

Auswirkungen von Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoffgemischen auf Gasgebläsebrenner

von **Andreas Huber**

Im Rahmen der Energiewende kann Wasserstoff als erneuerbarer Energieträger in der Industrie- und Prozesstechnik zukünftig einen entscheidenden Beitrag leisten. Allerdings weist Wasserstoff als Brennstoff deutlich andere Eigenschaften als Erdgas auf. Um die Auswirkungen von Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoffgemischen auf einen Gasgebläsebrenner nach EN676 zu analysieren, wurden Untersuchungen mit einem modernen mündungsmischenden dreizler marathon® LOW-NO_x Gasgebläsebrenner auf Basis der Hohlflamme®-Technologie durchgeführt. Die Schwerpunkte der Untersuchungen bildeten hierbei der Einfluss auf die NO_x-Emissionen und deren Reduktionsmöglichkeiten, die thermische Belastung, die Eignung unterschiedlicher Flammenwächtertechnologien sowie die Auswirkungen auf den Brennstoff-Luft-Verbund. Die Ergebnisse demonstrieren die Eignung des Brennersystems für den brennstoffflexiblen Einsatz von Wasserstoff und Erdgas.

Effects of hydrogen and mixtures of hydrogen and natural gas on forced draught burners for gaseous fuels

To support the energy transition hydrogen can play an important role as a renewable energy source in industry and process technology in the future. However, the properties of hydrogen in terms of combustion strongly differ from the properties of natural gas. To analyse the effects of hydrogen and mixtures of hydrogen and natural gas on forced draught burners for gaseous fuels according to EN676, experimental studies have been performed using a modern non-premixed dreizler marathon® LOW-NO_x burner based on the hollowflame®-technology. The focal points include the impact on NO_x emissions and its reduction strategies, thermal load, the applicability of different flame monitoring technologies and the effect on the air-fuel linkage. The results demonstrate the feasibility of the burner for the fuel-flexible use of hydrogen and natural gas.

Der gesamte Endenergiebedarf Deutschlands wird im Zuge der Energiewende auch mit dem Erreichen der Ausbauziele der erneuerbaren Energien und der ambitionierten Energieeinsparziele allein auf Basis des inländisch erzeugten erneuerbaren Stroms nicht gedeckt werden können. Unter anderem in der industriellen Wärme- und Dampferzeugung wird der verbleibende Energiebedarf auch in Zukunft durch gasförmige oder flüssige Energieträger sichergestellt werden müssen.

Langfristig stellt laut BMWi [1] insbesondere CO₂-freier Wasserstoff als zukünftiger speicherbarer Energieträ-

ger einen festen Bestandteil der Energiewende dar. Der Wasserstoff soll hierbei aus erneuerbaren Energien mit Hilfe des Elektrolyseverfahrens als grüner Wasserstoff erzeugt werden. Aufgrund der limitierten erneuerbaren Stromerzeugung im Inland wird dieser vor allem aus dem Ausland importiert werden müssen. Alternativ kann der Wasserstoff durch Reformation von Erdgas gewonnen werden. Wird hierbei das anfallende Kohlendioxid abgeschieden und gespeichert (carbon capture and storage, CCS), wird der so erzeugte Wasserstoff als blauer Wasserstoff bezeichnet.



Bild 1: Beispiel marathon Gebläsebrenner nach EN676

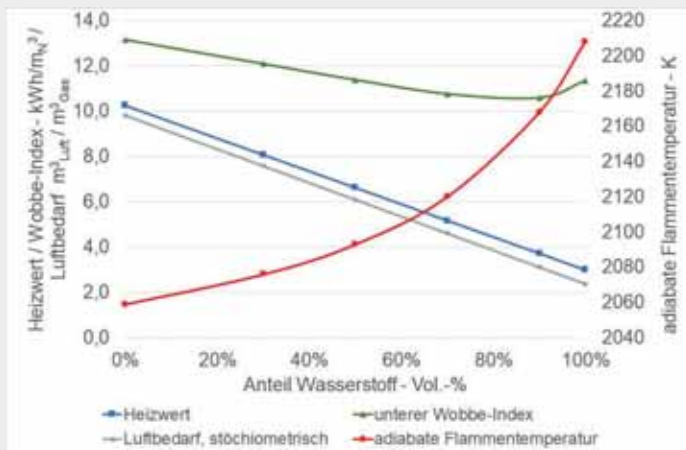


Bild 2: Vergleich von Heizwert, stöchiometrischer Luftbedarf, unterer Wobbe-Index und adiabate Flammentemperatur für verschiedene Erdgas- / H₂-Mischungen

Mit der Wasserstoffeinmischung ins Erdgasnetz befassen sich aktuell einige Forschungsprojekte, die die Wasserstoffverträglichkeit von Bestandsgasgeräten bei einer Beimischung von bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff [2] und 30 Vol.-% Wasserstoff [3] ins Erdgasnetz prüfen. Im Rahmen der vom BMWi geförderten Reallabore im Bereich der Wasserstoff- und Energiespeichertechnologien soll u. a. die Verwendung von 100 Vol.-% Wasserstoff in wasserstoffbasierten Microgrids erprobt werden [4].

