

Gemeinsame Zündung und Überwachung sowie gekoppelte Überwachung und Regelung turbulenter Diffusionsflammen in Gasfeuerungen

Dipl.-Ing. M. Kösters
Dr.-Ing. A. Scherello
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

23. Deutscher Flammentag
12./13.09.2007
Berlin
VDI-Berichte Nr. 1988, 2007
S. 719-724

Copyright

Dieser Beitrag ist geistiges Eigentum der Autoren und des Gaswärme-Instituts.

Er darf nur in der umseitigen Form zitiert werden.

Die Verwendung von Bildern, Tabellen und Ergebnissen bedarf der Zustimmung der Autoren oder des Instituts.

Gaswärme-Institut e. V. Essen (GWI)

Hafenstraße 101

45356 Essen

Tel.: +49 (0)201 3618-0

Fax: +49 (0)201 3618-102

www.gwi-essen.de

Geschäftsführender Vorstand: Dr.-Ing. Heiner Hüppelshäuser

Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

Kaufmännischer Vorstand: Dipl.-Betriebswirt Michael Radzuweit

Gemeinsame Zündung und Überwachung sowie gekoppelte Überwachung und Regelung turbulenter Diffusionsflammen in Gasfeuerungen

Dipl.-Ing. **M. Kösters**, Dr.-Ing. **A. Scherello**, Prof. Dr.-Ing. habil **K. Görner**
Gaswärme-Institut e. V. Essen

Kurzfassung

Im Rahmen eines AiF geförderten Forschungsvorhabens wurden an verschiedenen Industriebrennern umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war es, einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Betriebszuständen von Industriebrennern (Leistung, Luftzahl) und den unterschiedlichen von Diffusionsflammen ausgehenden Informationen (Strahlung, Flammenflackern) oder den in der Flamme messbaren Größen (Ionisationsstrom, Gaskonzentration, Temperatur) herzustellen. Die Mess- und Berechnungsergebnisse sollten die Möglichkeit einer Verbrennungsregelung an turbulenten Diffusionsflammen mittels Flammensignal aufzeigen.

1. Einleitung

Der Erfolg des Erdgaseinsatzes in der Industrie wird wesentlich bestimmt durch die Qualität und die Betriebssicherheit der verfügbaren Anlagentechnik. Die Betriebssicherheit und der Verfügungsgrad einer Anlage hängen in entscheidendem Maß von zuverlässigen Zünd- und Überwachungseinrichtungen ab. Getrennt betrachtet erfüllen die heute eingesetzten Geräte diese Aufgabe durch verschiedenste technische Alternativen. Bei der Kopplung des Zündvorgangs mit einer Überwachungseinrichtung können jedoch Schwierigkeiten auftreten. So muss stets eine Kompromisslösung für beide Systeme gefunden werden, da z. B. bei optimalen Zündvoraussetzungen nicht gewährleistet ist, dass unter diesen Randbedingungen gleichzeitig das Gesamtsystem betriebssicher überwacht werden kann. Da jede zur Optimierung eines Verbrennungsprozesses vorgenommene Modifikation oder Neuentwicklung eines Brenners mit einer Änderung der Randbedingungen einhergeht, müssen somit über weite Bereiche innerhalb des Brenners bestmögliche Zündvoraussetzungen bei gleichzeitiger betriebssicherer Überwachung geschaffen werden. Dies erfordert bis dato einen hohen experimentellen Aufwand.

Ein wichtiges Kriterium für die Qualität einer Anlage ist der Regel- bzw. Leistungsbereich des Brenners. Von einem Brenner wird gefordert, dass über einen großen Leistungsbereich bei verschiedenen Luftzahlen die Flamme nicht abhebt oder zurückschlägt. Zudem muss ein Brenner neben der Flammenstabilität gewährleisten, dass sich die Güte der Verbrennung innerhalb des Regelbereiches nicht wesentlich ändert und sich den Änderungen der Gasbe-

schaffenheit anpasst [1]. Unter diesen Gesichtspunkten ist es notwendig, die Messtechnik zur Erfassung der im Feuerraum stattfindenden Vorgänge zu optimieren, um den Verbrennungsprozess so zu führen, dass Luftschadstoffe wie Ruß, Stick- und Kohlenstoffoxide nicht oder nur in geringeren Mengen entstehen. Die Zustandserfassung und Regelung eines gasbefeierten Industrieofenprozesses wurde bisher durch die Messung der eingetragenen Mengen und der Temperaturen und/oder der Analyse des Abgases bewerkstelligt. Eine Regelung, die auf den Vorgängen innerhalb eines Feuerraumes basiert, wird in der Industrie im großtechnischen Maßstab bisher nicht eingesetzt.

2. Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens war geplant, umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen an verschiedenen Brennertypen durchzuführen. Es sollte untersucht werden, ob ein funktionaler Zusammenhang zwischen den Betriebszuständen von Industriebrennern (Leistung, Luftzahl) und den unterschiedlichen von Diffusionsflammen ausgehenden Informationen (Strahlung, Flammenflackern) oder den in der Flamme messbaren Größen (Ionisationsstrom, Gaskonzentration, Temperatur) hergestellt werden kann. Die Mess- und Berechnungsergebnisse sollten die Möglichkeit einer Verbrennungsregelung an turbulenten Diffusionsflammen mittels Flammensignal aufzeigen.

In einem vorangegangenen Forschungsvorhaben [2] wurden umfangreiche Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung der elektrischen Zündung von erdgasbetriebenen Industriebrennern durchgeführt, wodurch optimale Zündvoraussetzungen über weite Bereiche innerhalb des Brenners ermittelt werden konnten. Von diesen Zünduntersuchungen sowie den Ionisationsstrommessungen und der numerischen Simulation ausgehend sollte daraufhin versucht werden, die beiden Punkte der elektrischen Zündung und der elektrischen Flammenüberwachung (Ionisationsüberwachung) in Bezug auf Optimierungs- und Auslegungskriterien von Brennern zu vereinen und die näheren Zusammenhänge herauszustellen.

Des Weiteren sollten die Forschungsergebnisse zur Betriebssicherheit von Brennern mit nicht sichtbaren Flammen (NSF-Brenner) beitragen. Die Überwachung von NSF-Brennern wird bisher allein durch Temperatursensoren realisiert. Da die NSF-Brenner zukünftig auch in anderen Bereichen, z. B. in Gasturbinen, eingesetzt werden, ist es notwendig, Alternativen bereitzustellen, die zum einen in vorhandenen Anlagen integriert werden können und zum anderen keine hohen Kosten verursachen. Die Möglichkeit zusätzlicher Überwachungssysteme würde den Einsatz von NSF-Brennern in Anlagen unterstützen und somit die Wettbewerbsfähigkeit dieser Brenner erhöhen.

3. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Das Projekt wurde gemäß den Vorgaben eines 5-Punkte-Konzeptes durchgeführt. Der erste Punkt beinhaltet die Messung des Ionisationsstromsignals an Industriebrennern zur Be-

stimmung des Einflusses verschiedener Parameter auf die Ionisation. Hierzu wurde ein bereits bestehender Versuchsstand erweitert und eine geeignete Messschaltung erstellt. Die verwendeten Brenner, die von den Firmen Kromschroder und Küppersbusch zur Verfügung gestellt wurden, sind in Bild 1 und 2 dargestellt. Das Ionisationsstromsignal wurde an diesen Brennern bei Variation der Leistung, der Luftzahl und der Speisespannung an unterschiedlichen Positionen im Brennerbereich gemessen (Bild 3 und 4). Die Durchführung erfolgte auf Grundlage des vorangegangenen Projektes zur elektrischen Zündung, um im nächsten Arbeitsschritt die Ergebnisse beider Vorhaben vergleichen zu können.

