

Entwicklung, Funktion, Einteilung und Stand der Technik

Die Gasfeuerung wird attraktiver

Frank Sprenger*

Bei Gasbrennern läßt sich der Brennstoff mit der Verbrennungsluft aufgrund der gleichen Konsistenz leicht und vollständig vermischen. Trotzdem wurde der Brennstoff Gas noch vor einigen Jahren wegen der hohen, vermeintlich nicht zu reduzierenden Emissionen der überwiegend eingesetzten atmosphärischen Gasbrenner abgewertet. Durch erhebliche Entwicklungsanstrengungen der verschiedenen Gasgerätehersteller, die zum großen Teil von der Ruhr-gas AG gefördert wurden, konnte diese Technik soweit verbessert werden, daß sie heute aktueller ist denn je.



Mit dem Ausbau der Gasversorgungsnetze kam Anfang der siebziger Jahre der erste Gas-Spezialheizkessel auf den Markt, der ausschließlich mit dem Brennstoff Gas betrieben werden konnte. Aufgrund des robusten und zuverlässigen Betriebs stieg der Marktanteil der Gas-Heizkessel, zu Lasten der Öl- und Festbrennstoff-Heizkessel stetig an. Damals wurden die Geräte ungeachtet der Emissionen nur auf die vollständige Verbrennung hin optimiert. Demzufolge waren die emittierten Kohlenmonoxid-Werte (CO-Werte) von Gasbrennern zu der Zeit zwar gering, die Stickoxide (NO_x-Werte) lagen allerdings in einem entsprechend hohen Bereich von ca. 210 bis 250 mg/kWh. Ölbrenner emittierten damals zum Vergleich etwa 180 bis 220 mg/kWh NO_x.

Problem: Hohe Schadstoffemissionen

Die höheren Schadstoffemissionen der atmosphärischen Gasbrenner bewirkten Mitte der achtziger Jahre, als die Anforderungen an Schadstoff-Grenzwerte (CO und NO_x) für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ aufkamen, erhebliche Attraktivitäts-

verluste. Gerätehersteller und Gasversorgungsunternehmen setzten dem umfangreiche Entwicklungsanstrengungen entgegen. Eine schon unter Förderung des amerikanischen Gas Research Institutes von der American Gas Association zur Erfüllung der kalifornischen Umweltauflagen eingesetzte Technik wurde aufgegriffen. Durch Einbau von flammenkühlenden Einsätzen (meist Stäben) konnten die NO_x-Emissionen zunächst auf etwa 175 mg/kWh gesenkt werden (siehe Bild 1).

Bis Ende der achtziger, Anfang der neunziger Jahre gelang es durch vermehrtes Einsetzen von Kühlstäben in Verbindung mit zweistufigen Brennerausführungen die NO_x-Werte sogar auf etwa 80 mg/kWh zu minimieren. Die Grenzen dieser Technik waren damit allerdings erreicht. Die von den Flammen erwärmten Kühlstäbe strahlten die Wärme nicht nur in den Feuerraum, sondern auch auf die Brenneroberfläche ab, welche damit erhöhten Werkstoffbelastungen ausgesetzt war.

Anfang der neunziger Jahre sind dann verschiedene andere Techniken und Prinzipien zur NO_x-Reduzierung aufgekommen. Die jedoch bedeutendste Entwicklung ist das Prinzip der vollständigen Vormischung. Dabei wird das Brenngas schon vor der Verbrennung vollständig mit der für den Verbrennungsprozeß notwendigen Verbrennungsluft vermischt. Diese Technik ist heute, gleichgültig ob die Verbrennung nun mit oder ohne Gebläseunterstützung erfolgt, die Basis für jeden schadstoffarmen Heizbetrieb (siehe Bild 2).