Auch wenn Erdgas als Energieträger über 2030 eine wichtige Rolle in der Versorgung mit Heizwärme, Prozesswärme und Prozessdampf spielen wird, müssen Anlagen, die in den nächsten Jahren errichtet oder modernisiert werden, aufgrund der in der Regel langen Lebensdauer auf den möglichen Einsatz von erneuerbaren Brennstoffen oder deren späteren Ertüchtigung ausgerichtet werden.

Seit den Anfängen des Stadtgases verfügt die Walter Dreizler GmbH bereits über 50 Jahre Erfahrung in

der Verwendung von Energieträgern mit hohem Wasserstoffanteil. Das Stadtgas (Gasfamilie 1), das damals aus der Kohlevergasung gewonnen wurde, setzte sich neben Kohlenmonoxid, Methan und Stickstoff aus bis zu 60 Vol.-% Wasserstoff zusammen. Noch in den 1980er Jahren wurden in Berlin Gasgebläsebrenner im Megawattbereich mit aus Benzin reformiertem Gas mit 50 Vol.-% Methan und 50 Vol.-% Wasserstoff betrieben. Bisher bereits durchgeführte Untersuchungen im Jahr 2019 [5] zeigen, dass mit der aktuellen Baureihe marathon ... ARZ mit einer im Brennerkopf integrierten Abgasrezirkulation ARZ zur NO_x-Reduktion eine Beimischung von bis zu 10 Vol.-% Wasserstoff mit geringen Anpassungen und entsprechendem Feuerungsmanager möglich ist.

Um die Fähigkeit des Einsatzes von bis zu 100 Vol.-% Wasserstoff in den modernen mündungsmischenden marathon LOW-NO_x Gasgebläsebrenner auf Basis der Hohlflamme-Technologie (EU-Patent EP 2126471 B1) zu verifizieren, wurden im März 2020 am Gas- und Wärme-Institut Essen e. V. in Essen (GWI) umfangreiche Versuche durchgeführt. Diese Brennertechnologie (siehe **Bild 1**) wird je nach Brennstoff und Anwendung an Anlagen zur Wärme- und Dampferzeugung in Prozess- und Industrieanlagen und zur Fernwärmeversorgung mit einer Brennerleistung von 1 bis 44 MW eingesetzt.

Die Walter Dreizler GmbH produziert Brennersysteme auf Basis der Hohlflamme-Technologie zur Nach- oder Neuausrüstung für verschiedenste gasförmige und flüssige Brennstoffe für getrennten oder kombinierten simultanen Betrieb im Bereich mehrerer Gigawatt pro Jahr und verfügt in Europa über einen kompetenten eigenen Service.

Verbrennungseigenschaften Wasserstoff

Der Brennstoff Wasserstoff unterscheidet sich in vielerlei Hinsicht deutlich vom Brennstoff Erdgas¹, das in der Regel vor allem aus Methan besteht. Durch den geringeren, volumetrischen Heizwert und der geringeren Dichte von Wasserstoff sinkt mit steigenden Wasserstoffanteilen der Heizwert und der Wobbe-Index des Erdgas-Wasserstoffgemisches (siehe **Bild 2**). Analog zum Heizwert sinkt der stöchiometrische Luftbedarf.

Mit steigenden Wasserstoffanteilen erhöht sich die adiabate Flammentemperatur, die ohne weitere Maßnahmen zu einer Zunahme der thermischen NO_x-Bildung führt. Eine Erhöhung der adiabaten Flammentemperatur von ca. 2.050

¹ Für die in diesem Bericht dargestellten Vergleiche wurde die am GWI zur Zeit der Versuche zur Verfügung stehende Erdgaszusammensetzung (Heizwert: 10,26 kWh/m³; Wobbe-Index: 13,16 kWh/m³) verwendet.

auf ca. 2.200 K, wie in Bild 2 für eine Luftzahl von 1,2 gezeigt, führt zu einer um ca. 3,5-fachen Erhöhung der thermischen NO-Bildungsrate gemäß dem NO-Geschwindigkeitsgesetz [6].

Die Zunahme der laminaren Flammgeschwindigkeit sowie die starke Abnahme der Zündverzugszeit bei steigendem Wasserstoffanteil verkürzen den Ausbrand und erhöhen die thermische Belastung der flammenberührten Bauteile.

