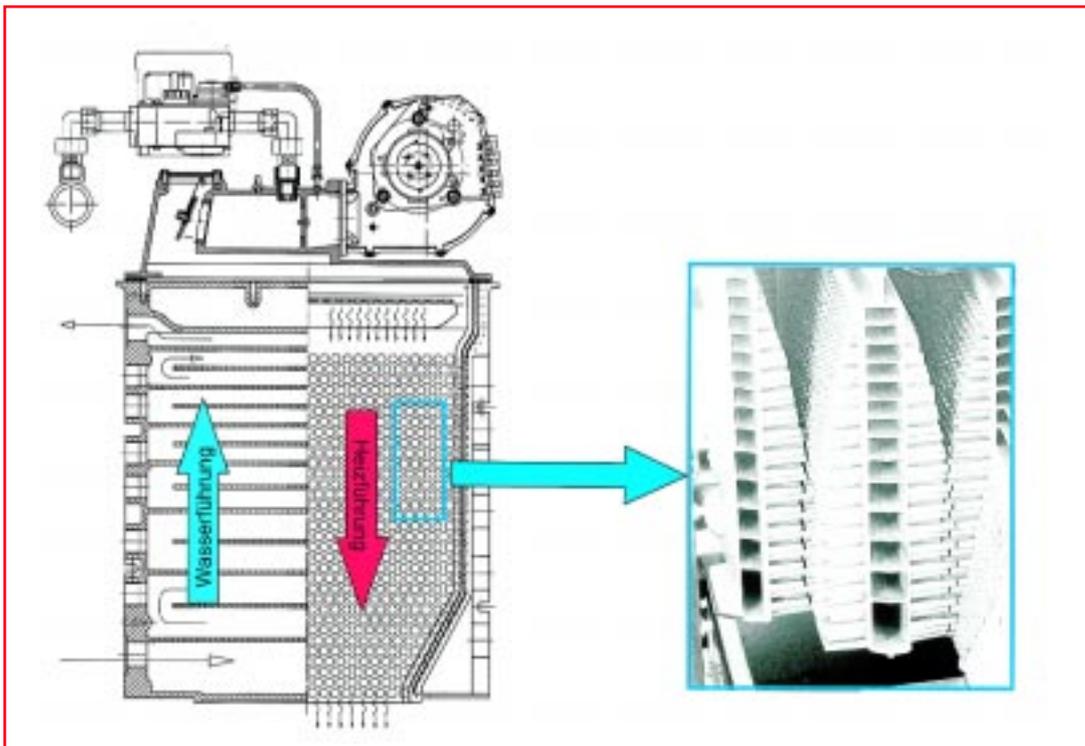
### Einflußgröße Gasbrenner

Je nach Kesselbauart hat sie auf die Energieausnutzung differenzierte Auswirkungen:

- Verbrennung mit geringem Luftüberschuß:
    - $\lambda \rightarrow 1 \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_{2\text{max}}$
    - NT-Kessel:  $\geq q_A \rightarrow \text{min}$
    - Brennwertkessel:
      - $\geq q_A \rightarrow \text{min} + q_{\text{latent}} \rightarrow \text{max}$
- Brenner für Brennwertkessel sollten in einem möglichst großen Leistungsbereich

„modulierend“ betrieben werden. Damit wird die Feuerungsleistung dem von der Außentemperatur abhängigem Wärmebedarf stetig angepaßt. Weil mit steigenden Außentemperaturen der Wärmebedarf stetig abnimmt, verringert sich in gleichem Verhältnis auch die Feuerungsleistung. Für die geringere Feuerungsleistung steht dann die gesamte Wärmeübertragungsfläche des Kessels zur Verfügung. Nach den Gesetzmäßigkeiten der Wärmeübertragung verringern sich damit die Temperaturdifferenzen zwischen Abgas- und Rücklauftemperatur (Bild 5). Für Brennwertkessel sollten daher nur besonders hochwertige Brenner eingesetzt werden, die über einen großen Leistungsbereich mit geringem Luftüberschuß (nahstöchiometrisch) modulierend betrieben werden können.