Ziel: NO_x-Verminderung

Ausgangspunkt des Entwicklungsprozesses der Gasbrenner war die Verminderung des toxischen Stickoxids NO_x. Als NO_x werden die aus den Reaktionen von Sauerstoff mit Stickstoff entstehenden Produkte Distickstoffoxid (N₂O), Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) bezeichnet. In der Heiztechnik kann die Verbindung N₂O vernachlässigt werden, NO₂ stellt die bedeutendste Form dar. Zwar setzt sich das beim Verbrennungsprozeß entstehende NO_x zu 95 % aus NO und nur zu 5 % aus NO₂ zusammen, jedoch oxidiert das NO in der Atmosphäre ebenfalls zu NO₂ auf. Da im Brennstoff Gas, anders als bei Öl, kein in organischer Form gebundener Stickstoff vorliegt, hat der an der NO_x-Bildung beteiligte Stickstoff bei der Gasverbrennung seinen Ursprung rein im Luftstickstoff. Die NO_x-Entstehung verläuft dabei nach dem prompten und dem thermischen Bildungsprinzip. Unter der sogenannten prompten NO_x-Entstehung versteht man die Bildung des NO_x über Zwischenprodukte. Der Luftstickstoff reagiert hierbei zunächst mit dem Kohlenstoff des Brennstoffes, bevor er sich dann mit dem Luftsauerstoff weiter zu NO_x

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

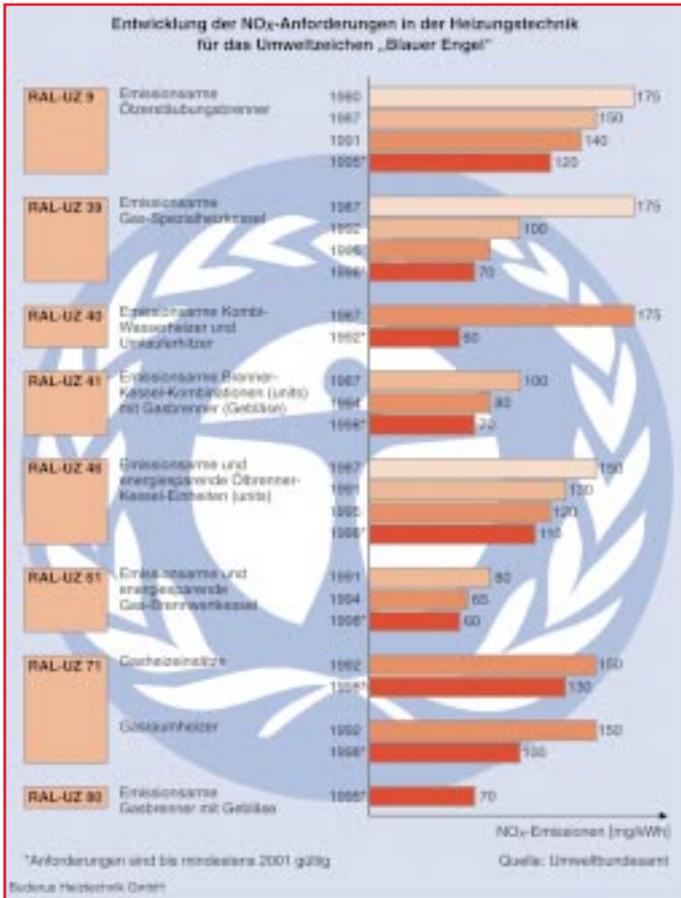


Bild 1 Entwicklung der NO_x-Anforderungen durch das Umweltzeichen „Blauer Engel“ (RAL-ZU 9, 39, 40, 41, 46, 61, 71 und 80)

Brennereinteilung nach Funktionsprinzipien

Aufgrund der in den letzten Jahren verschiedenen Entwicklungen auf dem Gebiet der Gasbrenner, wird eine klare Einteilung der Geräte, wie sie früher einfach möglich war, immer schwieriger. Darüber hinaus fließen bei der Gestaltung eines Gasbrenners zusätzlich die geometrischen Verhältnisse des Feuerraumes ein. Eine konstruktive Einteilung der Gasbrenner ist deshalb nur in verschiedene Untergruppen möglich. Generell unterteilt man die Gasbrenner in Diffusions- und Vormischbrenner. Der Unterschied liegt in der Realisierung der Verfahrensschritte zur Verbrennung (siehe Bild 4).

stimmtes (stöchiometrisches) Verhältnis von Brennstoff und Luft. Aus den soeben beschriebenen Bildungsmechanismen können nun folgende Maßnahmen zur NO_x-Reduktion abgeleitet werden:

- Senkung der Flammentemperatur,
- Verkürzung der Verweilzeit und

- Verbrennung mit unter- bzw. überstöchiometrischen Verhältnissen.