Um die gleiche Feuerungsleistung bei höheren Wasserstoffanteilen zu erzielen, muss der Gasdurchsatz bzw. der Gasdüsendruck erhöht werden. Wird die Einstellung des Gasdruckreglers nicht angepasst, sinkt durch den gleichbleibenden Gasdruck die Feuerungsleistung mit zunehmendem Wasserstoffanteil und erreicht bei 90 Vol.-% Wasserstoff sein Minimum. Auf der anderen Seite sinkt durch den geringeren stöchiometrischen Luftbedarf der erforderliche Luftvolumenstrom. Ohne Regelung der Luftmenge – durch beispielsweise eine O₂-Regelung – sinkt die Verbrennungseffizienz und damit der Anlagenwirkungsgrad. Die Effekte bei gleicher Einstellung des Gasdruckreglers und konstantem Luftvolumenstrom sind für einen beispielhaften Fall mit einer Luftzahl von 1,2 bei Erdgasbetrieb in **Bild 3** dargestellt. Während die Feuerungsleistung um ca. 19 % sinkt, steigt die Luftzahl in der Spitze bei 90 Vol.-% Wasserstoff um bis zu 42 %.

Versuchskonzept / -aufbau

Schwerpunkt der Untersuchungen des marathon Brennersystems auf Basis der Hohlflamme-Technologie waren die Auswirkungen von bis zu 100 Vol.-% Wasserstoff auf die thermische Belastung, die NO_x-Emissionen und deren Reduktionsmöglichkeiten, die Eignung unterschiedlicher Flammenwächtertechnologien sowie die Auswirkungen auf den Brennstoff-Luft-Verbund.

Der hierbei eingesetzte Brenner verfügt über eine thermische Leistung von bis zu 1,1 MW. Aufgrund der vorhandenen Infrastruktur und dem maximal möglichen Wasserstoffmassenstrom musste die Leistung des Brenners auf 600 kW und bei 100 Vol.-% Wasserstoff auf 450 kW begrenzt werden. Die Feuerraumquerschnitts- und Volumenbelastung am Prüfflammrohr nach EN676 betrug max. 3,0 MW/m², bzw. 1,53 MW/m³. **Bild 4** zeigt den Versuchsbrenner und das Prüfflammrohr, **Bild 5** stellt das R&I Schema des Versuchsaufbaus dar.

Die Flammenüberwachung erfolgte über Ionisationselektroden sowie über optische, kombinierte UV-/IR-Flammenwächter. Zu Messzwecken wurden zwei Ioni-

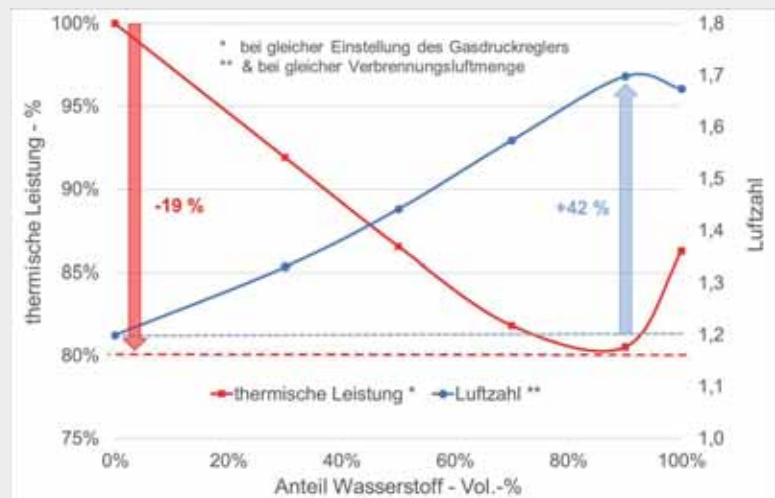


Bild 3: Einfluss des Wasserstoffanteils auf die Brennerleistung und Luftzahl bei unregelter Betriebsweise



Bild 4: Versuchsbrenner und Prüfflammrohr

sationselektroden eingesetzt. Hierbei wurden der Ionisationsstrom, die Flackerfrequenzen und die Spannungen der UV- und IR-RMS² Signale aufgezeichnet. Aufgrund der Regelung des Gasmassenstroms durch zwei Massenstromregler (Erdgas / Wasserstoff) wurde das für den normalen Gebrauch verwendete Regelventil der Gasrampe gegen ein zusätzliches Sicherheitsventil ersetzt und die Gasklappe mit Stellantrieb entfernt. Weiterhin wurde eine Deflagrationssicherung eingesetzt. Zur NO_x-Emissionsminderung wurde eine externe Abgasrückführung – dreizler ARF – verwendet. Die NO_x- und CO-Emissionen wurden mit Analysatoren der