So sind z. B. „Unical-Modulex“-Brennwertkessel auf modularen Wärmeaustauscherblöcken mit Brennern von jeweils 40 kW aufgebaut. Die Brenner haben einen Modulationsbereich von 12–40 kW. Damit liegt die untere Leistungsgrenze für alle Kesselgrößen einheitlich bei 12 kW. Der kleinste Kessel in der Baureihe mit 80 kW hat zwei Brenner und einen Modulationsbereich von 12–80 kW (15–100 %). Beim größten Kessel mit 280 kW Nennleistung und 7 Brennern ergibt sich ein Modulationsbereich von 12–280 kW (4,2–100 %). Modulation und Regelung sind so abgestimmt, daß bei Lastanforderung möglichst viele Brennermodule mit der kleinsten Feuerungsleistung betrieben werden



**Bild 10 Heizflächen „Modulex“-Brennwertkessel und Heizgas-/Wasserführung**

(Bild 7). Damit soll das Kriterium erfüllt werden, daß eine geringe Feuerungsleistung auf eine große Wärmeaustauscherfläche übertragen wird.

## Kessel-Wärmeaustauscher und -Heizflächen

Gestaltung und Dimensionierung der Heizflächen müssen für die Wasserdampfkondensation besonders geeignet sein. Bevor die Kondensation stattfinden kann, muß der überwiegende Anteil der „sensiblen Verbrennungswärme“ vom Heizgasstrom an das Kesselwasser übertragen werden. Der für die Optimierung der Heizflächen einflußreichste Wärmeübertragungsprozeß findet als Konvektion unter turbulenten Strömungsbedingungen vom Heizgasstrom auf die heizgasbeaufschlagte Wärmeübertragungsfläche statt. Die hierfür erforderliche Heizfläche  $A_K$  hängt von dem Wärmedurchgangskoeffizient „ $k$ “ und der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz  $\Delta t_{m \log}$  ab (Gleichung 1). Eine angestrebte niedrige Abgastemperatur erfordert eine kleine Temperaturdifferenz zwischen Kesselwasser (bzw. Rücklauftemperatur) und Abgastemperatur  $\Delta \delta_{\text{klein}} \leq 15 \text{ K}$  (Bild 8). Damit verringert sich auch die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz, was zu einer Vergrößerung der Heizfläche  $A_K$  führt. Um dem entgegenzuwirken muß ein möglichst hoher Wärmedurchgangskoeffizient „ $k$ “ angestrebt werden. Nach den mathematischen Gesetzmäßigkeiten wird der  $k$ -Wert entscheidend von dem kleinsten der drei Wärmeübergangskoeffizienten bestimmt. Der wasserseitige Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{H20}$  liegt um ein vielfaches höher als auf der Heizgasseite  $\alpha_{HG}$ . Daher ist es sinnvoll, die Optimierung der Heizflächen auf die Heizgasseite zu konzentrieren [5].

$$Q_F = \dot{m}_{HG} \cdot c_{cp} \cdot (t_{HG1} - t_{HG2}) = A_K \cdot k \cdot \Delta t_{m \log} \quad \Rightarrow \text{(Gl. 1)}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{HG}} + \frac{1}{\alpha_W} + \frac{\lambda}{s} \quad \Rightarrow \text{(Gl. 2)}$$

Für die Optimierung ergeben sich folgende Schritte:

$$t_{HG} \gg \text{klein} \gg \Delta \delta_{\text{klein}} \gg \Delta t_{m \log} \gg \text{klein} \gg A_K \gg \text{groß}$$

$$A_K \gg \text{klein} \gg k \gg \text{größer} \gg k = f(\alpha_{HG}, \alpha_{H20}, \gamma) \gg \text{Optimierung } \alpha_{HG}$$

