

Optimale Verbrennung unabhängig von den Gaseigenschaften

Ein Brenner für alle Gasarten

Frank Sprenger*

Die Güte der Gasverbrennung war bisher abhängig von der Gasbeschaffenheit. Mit dem Einsatz der „multigas“-Technik wird diese Einschränkung neutralisiert, weil die Verbrennung hier unabhängig von den Eigenschaften der jeweiligen Gasart auf dem optimalen Betriebspunkt stabilisiert wird. In der Praxis wird dadurch z. B. nur noch eine Gerätevariante benötigt und auch die manuelle Geräteumstellung beim späteren Wechsel der Gasart entfällt. Welche weiteren Vorteile die „multigas“-Technik bietet und wie sie funktioniert, erläutert der folgende Fachbeitrag.

Von den siebziger Jahren bis heute hat sich der Brennstoff Gas aus einer Nischenposition zu dem meistgenutzten Brennstoff bei der Wohnraumbeheizung entwickelt (Bild 1). Hierzu hat vor allem der Ausbau der Versorgungsnetze aber auch die stetigen Weiterentwicklungen der Verbrennungstechniken beigetragen. Waren diese Entwicklungsanstrengungen bisher vornehmlich darauf ausgerichtet, Schadstoffemissionen zu vermindern, so zeichnet sich in letzter Zeit eine zusätzliche Zielrichtung ab. Durch eine robustere, sich den Umgebungsbedingungen anpassende Arbeitsweise, soll eine Ausweitung des Einsatzbereiches erreicht werden. Ein aktuelles Ent-

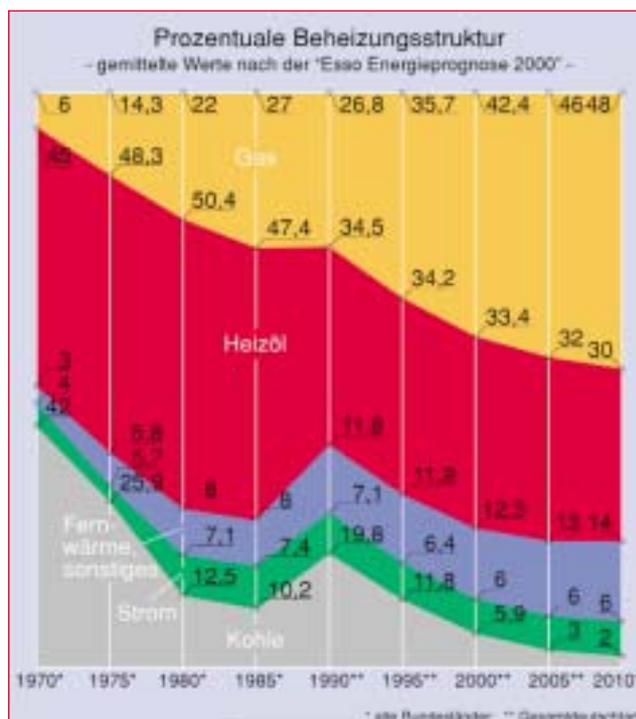


Bild 1 Nutzungsentwicklung der verschiedenen Brennstoffe zur Wohnraumbeheizung

(alle Grafiken: Buderus)

wicklungsergebnis ist hier die „multigas“-Technik. Ein Verbrennungskonzept, das sich ohne manuelle Einstellarbeiten mit Gasen unterschiedlicher Beschaffenheit betreiben lässt, stellt nicht nur für die internationale Marktdurchdringung einen Vorteil dar. Auch für den künftig zu erwartenden liberalisierten Energiemarkt, der die Gasversorger zur Durchleitung von Gasen verschiedener Anbieter verpflichtet, hätte dies eine positive Wirkung. Schon heute sind in den Gasversorgungsnetzen regional aber auch zeitlich gesehen, abweichende Gasbeschaffenheiten festzustellen. Der Grund dafür ist die Einspeisung von Gasen verschiedener Herkunft, um eine gewisse Unabhängigkeit von einzelnen Lieferanten zu erreichen sowie in Zeiten mit Spitzenlasten Bedarfslücken decken zu können.