2 RMS: quadratischer Mittelwert

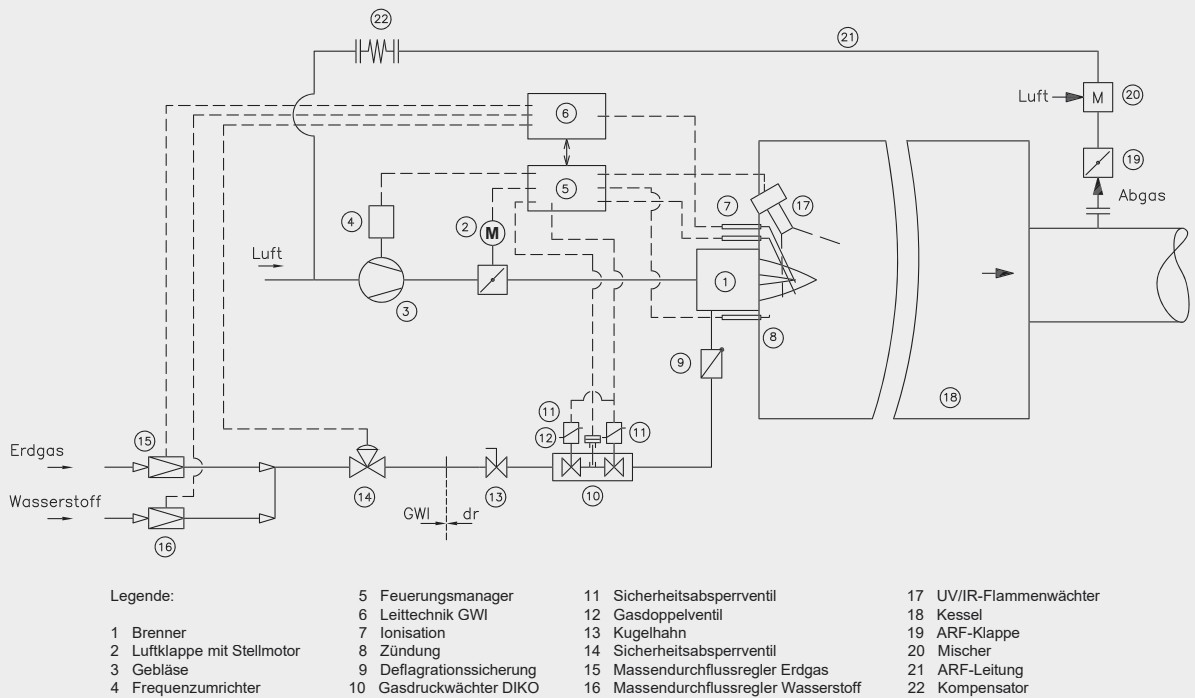


Bild 5: R&I Schema des Versuchsaufbaus

Firmen Ecophysics (CLD 822 Sr) und Emerson (NGA2000) gemessen. Zur Bestimmung der externen Abgasrückführungsraten wurde der Sauerstoffanteil in der Verbrennungsluft und im Abgas ermittelt. Zur Messung der Material- und Oberflächentemperaturen wurden an verschiedenen Bereichen der Mischeinrichtung Thermoelemente installiert. Zusätzlich wurden die Temperaturen des Abgases in der

externen Abgasrückführung ARF, in der Verbrennungsluft, in der Gasstrecke sowie die Gasdrücke vor dem Gasdoppelventil und am Gasanschluss des Brenners und der Luftdruck in der Mischeinrichtung und im Feuerraum aufgezeichnet.

Die Versuche wurden mit 100 Vol.-% Wasserstoff, 100 Vol.-% Erdgas und Erdgas-Wasserstoff-Gemischen mit je 30, 50, 70 und 90 Vol.-% Wasserstoff an bis zu fünf verschiedenen Lastpunkten durchgeführt. Zusätzlich wurde der Einfluss der Luftzahl von nahstöchiometrischen bis zu mageren Bedingungen (Luftzahl 1,5) sowie der Einfluss unterschiedlicher externer Abgasrückführungsraten untersucht.