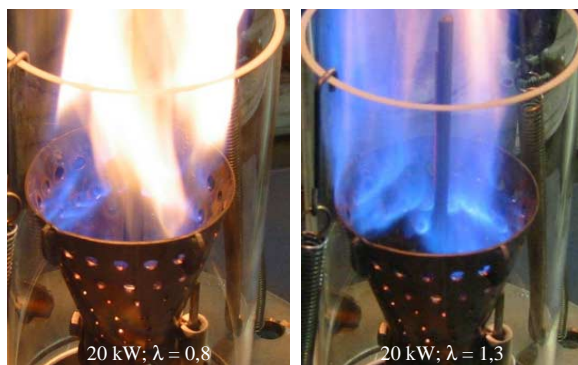


Bild 1: Küppersbusch-Brenner bei 20 kW mit unterschiedlichen Luftzahlen

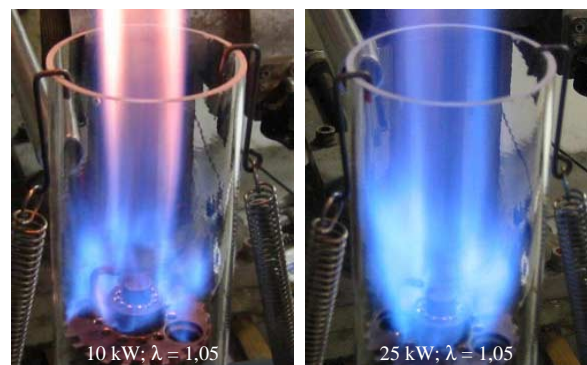


Bild 2: Kromschroder-Brenner bei $\lambda = 1,05$ mit unterschiedlichen Leistungen

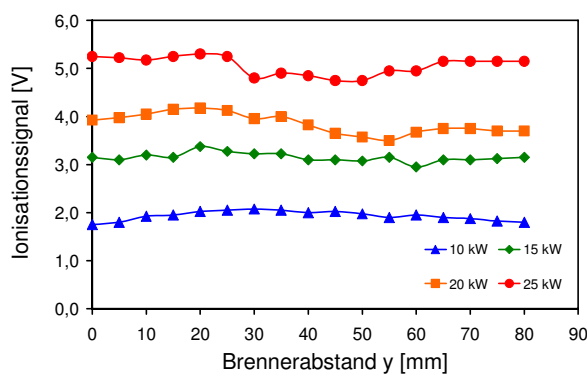


Bild 3: Einfluss des Brennerabstandes und der Leistung auf das Ionisationssignal beim Kromschroder-Brenner

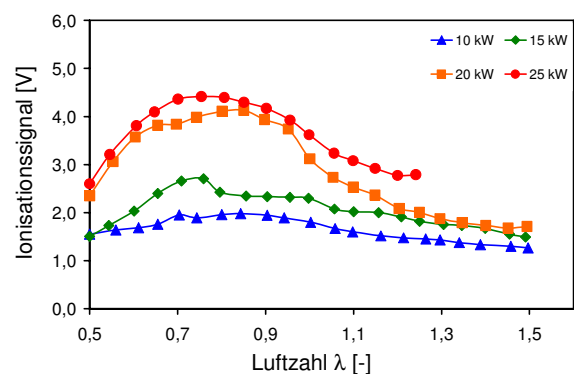


Bild 4: Einfluss der Luftzahl und der Leistung auf das Ionisationssignal beim Kromschroder-Brenner

Neben dem Ionisationsstromsignal sollten noch weitere Flammensignale (Prozessgrößen, Nutzsingale) gemessen oder aufgenommen werden, um auf Basis eines weiterreichenden Verständnisses die Chancen, Möglichkeiten und technischen Notwendigkeiten beurteilen zu können, damit ein Flammensignal als Regelsystem in industriellen Gasfeuerungen nutzbar wird. Prozessgrößen der Reaktion, die bei Veränderung der Betriebszustände der Brenner variieren können, sind u. a. die Reaktionsraten, die Flammenform und das Strahlungsspektrum der Flamme. Weiterhin können auch die Flammentemperatur und die elektrische Leitfähigkeit