Bei all diesen Maßnahmen ist allerdings zu berücksichtigen, daß eine Wechselbeziehung zwischen der NO_x-Reduktion und der Bildung von Kohlenmonoxid (CO) besteht. NO_x-Werte sollten deshalb immer in Verbindung mit CO-Werten oder in Verbindung mit Luftzahlen angegeben werden (siehe Bild 3).

Diffusionsbrenner

Beim Diffusionsbrenner werden die Reaktionspartner Gas und Luft an der selben Stelle miteinander vermischt, an der sie auch gezündet werden. Das entspricht dem gleichen Prinzip, mit dem auch die Ölbrenner arbeiten. Diese Brenner werden grundsätzlich mit einem Gebläse ausgeführt. Zur NO_x-Reduktion wird hierbei die Möglichkeit der Abgasrezirkulation genutzt. Durch eine entsprechende Strömungsführung werden die bei der Verbrennung entstehenden Abgase an die Zündstelle der Flamme zurückgeleitet. Dadurch wird eine Verdünnung des Gas-Luft-Gemisches erreicht, was zu einer niedrigeren Flammentemperatur, einer Absenkung des Sauerstoffpartialdruckes und damit zu einer Senkung der NO_x-Emissionen führt.

Vormischbrenner

Bei Vormischbrennern findet örtlich von der Zündstelle getrennt eine Vermischung der Reaktionspartner Gas und Luft statt. Vormischbrenner werden mit und ohne

umwandelt. Die thermische NO_x-Bildung ist auf ein bestehendes Gleichgewicht der Komponenten Stickstoff, Sauerstoff und Stickstoffmonoxid zurückzuführen, das ebenso wie die prompte NO_x-Entstehung temperaturabhängig ist. Aufgrund des bei höheren Temperaturen steigende Zerfalls des Sauerstoff (O₂ → 2 O), wächst die Konzentration der Sauerstoffatome (Sauerstoffpartialdruck) an und begünstigt so die NO_x-Bildung. Als kritisch haben sich Temperaturen ab ca. 1200 °C erwiesen. Die Flammentemperatur spielt deshalb eine entscheidende Bedeutung bei der NO_x-Entstehung. Weitere NO_x-Bildungsmechanismen bei der Verbrennung sind die Zeit, der die Reaktionspartner den hohen Temperaturen ausgesetzt sind, und das Verbrennungsluftverhältnis. Dieses Verhältnis wird über die Primärluftzahl λ_p ausgedrückt. Eine Primärluftzahl von $\lambda_p = 1$ bedeutet ein für den Verbrennungsvorgang genau abge-