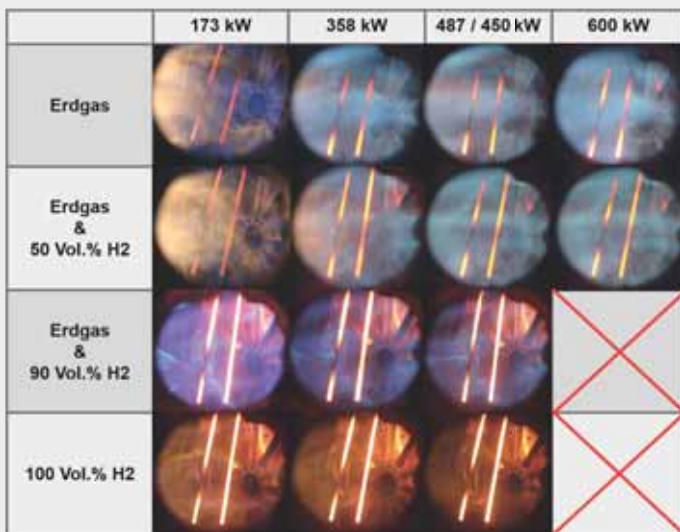


Bild 6: Aufnahmen der Flamme bei unterschiedlichen Leistungen und Brennstoffzusammensetzungen bis 100 Vol.-% Wasserstoff

Ergebnisse

Mit Zunahme des Wasserstoffanteils ändert sich die Flammenform, Flammenlage und Flammenfarbe, wie in der Übersicht der Flammenbilder in **Bild 6** ersichtlich ist. Bis zu einem Wasserstoffanteil von 50 Vol.-% sind die optischen Änderungen nur geringfügig. Im Wesentlichen bilden sich nach der Eindüsung des Brennstoffes in den Luftstrom verteilte Reaktionszonen aus. Bei einer Beimischung von 90 Vol.-% und höher werden die Reaktionszonen deutlich diskreter und kompakter. Dies lässt sich auf die höhere Reaktivität (höhere Flammengeschwindigkeit & kürzere Zündverzugszeit) des Wasserstoffs zurückführen. Zusätzlich ändert sich die Farbe zu blau/violett.

Bei 100 Vol.-% Wasserstoff sind die Reaktionszonen nach der Eindüsung aufgrund der Verfärbung der Flamme ins

Gelbliche insbesondere bei hohen Leistungen nicht mehr klar zu erkennen. Anhand der Zunahme der thermischen Belastung der Ionisationselektroden wird deutlich, dass sich die Hauptreaktionszone der Verbrennung mit höheren Wasserstoffanteilen deutlich stromauf bewegt.

Mit Zunahme des Wasserstoffanteils erhöhen sich die NO_x -Emissionen zunächst moderat. Ab 70 Vol.-% Wasserstoff und insbesondere ab 90 Vol.-% Wasserstoff steigen die NO_x -Emissionen sehr stark an (siehe **Bild 7**).

Die Erhöhung der NO_x -Emissionen ist vor allem auf die Bildung des thermischen NO aufgrund höherer adiabater Flammentemperaturen (siehe Bild 2) zurückzuführen. Zudem wirkt sich die kürzere Flamme und die damit verbundene geringere Einmischung von Abgas in die Ausbrandzone erhöhend auf die NO_x -Emissionen aus. Ein weiterer Einflussfaktor ist die jeweilige Mischungscharakteristik, die sich aufgrund der unterschiedlichen Brennstoff- und Luftvolumenströme ändert. Die CO -Emissionen sinken von einem allgemein niedrigen Niveau bis 90 Vol.-% Wasserstoff leicht ab. Bei 100 Vol.-% Wasserstoff kann sich aufgrund des fehlenden Kohlenstoffs kein CO mehr bilden.

Eine deutliche Abhängigkeit der NO_x -Emissionen von der Volumenbelastung des Feuerraumes bei gleichbleibender Luftzahl wurde unter diesen Versuchsbedingungen erst bei höheren Wasserstoffanteilen > 70 Vol.-% sichtbar. Hier sollte bei der Anwendung mit höheren Kesseltemperaturen (z. B. Heißwasser- und Dampfkessel) und anderen Feuerraumgeometrien von stärkeren Auswirkungen ausgegangen werden. Auch bei einer Änderung der Luftzahl, wie in **Bild 8** gezeigt, ist bei einer Beimischung von bis zu 90 Vol.-% Wasserstoff keine klare Tendenz erkennbar. Bei 100 Vol.-% Wasserstoff ist durch die Erhöhung der Brennerleistung sowie der Luftzahl ein positiver Einfluss bei den NO_x -Emissionen zu beobachten. Jedoch findet dies im Vergleich zu Erdgas oder Erdgas-Wasserstoffmischungen auf deutlich höherem Emissionsniveau statt. Die Reduktion der NO_x -Emissionen bei höheren Luftzahlen ist hierbei auf geringere adiabate Flammentemperaturen und im Vergleich zu den anderen Erdgas-Wasserstoff-Mischungen unter anderem auf die stärkere Änderung des Brennstoffimpuls und der Luft-/Abgas-/Brennstoffmischung zurückzuführen.