Ursprung der Gasverbrennungstechnik

Der Ursprung der Gasverbrennungstechnik ist auf das atmosphärische Verbrennungsprinzip zurückzuführen. Diese ohne Gebläse auskommende Technik ist sehr robust und konnte sich aufgrund dessen schnell gegen Festbrennstoff- und Ölfeuerungen behaupten. Die anfangs nur auf eine vollständige Verbrennung hin ausgerichteten Geräte

wiesen jedoch noch hohe Schadstoffemissionen auf, was insbesondere den Ausstoß von Stickoxiden (NO_x) betraf. Steigendes Umweltbewusstsein und das Aufkommen von Schadstoff-Grenzwerten durch das Umweltzeichen „Blauer Engel“ (Bild 2) führten so Mitte der achtziger Jahren zu Attraktivitätsverlusten. Im Zuge der daraufhin eingesetzten Bestrebungen zur Schadstoffreduktion bei der Gasverbrennung, kamen zunächst flammenkühlende Einsätze zur Anwendung. Bessere Ergebnisse wurden später durch vermehrtes Einsetzen von Kühlstäben in Verbindung mit zweistufigen Brennerausführungen erzielt (Bild 3). Da die schadstoffmindernde Wirkung dieser Maßnahmen jedoch begrenzt ist, sind Anfang der neunziger Jahre verschiedene andere Verfahren zur NO_x -Reduktion aufgefunden. Aufgrund der vielfältigen Entwicklungen in den letzten Jahren wird eine

* Dipl.-Ing. (FH), BSc Frank Sprenger, Technische Public Relations, Buderus Heiztechnik, 35576 Wetzlar, Telefon (0 64 41) 4 18-16 15, Telefax (0 64 41) 4 18 16 33

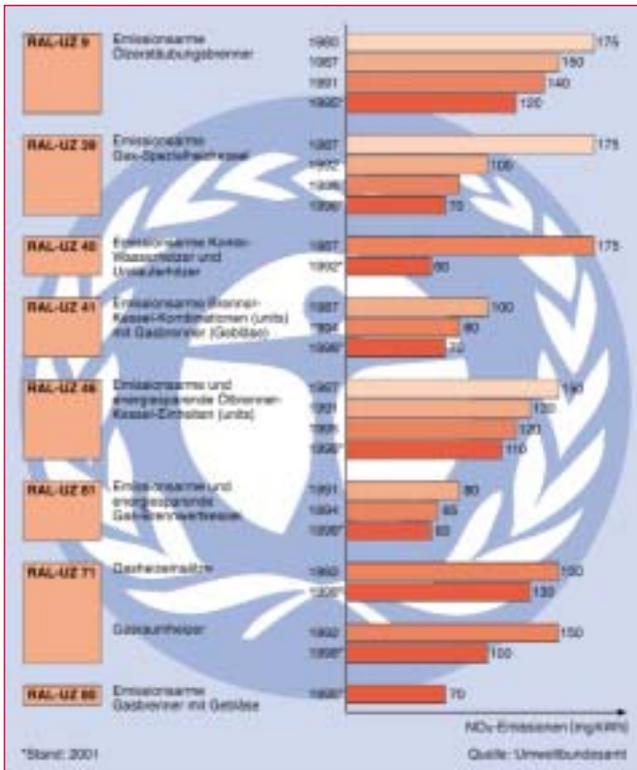


Bild 2 Entwicklung der NO_x-Anforderungen für die verschiedenen Gasgeräte durch das Umweltzeichen „Blauer Engel“

klare Gliederung der Geräte immer schwieriger. Darüber hinaus fließen bei der Gestaltung der Gasbrenner zusätzlich die geometrischen Verhältnisse des Feuerraums ein. Eine Einteilung der Gasbrenner ist deshalb nur in verschiedenen Untergruppen möglich (Bild 4).

Diffusions- und Vormischbrenner

Grundsätzlich lassen sich durch die Realisierung der Verfahrensschritte zur Verbrennung Diffusions- und Vormischbrenner unterscheiden. Beim Diffusionsbrenner werden die Reaktionspartner Gas und Luft an der selben Stelle miteinander vermischt, an der auch die Zündung stattfindet. Es sind darunter die konventionellen Gasgebläsebrenner zu verstehen, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten wie auch handelsübliche Ölbrenner. Zur NO_x-Reduktion wird die Flammentemperatur gesenkt, indem bereits abgekühlte Verbrennungsgase durch