higkeit der heißen Gase in der Reaktionszone und in deren Umgebung schwanken. Nach Auswahl geeigneter Sensoren erfolgte im nächsten Schritt die detaillierte Vermessung der beiden oben genannten Brenner. Zur Signalaufnahme wurde neben der am Gaswärme-Institut e. V. zur Verfügung stehenden Standardmesstechnik (Gaskonzentrations- und Temperaturmessung, siehe Bild 5) u. a. ein Breitbandflammenwächter der Firma BST Solution GmbH eingesetzt. Die patentierte Auswertung des Signals mit diesem Sensor erfolgt über die Flackerfrequenz der Strahlung der anstehenden Flamme. Ein RISC-Prozessor ermöglicht die Auswertung und Umsetzung des Flammensignals zu einem digitalen Signal (Bild 7 und 8). Darüber hinaus kam das ebenfalls am Gaswärme-Institut e. V. vorhandene UV-Kamerasystem zur Aufnahme des Eigenleuchtens von OH-Radikalen zum Einsatz (Bild 6). Mit Hilfe der OH-Detektion können Rückschlüsse auf die Kontur einer Flamme als auch auf die Zonen verstärkter Verbrennungsintensität gezogen werden. Vorab wurde eine spektrale Analyse der Reaktionszone mittels Spektralradiometer durchgeführt. Parallel zu diesen experimentellen Untersuchungen wurde die numerische Simulation der beiden Industriebrenner vorbereitet. Die mathematische Modellierung der Strömungs- und Mischungsverteilungen im Innern der Brenner wurden mit Hilfe des Programmpaketes Fluent für ausgewählte Brennerkonfigurationen durchgeführt. Sowohl die experimentellen wie auch die numerischen Ergebnisse wurden anschließend zur Bestimmung von möglichen Korrelationen zwischen den unterschiedlichen von der Flamme ausgehenden Signalen und den unterschiedlichen Betriebszuständen genutzt.

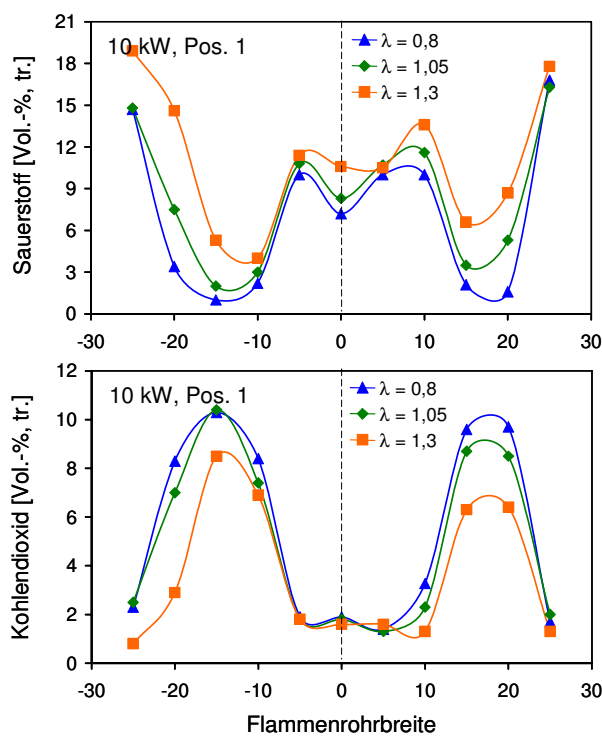


Bild 5: Profildarstellung der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration bei Variation der Luftzahl