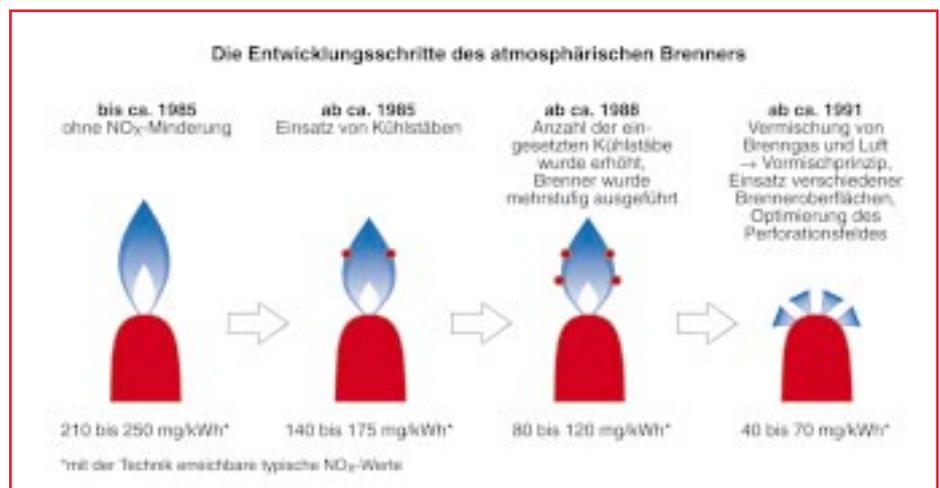


Bild 2 Entwicklungsschritte des atmosphärischen Brenners

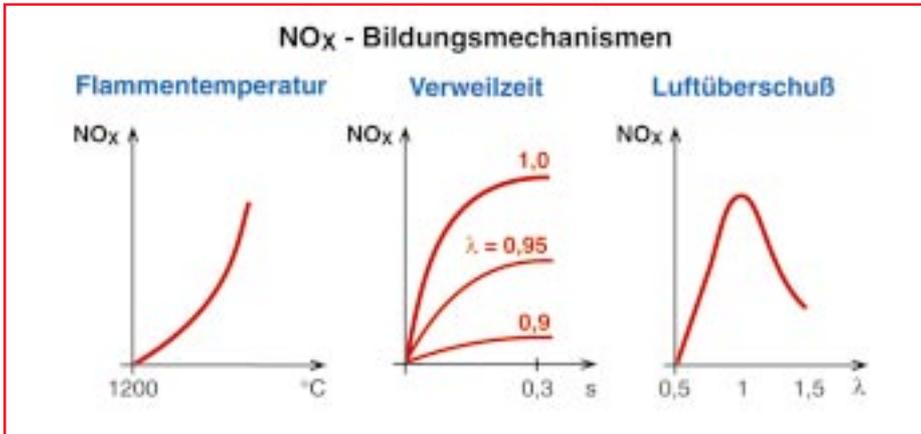


Bild 3 Auswirkungen von Flammentemperatur, Verweilzeit und Luftüberschuß auf die NO_x-Bildung

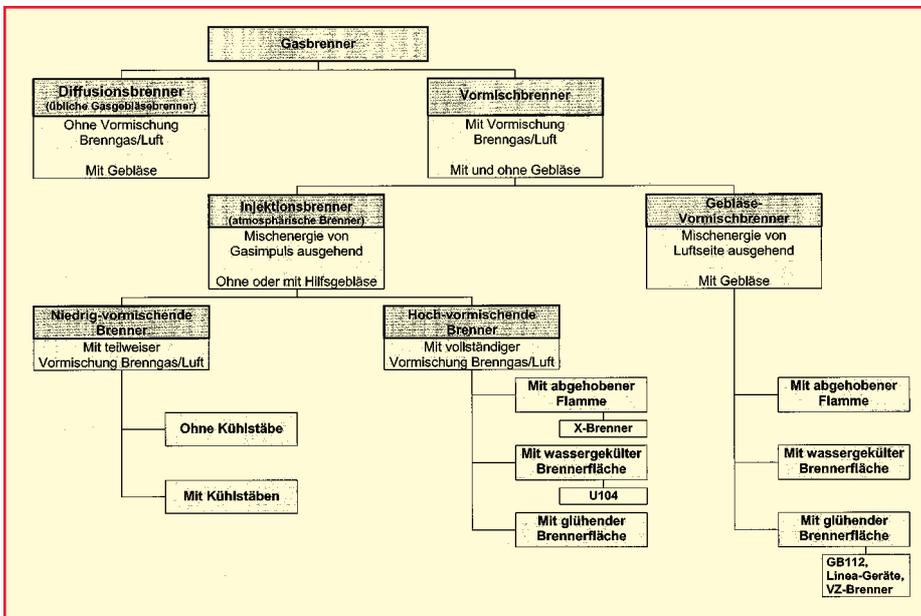


Bild 4 Einteilung von Gasbrenner-Konstruktionen mit Zuordnung der zur Zeit bei Buderus serienmäßig gefertigten Heizkessel mit Gasbrenner (atmosphärische Heizkessel (X-Brenner), wandhängender Umlaufwasserheizer U104, wandhängendes Brennwertgerät GB112, Gas-Spezialheizkessel ggf. mit Brennwertnutzung (VZ-Brenner))

Gebläse ausgeführt, wobei hier schon die Einteilung in eine nächste Untergruppe beginnt.