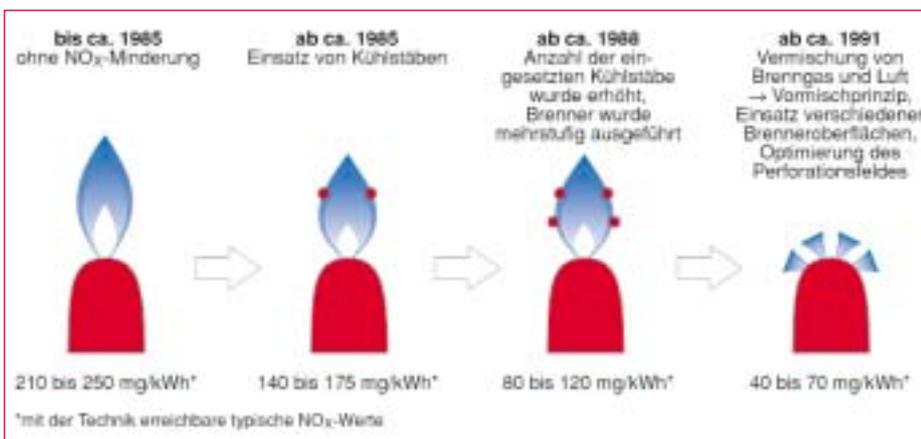


Bild 3 Entwicklungsschritte des atmosphärischen Brenners

Luftverhältniszahl

Die Luftverhältniszahl, die auch als Luft- bzw. Primärluftzahl (λ_p) bezeichnet wird, beschreibt das Verhältnis der vor der Verbrennung tatsächlich zugeführten zur theoretisch für eine vollständige Verbrennung erforderlichen Luftmenge. Eine Luftverhältniszahl von 1,0 bedeutet demnach ein für eine vollständige Verbrennung genau abgestimmtes Verhältnis von Brenngas und Luft und wird deshalb auch als stöchiometrisches Gas-Luftgemisch bezeichnet. Ein Luftüberschuß oder überstöchiometrisches Gas-Luftgemisch findet in Luftverhältniszahlen >1 seinen Ausdruck. Entsprechend ist ein Luftmangel oder unterstöchiometrisches Gas-Luftgemisch durch Luftverhältniszahlen <1 gekennzeichnet.

eine spezielle Strömungsführung an die Zündstelle zurückgeleitet werden. Bei den Vormischbrennern findet im Gegensatz zu den Diffusionsbrennern die Vermischung der Reaktionspartner Gas und Luft örtlich getrennt von der Zündstelle statt. Vormischbrenner können mit und atmosphärisch ohne Gebläse ausgeführt werden. Das Unterscheidungsmerkmal liegt dabei in der Mischenergie, die beim Gebläse-Vormischbrenner vom Impuls des erzeugten Luftstrahls und beim atmosphärischen Brenner vom Impuls des Gasversorgungsdruckes ausgeht.