Eine deutliche NO_x -Reduktion kann insbesondere bei 100 Vol.-% Wasserstoff durch die externe Abgasrückführung – dreizler ARF – erreicht werden. Mit einer Abgasrückführungsrate³ von 10 % wird eine Verringerung der NO_x -Emissionen um über 60 % auf unter 100 mg/Nm^3 im gesamten Lastbereich erreicht (siehe **Bild 9**). Mit einer weiteren Erhöhung der Abgasrückführungsrate sind bei der Verbrennung von 100 Vol.-% Wasserstoff NO_x -

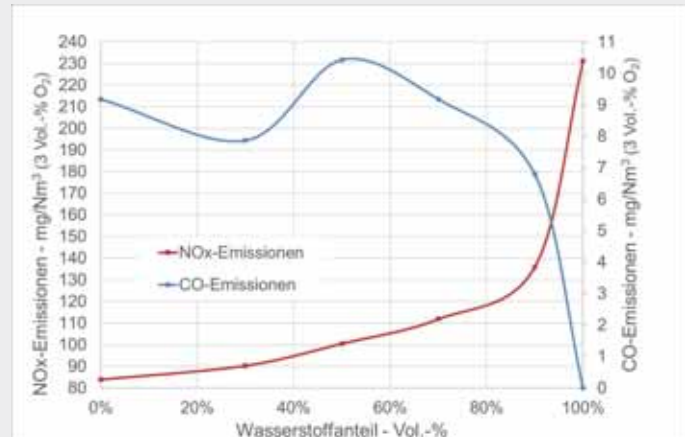


Bild 7: NO_x - und CO -Emissionen über dem Volumenanteil von Wasserstoff bei konstanter Brennerleistung und konstanter Luftzahl

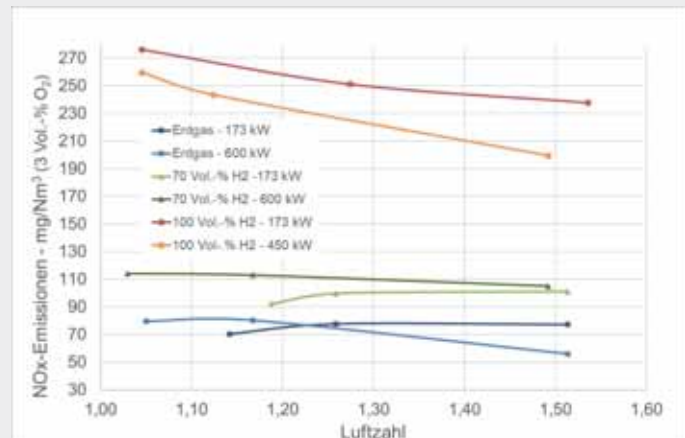


Bild 8: Auswirkungen der Luftzahl auf die NO_x -Emissionen für Erdgas, einer Mischung mit 70 Vol.-% Wasserstoff und 100 Vol.-% Wasserstoff

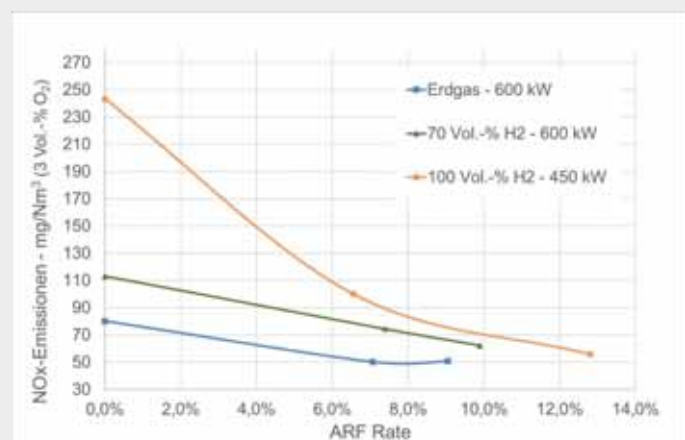


Bild 9: Auswirkungen der externen Abgasrückführung auf die NO_x -Emissionen für Erdgas, einer Mischung mit 70 Vol.-% Wasserstoff und Wasserstoff

³ Definiert als Quotient aus Abgasvolumenstrom der Rezirkulation und dem Gesamtgasvolumenstrom

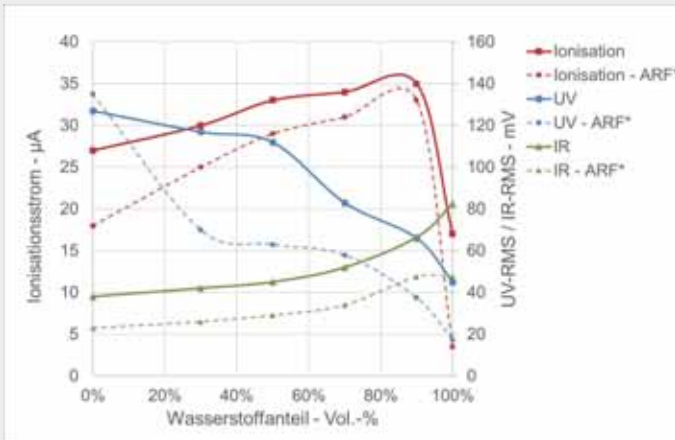


Bild 10: Einfluss der Wasserstoffbeimischung auf die Flammenüberwachung (Ionisation, UV, IR) bei konstanter Brennerleistung