Das markanteste Merkmal der **Gebläse-Vormischbrenner** ist, daß die Verbrennungsluft vom Gebläse angesaugt und der entstehende Impuls des Luftstrahls oder die Turbulenz im Lufttrud für die vollständige Vermischung mit dem Brenngas genutzt wird. Ein Vorzug der Gebläse-Vormischbrenner ist die Flexibilität ihres Einsatzbe-

reiches. Aufgrund des Gebläsedruckes bietet diese Technik die Möglichkeit auch bei unterschiedlichen Druckverhältnissen eine stabile Verbrennung zu realisieren. So kann die Form des Brenners und der Verbrennungsgasführung sogar bei erhöhten Strömungswiderständen den verschiedensten Bauformen des Feuerraumes und des Wärmetauschers angepaßt werden.

Vormischbrenner ohne bzw. mit einem Hilfsgebläse werden **Injektions- bzw. atmosphärische Brenner** genannt. Diese zeichnen sich dadurch aus, daß sie das Verbrennungsgas aus einer Düse in ein sogenanntes Venturirohr blasen. Dabei wird der vorherrschende Gasversorgungsdruck ausgenutzt. Beim Ausströmen des Gases aus

der Düse bzw. beim Einströmen in das Venturirohr wird Verbrennungsluft angesaugt. Auf diese Weise wird ein Vormischeffekt von Gas und Luft erzielt. Das so erzeugte Verbrennungsgemisch strömt am Ende des Venturirohres in einen Brennstab, in dem es sich gleichmäßig verteilt. Die Zündung dieses Gemisches findet nach dessen Austritt aus dem Brennröhr durch ein Perforationsfeld in Form von Loch- oder Schlitzreihen statt. Das bei diesen Brennern ggf. eingesetzte Hilfsgebläse wird zur Abgasförderung oder auch zur Unterstützung der bereits vorhandenen Luftbeimischung genutzt. Heizkessel, in denen diese Brenner zum Einsatz kommen, müssen mit einer Strömungssicherung oder einer Ausgleichsöffnung ausgestattet sein. Diese stellt im Abgasweg nach Schornstein eine Verbindung zur Raumluft her und verhindert so nachteilige Auswirkungen von zu starkem Aufstrom, Stau oder Rückstrom des Abgases auf den Verbrennungsprozeß (siehe Bild 5). In der weiteren Einteilung der atmosphärischen Brenner wird zwischen **hoch- und niedrig-vormischenden Brennern** unterschieden. Der letzteren Bauart entsprechen sämtliche atmosphärische Brenner in Öfen, Herden, Thermen und Heizkessel bis etwa 1990. Sie erzeugen aufgrund ihrer Düsen- und Venturirohrauslegung ein unterstöchiometrisches, zündfähiges Gas-Luft-Gemisch mit Primärluftzahlen λ_p von etwa 0,4 bis 0,6. Für eine vollständige Verbrennung wird jedoch noch eine größere Luftmenge benötigt, die von außen in die brennende Flamme eindringt (Sekundärluftdiffusion). Wegen des geringen Primärluftanteils bildet sich in der Gasflamme ein heißer Flammenkern und dementsprechend viel NO_x. Wie bereits in der geschichtlichen Entwicklung beschrieben, wurden bei diesen Brennern, um die NO_x-Emissionen zu minimieren, flammenkühlende Stäbe verwendet.

Da die Grenzen dieser Technik mittlerweile erreicht sind, setzt man in letzter Zeit vermehrt auf die Technik der **hoch-vormischenden Brenner**. Die Gasdüse und das Venturirohr sind bei ihnen in der Form gestaltet, daß das Brenngas mit so viel Luft vorgemischt wird, wie zu einer vollständigen Verbrennung erforderlich ist. D. h., es wird ein überstöchiometrisches Gasluftgemisch mit Primärluftzahlen λ_p größer als 1,0 erzeugt. Obwohl für den eigentlichen Verbrennungsvorgang keine weitere Se-