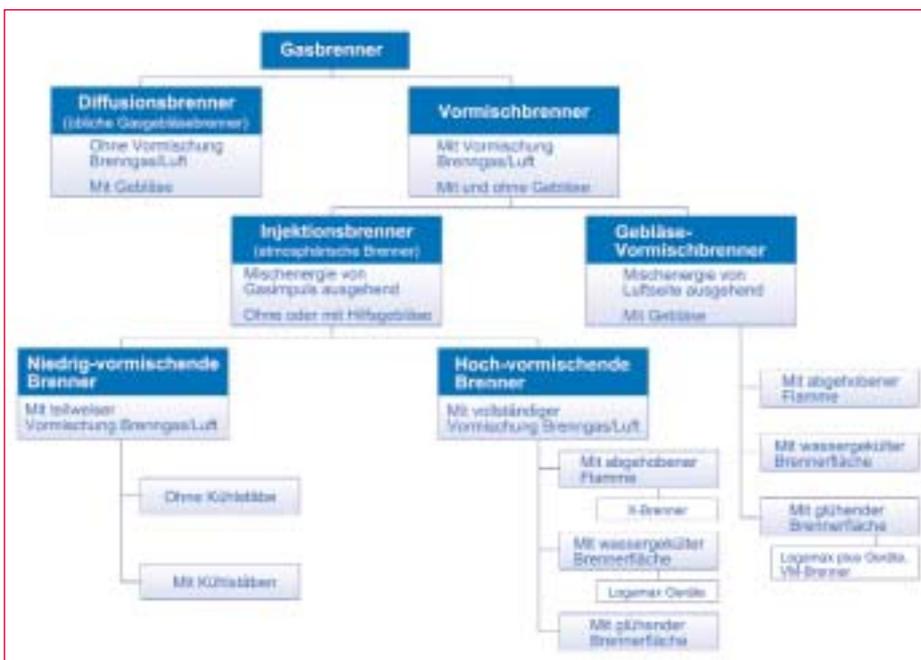


Bild 4 Einteilung der verschiedenen Gasbrenner nach Funktion

Die jedoch bedeutendste Entwicklung auf diesem Gebiet ist wohl das Prinzip der vollständigen Vormischung, bei dem dem Brenngas bereits vor der Verbrennung die gesamte für den Verbrennungsprozess notwendige Luftmenge zugeführt wird. Das Verfahren arbeitet sogar mit einem überstöchiometrischen Gas-Luftgemisch, d. h. mit einem Luftüberschuß der Luftverhältniszahlen im Bereich von 1,2 bis 1,4 aufweist. Diese Technik ist heute – gleichgültig ob mit oder ohne Gebläseunterstützung – die Basis jedes schadstoffarmen Vormischbrenners. Da sich der Verbrennungsprozess hierbei sehr dicht über der Brenneroberfläche abspielt, werden verschiedene Maßnahmen ergriffen, damit die Werkstoffbelastungen einen dauerhaft beständigen Betrieb zulassen. Eine Möglichkeit ist, die Belastungen zu reduzieren und die Flamme etwas von der Oberfläche abheben zu lassen. Dies wird durch ein derart gestaltetes Perforationsfeld erreicht, so daß die Austrittsgeschwindigkeit des Gas-Luft-Gemisches die Flammengeschwindigkeit überschreitet. Eine andere Variante ist die Brenneroberfläche zur Kompensation der entstehenden Temperaturen mit Heizungswasser, das den Brenner direkt unter der Oberfläche in Rohrleitungen durchströmt, zu kühlen. Schließlich kommen auch Brenner mit glühenden Oberflächen zum Einsatz, die mit entsprechend hitzebeständigen Materialien wie Keramik ausgestattet sind.

Negativeffekte beim Brennerbetrieb

Wie eingangs erwähnt ist in der Praxis die Gasbeschaffenheit an den Entnahmestellen des Versorgungsnetzes aus Gründen der Versorgungsoptimierung regional sowie auch zeitlich gesehen nicht homogen. Die Änderungen der Gasbeschaffenheit beschränken sich gegenwärtig jedoch noch zu meist auf den Schwankungsbereich einer festgelegten Gasart. Die Bandbreite der europäischen Gasarten in der 2. Gasfamilie

Wobbeindex

Der Wobbeindex (W) ergibt sich aus dem Verhältnis aus Heiz- bzw. Brennwert (H_1 bzw. H_s) für die chemisch im Brenngas gebundene Energie und dem Wurzelwert der relativen Dichte (d). Letztere ist dabei von dem physikalischen Zustand unabhängig und errechnet sich aus der Gasdichte (ρ_g) dividiert durch die Luftdichte (ρ_l). Üblicherweise dient der Brennwert als Bezugswert für den Wobbeindex, der in der selben Einheit (kWh/m^3) angegeben wird.

Als Formelbezeichnung folgt daraus:

$$W_s = \frac{H_s}{\sqrt{\rho_g}} = \frac{H_s}{\sqrt{d}}$$

(Erdgase) liegt derzeit in einem Wobbeindexbereich von etwa 10 bis 16 kWh/m^3 (Bild 5). Der die Gasart bestimmende Wobbeindex ist ein Maß für die Energielieferung am Brenner. Stimmen die Wobbeindizes zweier Gase nahezu überein, so ergeben sie die gleiche Wärmeleistung am Brenner. Auf diese Weise lassen sich Brenngase bezüglich ihrer Austauschbarkeit beurteilen.

Abstimmungen auf nur zwei Einstellwerte

Da der Wobbeindex sowohl bei Vormischbrennern als auch bei Diffusionsbrennern nicht nur Auswirkungen auf die Wärmeleistung am Brenner, sondern auch auf die Verbrennungsqualität hat, werden Gasbrenner gewöhnlich durch entsprechende Einstellarbeiten auf die jeweilige Gasart abgestimmt und zugelassen. Durch Einteilung der zum Einsatz kommenden Gasarten in die für Deutschland geltenden Kategorien H und L bzw. LL beschränken sich diese Abstimmungen auf nur zwei Einstellwerte. Die Brenneinstellung stellt aber innerhalb des Wobbeindexbereiches der jeweiligen Gasart nur einen Kompromiß zwischen Gebrauchsfähigkeit und optimaler, betriebssicherer Verbrennung dar. Sinkt der Wobbeindex z. B. unter den Einstellwert (niedrigkalorische Gase), so verringert sich der brennbare Anteil im Gas. Bei gleichbleibend zugeführter Luftmenge entsteht dadurch ein an Gas magereres Verbrennungsgemisch, was über eine größere Luftverhältniszahl ausgedrückt wird. Das hat zur Folge, daß sich höhere CO-Werte, eine niedrigere Leistung sowie ein größerer Abgasverlust und damit ein geringerer Wirkungsgrad einstellen. Steigt der Wobbeindex über den Einstellwert hinaus (hochkalorische Gase), wird das Verbrennungsgemisch an Gas fetter und die Luftverhältniszahl sinkt. Hieraus ergeben sich höhere NO_x -Emissionen.