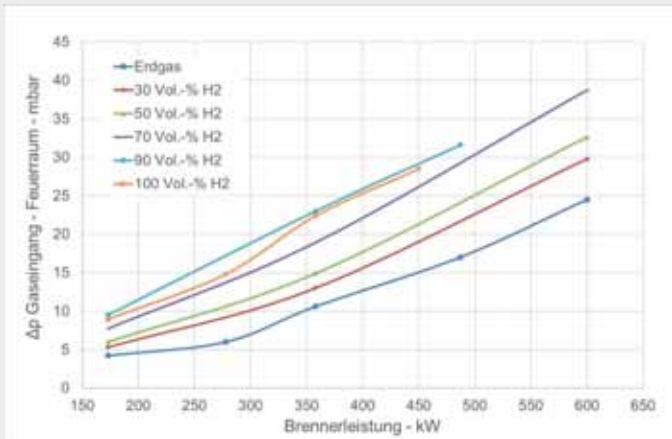


Bild 11: Einfluss der Wasserstoffbeimischung auf den erforderlichen Differenzdruck (Gaseingangsdruck – Feuerraumdruck) über der Brennerleistung

Emissionen von unter 60 mg/Nm^3 möglich. Allerdings ist bei höheren Abgasrückführaten die Kondensation von Abgasbestandteilen mit verstärktem Kondenswasseranfall zu berücksichtigen.

Die thermische Belastung der Mischeinrichtung des Brenners (bspw. Gasdüsen, Stauscheibe) bleibt auch mit zunehmendem Wasserstoffanteil moderat. Während der Einfluss der Leistung bei Erdgas und Erdgas-Wasserstoffmischungen gering ist, kann bei 100 Vol.-% Wasserstoff der deutliche Einfluss der kurzen Reaktionszone in Kleinlast beobachtet werden. Im Mittel- und Vollastfall sinkt die Temperatur auch bei 100 Vol.-% Wasserstoff auf mit Erdgas vergleichbare Werte ab. Generell können die Bauteiltemperaturen unabhängig vom eingesetzten Brennstoff mit der externen Abgasrückführung – dreizler ARF – gesenkt werden.

Auch bei zunehmendem Wasserstoffanteil lässt sich die Flamme mit den verwendeten Flammenwächtern (Ionisa-

tion, UV und IR) in allen Betriebsbereichen erfassen, wie in **Bild 10** dargestellt. Der Ionisationsstrom steigt zunächst mit höheren Wasserstoffanteilen an, was auch auf die verkürzte Flammenform zurückzuführen ist, die die Elektroden thermisch höher belastet. Allerdings sinkt bei 100 Vol.-% Wasserstoff das Ionisationssignal stark ab. Zusätzlich wurden bei hoher Abgasrückführungsrate Ionisationsströme gemessen, die nur knapp über dem Schwellenwert liegen. Somit ist die Flammenüberwachung mit Ionisation bei Einsatz von 100 Vol.-% Wasserstoff und externer Abgasrückführung nicht zur zuverlässigen Detektion der Flamme geeignet. Das UV-RMS Spannungssignal nimmt kontinuierlich mit steigendem Wasserstoffanteil ab, während das IR-RMS Spannungssignal gerade bei hohen Wasserstoffanteilen zunimmt. Das IR Signal wird allerdings bei diesem Versuchsaufbau durch das verstärkte Glühen der Ionisationssonden beeinflusst.

Aufgrund des auf sein Volumen bezogenen geringeren Heizwerts von Wasserstoff wird bei gleicher Brennerleistung ein höherer Gasvolumenstrom benötigt. **Bild 11** zeigt hierbei den Differenzdruck zwischen Gasvordruck vor geöffnetem Gasdoppelventil und Feuerraumdruck für Erdgas, Erdgas-Wasserstoffmischungen beliebiger Zusammensetzung und 100 Vol.-% Wasserstoff in Abhängigkeit der Brennerleistung. Da für den Gasdruck neben dem Gasvolumenstrom die Gasdichte entscheidend ist, erreicht dieser analog zum Verhalten der Wobbe-Zahl (siehe Bild 3) bei ca. 90 Vol.-% Wasserstoff ein Maximum und sinkt bei weiterer Zunahme des Wasserstoffanteils wieder leicht ab. Bei knapp 500 kW Brennerleistung verdoppelt sich die Druckdifferenz bzw. der Druckverlust nahezu. Allerdings ist bei diesem Versuchsaufbau für alle Gasmischungen auch der Druckverlust der verwendeten Deflagrationsicherung berücksichtigt, der für einen Großteil der gemessenen Druckverluste verantwortlich ist.