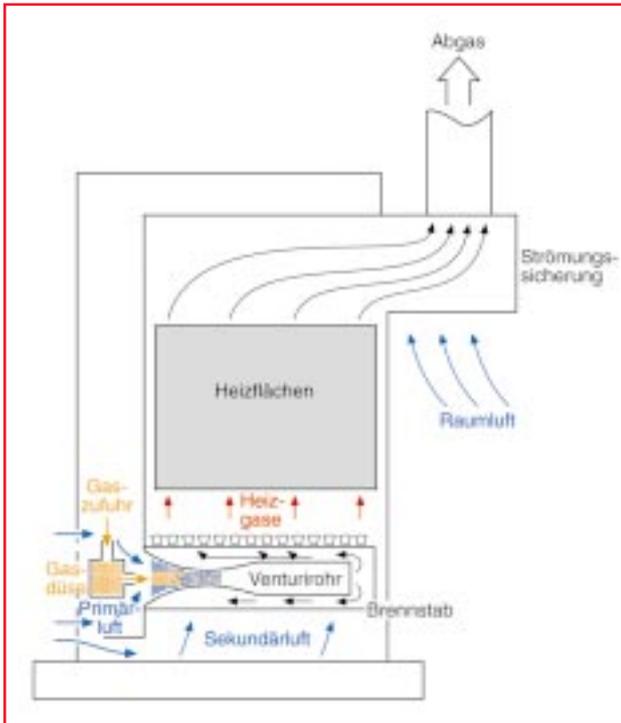


Bild 5 Aufbau eines Heizkessels mit atmosphärischem Brenner

kundärluft mehr notwendig ist, strömt dennoch meistens eine kleine Luftmenge an die Flamme. Bei neueren Brennerbaureihen nimmt diese Luft überhaupt nicht mehr an der Verbrennung teil, sie kühlt vielmehr den Brennstab (siehe Bild 6).

Bauarten von Brenneroberflächen

Der Werkstoff der Vormischbrenner ist, aufgrund des sich sehr dicht über der Oberfläche abspielenden Verbrennungsprozesses, hohen Temperaturen und damit hohen Belastungen ausgesetzt. Damit diese Belastungen für einen dauerhaft beständigen Betrieb möglichst gering gehalten werden, muß der Problematik mit entsprechenden Maßnahmen begegnet werden. Hier existieren ebenfalls verschiedene Ausführungsmöglichkeiten, die eine weitere Unterteilung der Vormischbrenner notwendig macht.

Eine Reduzierung der Oberflächenbelastung kann z. B. durch eine erst in einem gewissen Abstand zur Brenneroberfläche einsetzende Verbrennung erreicht werden. Zur Realisierung wird dazu das Perforationsbild so gestaltet, daß die Austrittsge-

windigkeit des Brennstoffgemisches die Flammengeschwindigkeit überschreitet. Solche, von der Oberfläche **abgehobenen Flammen**, sind kurz und haben eine V- oder W-Form. Eine Leistungsmodulation, d. h. eine in gewissen Grenzen veränderliche Leistung, ist mit dieser Technik jedoch nicht möglich. Brenner mit abgehobenen Flammen werden deshalb in der Regel 1stufig betrieben und können NO_x -Werte unter 40 mg/kWh erreichen.

Andere Konstruktionen arbeiten ebenfalls mit sehr dicht über der Oberfläche brennenden, sehr kurzen Flammen. Zur Kompensation der entstehenden Temperaturen werden **wassergekühlte Brennerflächen** eingesetzt. Die entstehende Wärme wird dabei vom Heizwasser, das den Bren-

ner unter der Oberfläche in Rohrleitungen durchströmt, aufgenommen. Ein direktes Aufsitzen der Flammen an der Oberfläche ist bei Brennern dieser Bauart allerdings nicht möglich, da die niedrige Oberflächentemperatur die Verbrennung unterbrechen würde. Brenner mit wassergekühlter Oberfläche können modulierend betrieben werden und NO_x -Werte unter 30 mg/kWh erreichen. Eingesetzt werden solche Brenner wegen der wasserseitigen Einbindung vorwiegend bei Wasserheizern und Kombi-Wasserheizern.