Vormischbrenner mit abgehobener Flamme

Für Vormischbrenner mit abgehobener Flamme hat ein vom Einstellwert veränderter Wobbeindex zudem Auswirkungen auf die Flammenbildung. Nimmt der Wobbeindex ab, tendiert die Flamme zum weiteren Abheben. Ein zunehmender Wobbeindex bewirkt indes, daß die Flamme zum Aufsitzen neigt. Überschreitet der Wobbeindex dabei die Stabilitäts- bzw. Betriebsbandbreite des Brenners kann dies zu Brennerschäden durch Überhitzungen führen (Bild 6). Bei atmosphärischen Brennern haben neben dem Wobbeindex zusätzlich Größen wie der vom Wetter beeinflusste Schornsteinzug oder z. B. von Lösungsmitteln verursachte Verschmutzungen am Brennstab

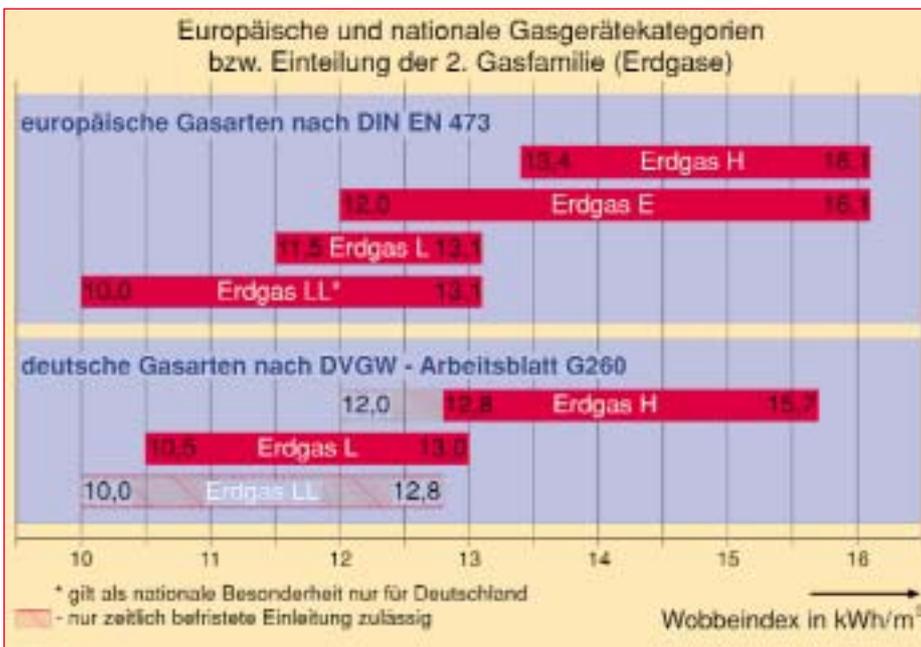


Bild 5 Bandbreite der Beschaffenheit europäischer Erdgase

Brennverhalten von zwei atmosphärischen, hoch-vormischenden Gasbrennern mit abgehobener Flamme bei Erdgas (vereinfachte Darstellung)

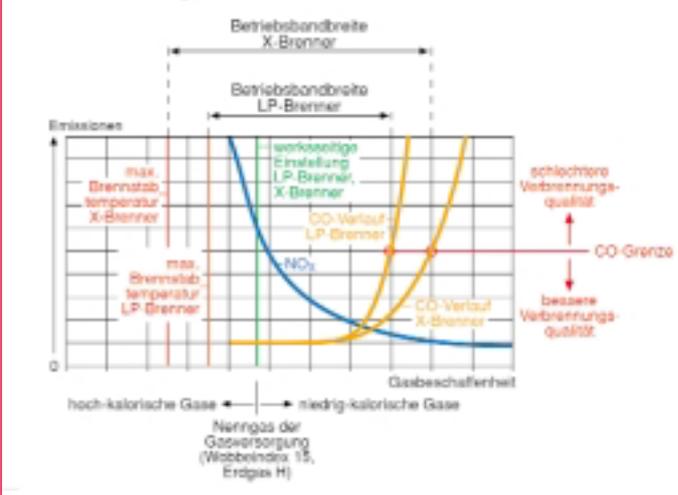


Bild 6 Für konventionelle Gasbrenner hat eine von der Einstellung abweichende Gasbeschaffenheit negative Folgen: Sinkt der Wobbeindex tendiert die Flamme zum Abheben und die CO-Emissionen erhöhen sich. Steigt der Wobbeindex neigt die Flamme zum Aufsitzen, was zu höheren Brennstabtemperaturen und NO_x-Emissionen führt