Im Gegensatz zum Gasvolumen verringert sich der benötigte stöchiometrische Luftvolumenstrom pro m^3 Gas mit Zunahme des Wasserstoffanteils. Berücksichtigt man zudem den höheren Gasvolumenstrom für gleiche Leistungen, so ergibt sich theoretisch bei 100 Vol.-% Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas eine Reduktion des Luftbedarfes von ca. 17 %. Im Versuch konnte die Reduktion der Luftmenge mit vergleichbaren Werten nachgewiesen werden.

Fazit

Das dreizler marathon Brennersystem auf Basis der Hohlflamme-Technologie kann mit Anpassungen brennstoffflexibel sowohl für den Betrieb von 100 Vol.-% Wasserstoff, Erdgas-Wasserstoffmischungen sowie Erdgas eingesetzt werden. Die durch die Flammentemperaturen verursachten erhöhten thermischen NO_x -Emissionen können durch die Kombination der LOW- NO_x Hohlflamme-Technologie mit der externen Abgasrückführung – dreizler ARF – bereits mit moderaten Abgasrückführungsraten auf deutlich unter 100 mg/Nm^3 reduziert werden. Die gemessenen thermischen Belastungen

an der Mischeinrichtung des Brenners führen insbesondere in Kleinlast zu einem stärkeren Verschleiß. Dem ist mit angepassten Wartungsintervallen und entsprechender Materialauswahl Rechnung zu tragen.

Eine volatile Beimischung von Wasserstoff erfordert zusätzliche Maßnahmen zur Gewährleistung der sicheren Funktion, der Effizienz und Einhaltung der Emissionen einer Feuerungsanlage. Eine fehlersichere Verbrennungsregelung und Optimierung wird aufgrund des sich ändernden Luftbedarfs des Gasgemisches zwingend notwendig. Um bei erhöhter volatiler Einspeisung von Wasserstoff Minderleistung oder Überlastung des Kessels zu vermeiden, muss eine intelligente Leistungsregelung eingesetzt werden. Die Entwicklung dieser sicheren Brennstoff-Luft-Verbundregelung beispielsweise auf Basis einer Brenngasanalyse und/oder Massenstromsensoren stellt eine zukünftige Herausforderung für Brennerhersteller, Anlagenbetreiber und Gasversorger dar.

In der Praxis muss für die Inbetriebnahme und die Wartung die aktuell vorherrschende Gaszusammensetzung für die Inbetriebnehmer und Servicetechniker zur sicheren Einstellung der Geräte zur Verfügung gestellt werden. In der Gasversorgung muss zusätzlich bei allen Anlagenkomponenten auf deren Wasserstoffverträglichkeit geachtet werden.

Um langfristig für die Hersteller von Brennern Handlungssicherheit bei Wasserstoffbetrieb mit höheren Anteilen als 10 Vol.-% zu erzeugen, muss das Europäische Regelwerk bis hin zu den Anforderungen der CEN-Normen als Grundlage für eine CE-Baumusterprüfung erarbeitet und akzeptiert werden.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Dialogprozess Gas 2030 – Erste Bilanz. Oktober 2019. [Online]. Available: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/dialogprozess-gas-2030-erste-bilanz.pdf?__blob=publicationFile&v=4

- [2] Avacon Netz GmbH, DVGW-EBI, GWI: H2-20 Wasserstoff in der Gasinfrastruktur: DVGW/Avacon-Pilotvorhaben mit bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff-Einspeisung in Erdgas. Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-20/>
- [3] Grüner, H: Die Wasserstoff-Insel. stadt+werk 5-6 (2020), S. 22-23
- [4] Innogy SE: Reallabor der Energiewende – SmartQuart: Energiewende im Quartiersmaßstab. [Online]. Available: <https://projektinfos.energiewendebauen.de/projekt/smartquart-energiewende-im-quartiersmassstab/>. [Zugriff am 9 Juni 2020]
- [5] Dreizler, D.: Auswirkung von Wasserstoffbeimischung im Erdgas auf Gebläsebrenner. In: 6.forum.feuerungstechnik TÜV Süd, München, 2019
- [6] Joos, F.: Technische Verbrennung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006

AUTOR



Dr.-Ing. **Andreas Huber**
Walter Dreizler GmbH
Spaichingen
07424 / 7009-29
a.huber@dreizler.com