Im Gegensatz zur gekühlten Oberfläche gibt es auch **Brenner mit glühenden Oberflächen**, bei denen eine Erwärmung bewußt zugelassen wird. Infolge der dabei entstehenden Oberflächentemperaturen von 800 bis 1200 °C können nur spezielle, hitzebeständige Werkstoffe wie z. B. Keramik eingesetzt werden. Nach der Zündung des Brenners heizt sich die Oberfläche durch die dicht brennende Flamme immer weiter auf, bis ein Gleichgewicht zwischen zugeführter und an den Brennräum abgestrahlter Wärme entsteht. Die starke Wärmestrahlung geht dabei zum überwiegenden Teil von der gelb glühenden Oberfläche aus als von der blau brennenden, kaum mehr sichtbaren Flamme. Wegen des hohen Strahlungsanteils dieser Brenner kommen sie u. a. als Strahlungsbrenner, die auch als Infrarotstrahler bezeichnet werden, zum Einsatz. Auch bei diesen Brennern ist eine Modulation der Leistung möglich. Die NO_x -Emissionen werden allerdings stark von der

Größe der glühenden Oberfläche beeinflusst. Je größer diese ist, desto geringer sind auch die NO_x -Werte, die hier sogar 20 mg/kWh unterschreiten können (siehe Bild 7).

Betriebsbedingungen und Brennverhalten

In der Praxis kann sich die Gaszusammensetzung bzw. -beschaffenheit an den Entnahmestellen des Versorgungsnetzes örtlich sowie auch zeitlich gesehen ändern. Ein Grund dafür ist z. B. die Einspeisung von Gasen verschiedener Anbieter aus unterschiedlichen Vorkommen, um u. a. eine gewisse Unabhängigkeit von einzelnen Gaslieferanten zu erreichen. Der Betrieb von Gasbrennern mit unterschiedlichen Gasbeschaffenheiten hat allerdings, wie auch der vom Wetter beeinflusste Schornsteinzug, Auswirkungen auf die am Verbrennungsprozeß beteiligte Luftmenge. Bei hochvor-

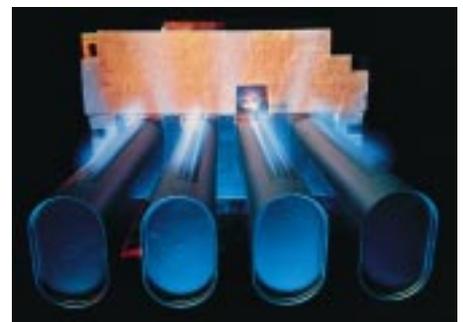


Bild 6a, 6b Atmosphärischer, hochvorbrennender Brenner mit abgehobener, W-förmiger Flamme (G134 X, X-Brenner)



Bild 7a, 7b Funktionsprinzip eines Gebläse-Vormischbrenners mit glühender Brennerfläche (GB112)

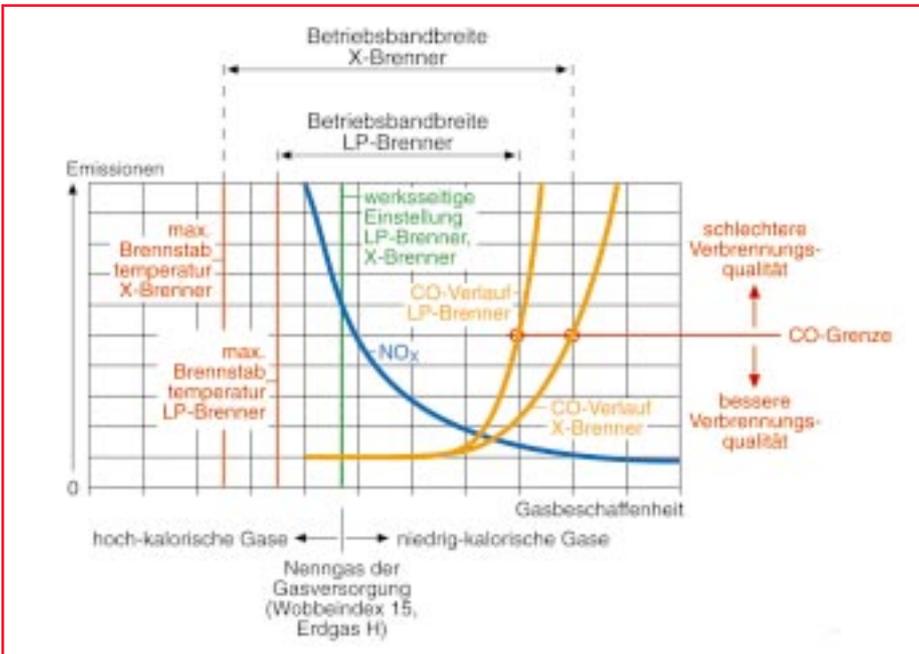


Bild 8 Das Bild zeigt in vereinfachter Darstellung das Brennverhalten von zwei atmosphärischen Gasbrennern mit abgehobener Flamme bei Erdgas