einen ähnlichen Einfluß auf den Verbrennungsprozeß. Durch weiterentwickelte Brennerkonstruktionen und eine optimierte Gestaltung des Perforationsfeldes konnte die Betriebsbandbreite atmosphärischer Brenner in Vergangenheit jedoch deutlich erweitert werden. Trotz der verbesserten Verbrennungsstabilität bleiben auch bei diesen Bauformen nach wie vor die beschriebenen negativen Begleiteffekte bei Gasbeschaffenheitsänderungen bestehen.

Brenner stellt sich auf Gasbeschaffenheit ein

Einen neuen Entwicklungsschritt im Bereich der Gasverbrennung stellt ein sich selbständig auf die jeweilige Gasbeschaffenheit einstellender Brenner dar. Bei dem als „multigas“ bezeichneten Verfahren handelt es sich um eine von Buderus Heiztechnik über die Ruhrgas und Stiebel Eltron erworbene Lizenz, die auch als SCOT (System Control Technology) bezeichnet wird. Mit „multigas“ ist erstmals in den verschiedenen Anwendungen eine Austauschbarkeit der unterschiedlichen Gasarten ohne Stabilitätsprobleme oder Beeinflussung der Verbrennungsqualität möglich. Die Entwicklung beruht auf einer elektronischen Verbrennungsregelung, die permanent den Ionisationsstrom der Flammenüberwachung intelligent auswertet. Der Ionisationsstrom gibt dabei Auskunft über den Verbrennungszustand. Verglichen mit den optimalen Verbrennungsbedingungen folgt daraus ggf. eine Änderung, die über die Variation

der Gaszufuhr ausgeglichen wird. Grundsätzlich ist die Auswertung der Verbrennungsverhältnisse nichts Neues. So sind hierzu theoretisch auch andere Techniken zur Messung von Flammensignalen, aber auch Prinzipien zur Bestimmung der Gaseigenschaften z. B. durch ein Kalorimeter oder die Analyse der Abgaskomponenten mit Hilfe einer Lambda-Sonde anwendbar. Diese sind bisher in der Praxis für einen solchen Zweck allerdings aufgrund von Kosten- oder Zuverlässigkeitsgründen gescheitert. Das Ionisationssignal ist wegen der schnellen Information direkt aus der Verbrennungszone vorteilhaft, jedoch fehlte bisher der Rückschluß auf einen für Regelzwecke nutzbaren Parameter. Bei der Entwicklung der „multigas“-Technik ist es aber gelungen eine Beziehung zwischen Ionisationssignal und der Luftzahl, also dem Verhältnis der dem Gas beigemischten Verbrennungsluftmenge, herzustellen (Bild 7). Es zeigt sich dabei ein eindeutiger funktioneller Zusammenhang mit maximalem Ionisationsstrom genau bei stöchiometrischem Gas-Luftgemisch mit einer Luftverhältniszahl von 1,0. Damit ist das Ionisations-

signal als eindeutiges Kriterium zur Bestimmung des Verbrennungszustandes und eines sich verändernden Wobbeindex definiert.

Was ändert sich bei der Brennerregelung?