### Legende:

$Q_F$ [kW]	= Feuerungsleistung
$\dot{m}_{HG}$	= Heizgasmassenstrom
$c_p$ [ $\frac{Wh}{kg \cdot K}$ ]	= spezifische Wärmekapazität Heizgas
$A_K$ [m <sup>2</sup> ]	= Wärmeübertragungsfläche Kessel = Brennwertheizflächen
$k$ [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ]	= Wärmedurchgangskoeffizient
$\alpha_{HG}$ [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ]	= Wärmeübergangskoeffizient Heizgas
$\alpha$ [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ]	= Wärmeübergangskoeffizient Wasser
$\lambda_{H20}$ [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ]	= Wärmeleitkoeffizient Wärmeaustauscher Werkstoff (z.B. Aluminium)
$s$ [mm]	= Wandstärke Wärmeaustauscher
$\Delta t_{m \log}$ [K]	= mittlere logarithmische Temperaturdifferenz
$t_{HG1}$ [°C]	= Heizgaseintrittstemperatur in den Wärmeaustauscher
$t_{HG2}$ [°C]	= Heizgasaustrittstemperatur aus dem Wärmeaustauscher = Abgastemperatur
$\Delta \delta_{\text{groß}}$ [K]	= Temperaturdifferenz am Eintritt in den Wärmeaustauscher
$\Delta \delta_{\text{klein}}$ [K]	= Temperaturdifferenz am Austritt aus dem Wärmeaustauscher = Temperaturdifferenz = Abgastemperatur – Rücklauftemperatur

Noch bevor der „sensible Wärmeübertragungsprozeß“ abgeschlossen ist, setzt die Kondensation des Wasserdampfes im Heizgasstrom ein. Parallel zur sensiblen Wärmeübertragung wird „latente Kondensationswärme“ übertragen. Je nach konstruktiver Gestaltung der Wärmeübertragungsflächen können dabei zwei Kondensationsmechanismen stattfinden. Die erste Kondensationsart setzt ein, sobald die Rücklauftemperatur wenige Grade unter den Wasserdampftaupunkt (z. B. 53 °C) fällt. Weil der wasserseitige Wärmeübergangskoeffizient um ca. das 20fache höher liegt als der heizgasseitige wird die Oberflächentemperatur auf der Heizgasseite von der Wassertemperatur (z. B. Rücklauf) geprägt. Bemerkenswert ist, daß diese „Teilkondensation“ bereits eintreten kann, lange bevor das Heizgas den Taupunkt erreicht hat. Bei konventionellen Kesseln verursacht diese Kondensation, bekannt als „Kesselschwitzen“, Korrosion auf den Heizflächen. Die zweite Kondensationsform die später einsetzt, vollzieht sich unmittelbar im Heizgasstrom. Sobald der Wasserdampftaupunkt (z. B. 53 °C) unterschritten wird, kondensiert der Wasserdampf in Form von Nebel im Heizgasstrom als „Vollkondensation“.

Es ist der gleiche physikalische Vorgang der auch in der Natur zu Nebelbildung führt. Sobald die Lufttemperatur unter den Wasserdampftaupunkt fällt, kondensiert die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit als Nebel. (Bild 9).

Kleine Temperaturdifferenzen zwischen Abgas- und Rücklauftemperaturen  $\Delta \delta_{\text{klein}}$  setzen voraus, daß Heizgase und Kesselwasser im Gegenstrom oder im Kreuz-Gegenstrom geführt werden. Allerdings müssen auch zur ungehinderten Ableitung des Kondenswassers die Heizgase und das Kondenswasser mit der Schwerkraft im Gleichstrom von oben nach unten geführt werden. Heizflächen mit Noppen sind für Brennwertnutzung besonders geeignet. Sie haben den Vorteil, daß eine große Heizfläche auf geringstem Raum untergebracht werden kann – Voraussetzung für eine kompakte Bauweise. Die Noppen auf der heizgasseitigen Wärmeübertragungsfläche bewirken eine Verwirbelung der Strömung, was sich positiv auf die  $\alpha_{HG}$ -Werte auswirkt. Bei dem in Bild 10 dargestellten „Unical-Modul“-Brennwertkessel liegt daher die Abgastemperatur bei Vollast nur  $\Delta \delta_{\text{klein}} = 11$  über der Rücklauftemperatur.

*Im zweiten und abschließenden Teil des Artikels in der nächsten SBZ steht die Planung von Brennwert-Heizungsanlagen im Mittelpunkt.*

## SBZ-Sonderdruck-Service

Von den in der SBZ veröffentlichten Beiträgen können auf Wunsch und mit Zustimmung des Autors Sonderdrucke angefertigt werden.

Mindestauflage 1000 Exemplare.

Ausführliche Informationen erteilt Ihnen auf Anfrage:

Gentner Verlag Stuttgart  
 Peter Anstett  
 Postfach 10 17 42  
 D-70015 Stuttgart  
 Telefon (07 11) 6 36 72 33  
 Telefax (07 11) 6 36 72 32