mischenden Brennern wirkt sich der Einfluß der Gasbeschaffenheit umgedreht proportional auf die Luftzahl und hier stärker auf die Primär- als auf die Sekundärluft aus, die davon im Vergleich nur zu ca. $\frac{1}{10}$ betroffen ist. Dies gilt auch für niedrig-vormischende Brenner, allerdings nur in halb so großen Maße. Diese Auswirkungen auf die Luftmenge dürfen jedoch bestimmte brennerspezifische Grenzen nicht über- bzw. unterschreiten, da die Emissionswerte

andernfalls inakzeptabel ansteigen und auch Brennerstörungen auftreten können. Bei Vormischbrennern mit abgehobenen Flammen führt z. B. Luftmangel bei starker Verschmutzung sogar zu einem Aufsetzen der Flammen an der Oberfläche, wodurch diese einer übermäßigen Temperaturbelastung ausgesetzt wird und Schaden nimmt. Aus diesem Grund müssen Brenner entsprechende Beeinflussungen durch verschiedene Gasqualitäten kompensieren können. Diese sogenannte Stabilitätsbandbreite wird durch die Gestaltung Brennerkonstruktion erreicht, die den Luftzahlbereich in dem der Brenner arbeitet begrenzt. Die werksseitige Einstellung der Gasbrenner wird dabei so

vorgenommen, daß der Arbeitsbereich nicht in kritische Luftverhältnisse hineinreicht (siehe Bild 8).

Wohin geht die Entwicklung?

Aus den aufgeführten Informationen läßt sich erkennen, daß sich auf dem Gebiet der Gasfeuerung in den letzten Jahren viel getan hat. Durch Entwicklungsaktivitäten konnten extrem schadstoffarme Brenner realisiert werden. Die Reduktion der NO_x -Emissionen ließ sich vor allem durch eine Optimierung der Vormischverhältnisse Brenngas/Luft und durch die Verwendung geeigneter Brenneroberflächen erreichen. Für den Einsatz dieser neuen Techniken zeichnen sich aufgrund der unterschiedlichen Brennereigenschaften und Herstellkosten verschiedene Anwendungsgebiete ab. Der Diffusionsbrenner findet vor allem im größeren Leistungsbereich, bei Brennkesseln sowie bei Heizkesseln, die wechselweise mit Öl oder Gas befeuert werden sollen, Verwendung. Hier wird der Diffusionsbrenner aufgrund seines günstigen Preis-Leistungsverhältnis auch in den nächsten Jahren seine Bedeutung haben.

Gebläse-Vormischbrenner arbeiten sehr viel leiser als die Diffusionsbrenner und werden mehr bei raumluftunabhängigen Betriebsweisen oder bei Heizkesseln mit kompakten Abgasleitungen wie den Wandheizkesseln bevorzugt. Für den größeren Leistungsbereich wird er nur eingesetzt werden, wenn seinen geringen Emissionswerten ein höherer Stellenwert eingeräumt wird als seinen Anschaffungskosten.

Die atmosphärischen Brenner werden auch in Zukunft durch ihre Vorzüge wie Robustheit, leise Betriebsweise, geringer Wartungsaufwand und Langlebigkeit ihre Attraktivität behalten. Dabei werden diese Geräte nicht nur mehr für den kleinen Leistungsbereich, der diesen Brennern bisher als vorbehalten schien, sondern vermehrt auch im größeren Leistungsbereich zum Einsatz kommen. Gerade im Hinblick auf das Umweltzeichen „Blauer Engel“, dessen Anforderungen zukünftig auch die elektrische Leistungsaufnahme beinhalten, werden die atmosphärischen Geräte durch ihren geringen Stromverbrauch noch interessanter. Positiv auf die Marktentwicklung würde sich auch eine mit der atmosphärischen Technik bisher noch nicht realisierte Brennerwertnutzung auswirken, die in naher Zukunft mit Hilfe eines Abgasventilators denkbar wäre. □