Grundsätzlich ist der Einsatz der „multigas“-Technik bei sämtlichen Vormischbrennern mit und ohne Gebläseunterstützung denkbar. Der Regelalgorithmus ist im Allgemeinen in alle digitale Regelbausteine moderner Heizkessel integrierbar. Zur Lieferung des Ionisationssignals kann ohnehin die üblicherweise vorhandene Ionisationsflammenüberwachung genutzt werden. Zu diesem Zweck ist nur die Überwachungselektrode etwas zu verlängern, so daß sie nicht nur in die Zünd-, sondern auch in die Hauptflamme hineinragt. Für die Anpassung der Gasmenge ist allerdings ein Stellmechanismus erforderlich, der bei Gebläse-Vormischbrennern über die bestehende Gas-Luft-Verbundregelung realisiert werden kann. Bei atmosphärischen Brennern kommt hierzu ein neuartiges Düsensystem zur Anwendung. Dieses besteht aus einem zweigeteilten Gasverteilerbalken, der statt bisher nur mit einer zentral angeordneten Hauptgasdüse, weiterhin mit einer darüberliegenden und separat ansteuerbaren Nebengasdüse ausgerüstet ist. Im Betrieb mit hochkalorischen Gasen, also bei hohem Wobbeindex, unterscheidet sich nichts von der Funktion herkömmlicher Düsen. D. h., daß die Gasmenge allein über die Hauptgasdüse in den Brennstab strömt. Fällt der Wobbeindex ab, dann steigt die Luftverhältniszahl an und – ausgelöst durch das Ionisationssignal – wird dem Brennstab über die Nebengasdüse eine entsprechend zusätzliche Gasmenge zugeführt. Daraus folgt eine praktisch ständige Anpassung der Nebengasmenge, was zu einem stabilisierten Ionisationssignal und einer konstant bleibenden Luftverhältniszahl führt (Bild 8). Für die selbständige Regelung der Nebengasmenge ist die oberhalb des Gasvertei-

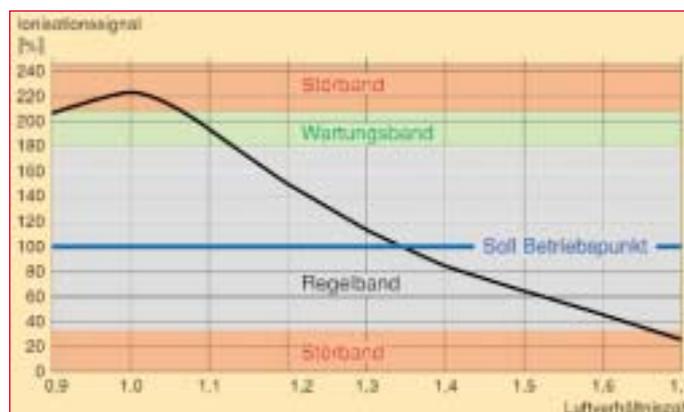
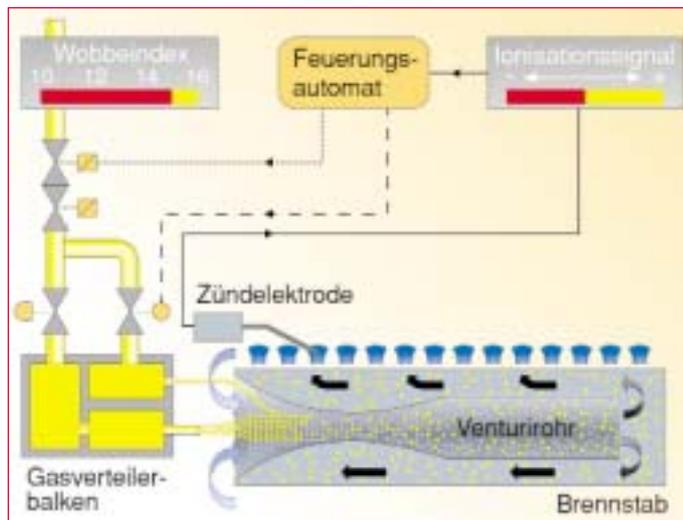


Bild 7 Das Ionisationssignal kann als eindeutiges Kriterium zur Bestimmung des Verbrennungszustandes genutzt werden

Bild 8 Funktionsprinzip der „multigas“-Technik beim atmosphärischen Brenner



lerbalkens angeordnete Gasarmatur neben dem üblichen Magnetventil außerdem mit einem stufenlos regelbaren Magnetventil, dem sogenannten Nebengasmodulator, ausgestattet. Dieser wird in Anhängigkeit vom Ionisationssignal über den Feuerungsautomaten gesteuert.

Einsatz zunächst im NT-Kessel

Für die Markteinführung wurde die „multigas“-Technik zunächst im atmosphärischen Brenner eines Niedertemperaturkessels integriert (Bild 9). Der Grund dafür, daß das multigas-Verfahren zunächst in einem NT-Kessel in Serie geht, ist die weiterhin beständige Bedeutung dieser Technik. Zwar

ist das Umsatzvolumen von Brennwertgeräten in den letzten Jahren in Deutschland stetig gewachsen, jedoch wird die Niedertemperaturtechnik auch künftig ihr Absatzpotential besitzen. Dies gilt speziell für den europäischen und internationalen Markt, für den auch die „multigas“-Technik aufgrund der Betriebsvorteile eine besondere Attraktivität besitzt. So sind mit der „multigas“-Technik ausgerüstete Heizkessel für die Gasart N zugelassen, die Erdgase im gesamten europäischen Bereich umfaßt. D. h., daß entsprechende Geräte keine Einstellarbeiten bei der Inbetriebnahme erfordern. Eine manuelle Anpassung auf die jeweilige Gasart mittels entsprechendem Umstellteil entfällt. Nach dem Anschließen und Einschalten sind „multigas“-Kessel sofort betriebsbereit. Außerdem zeichnen sie sich durch eine gleichbleibende Verbrennungsqualität mit konstanter Leistung, permanent hohem Wirkungsgrad und stetig niedrigen Schadstoffemissionen auch bei wechselnder Gasbeschaffenheiten oder Änderungen von Umgebungs- und Betriebsbedingungen aus. Sollte sich die Verbrennungsqualität infolge einer Verschmutzung des Brennerstabs dennoch verschlechtern, wird dies am Ionisationssignal erkannt und mit einer Betriebsanzeige durch eine Wartungs- oder sogar Störmeldung signalisiert.

Weitere Vorteile der „multigas“-Technik

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß das Niveau der Gas-Verbrennungstechnik heute einen hohen Entwicklungsstand erreicht hat. Vor allem bei der

Schadstoffreduktion konnten in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht werden. Die daraus hervorgegangene Gerätetechnik hat sich bereits in der Praxis bewährt. Jedoch war die Verbrennungsgüte bisher abhängig von der Gasbeschaffenheit. Für weitere Verbesserungen ist aber insbesondere der dafür notwendige Aufwand von Bedeutung, um ein angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis nicht zu überschreiten. Dabei dürfen zudem auch sicherheitstechnische Aspekte nicht außer acht gelassen werden. Eine Lösung, die diese Bedingungen erfüllt, stellt die Luftzahlregelung mittels „multigas“-Technik dar. Mit diesem neuen Entwicklungsschritt wird die Verbrennung unabhängig von den Eigenschaften der zum Einsatz kommenden Gasart auf dem optimalen Betriebspunkt stabilisiert. In der Gesamtbetrachtung ergeben sich daraus neben vereinfachten Anschlußbedingungen auch niedrigere Schadstoffemissionen und ein geringerer Brennstoffverbrauch. Der aber wohl bedeutendste Vorteil liegt in der möglichen Austauschbarkeit der verschiedenen Gasarten. So reduziert sich die Anzahl der vorher für die unterschiedlichen Gasarten notwendigen Gerätevarianten auf nur noch eine Ausführung. Folglich entstehen Einsparungen in Produktion und Logistik, durch die die „multigas“-Technik praktisch kostenneutral angeboten werden kann. Zudem stellt sie die Voraussetzung für einen freien Gasmarkt dar. D. h., daß aufgrund der geplanten Durchleitungsverpflichtungen künftig häufiger und stärker zu erwartende Änderungen der Gasbeschaffenheit durch diese Technik erst möglich werden.

Daß die multigas-Technik zuerst in atmosphärischen Brennern angeboten wird, stellt eine gute Ausgangssituation dar, um der Technik zum Erfolg zu verhelfen. Atmosphärische Brenner werden heute im fast gesamten Leistungsspektrum angeboten und haben sogar in Brennwertausführungen Einzug gehalten. Sie zeichnet sich in besonderer Weise durch einen leisen und vor allem robusten Betrieb aus. Diese Eigenschaften sind insbesondere darauf zurückzuführen, daß hierbei keine beweglichen Bauteile zum Einsatz kommen. Das wird auch durch den für die „multigas“-Regelung zusätzlich erforderlichen Stellantrieb nicht gestört. Gleichzeitig ergibt sich daraus ein geringer Stromverbrauch, da u. a. die elektrische Leistungsaufnahme für ein Gebläse entfällt. Eine gute Voraussetzung auch künftige Auflagen des Umweltzeichens „Blauer Engel“ zu erfüllen. Denn in den neuen Richtlinien soll im Rahmen einer energetischen Gesamtbetrachtung auch die für den heiztechnischen Prozeß benötigte elektrische Hilfsenergie mit berücksichtigt werden. □



Bild 9 Ein mit „multigas“-Technik ausgerüsteter atmosphärischer Brenner eines Niedertemperaturkessels (Logano G134 multigas)