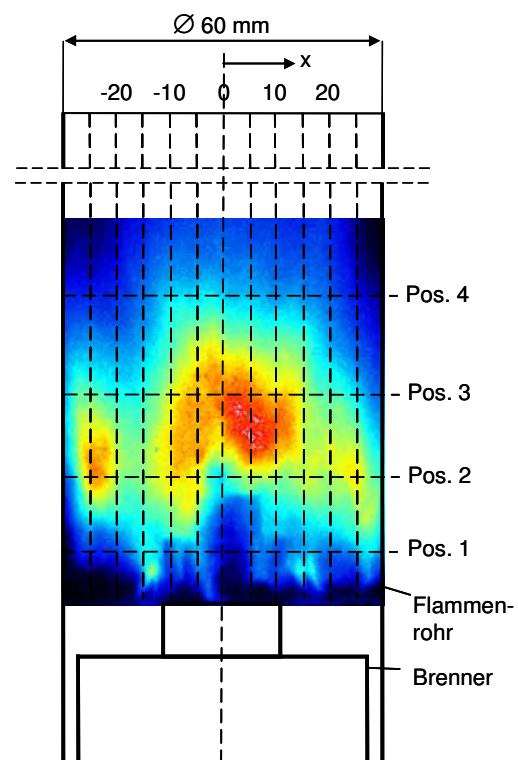


Bild 6: OH-Darstellung für 20 kW und $\lambda = 1,3$

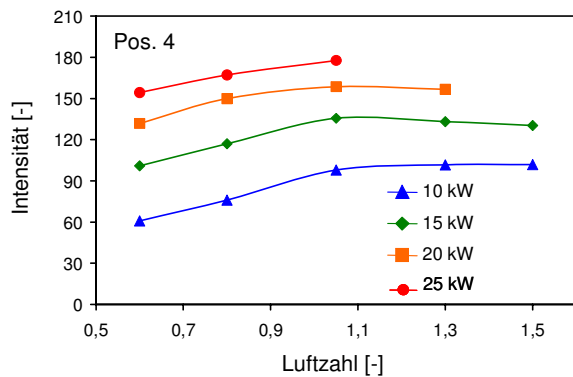


Bild 7: Einfluss der Luftzahl und der Leistung auf das Flammenflackern beim Kromschröder-Brenner

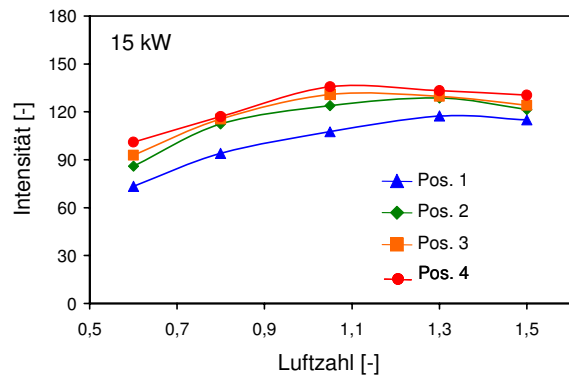


Bild 8: Einfluss der Luftzahl und der Messposition auf das Flammenflackern beim Kromschröder-Brenner

Im letzten Arbeitsschritt wurden experimentelle und theoretische Untersuchungen an einem NSF-Brenner (hier: Eindüsen-FLOX[®]-Brenner mit keramischem Zackenrekuperator aus Si-SiC der Firma WS Wärmeprozessstechnik GmbH) durchgeführt. Experimentell erfolgten die spektrale Analyse der Reaktionszone mittels Spektrometer (Bild 9) und CCD-Kamera (Bild 10) sowie die Temperaturbestimmung bei unterschiedlichen Ofenraumtemperaturen. Numerisch wurden die Temperatur- und Speziesverteilungen bestimmt.

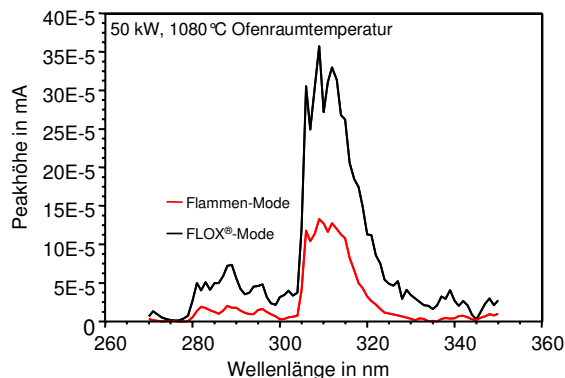


Bild 9: Peakhöhen der Strahlungsbanden beim WS-FLOX[®]-Brenner an Pos. x = 200 mm

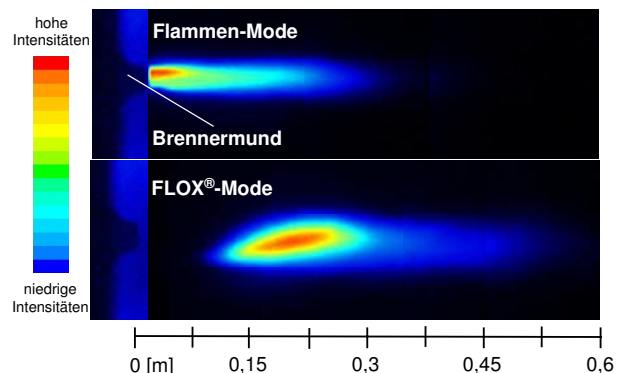


Bild 10: Gemittelte OH-Verteilung des WS-FLOX[®]-Brenners bei unterschiedlichen Betriebsweisen

4. Schlussfolgerung

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass eine Regelung auf Basis des Ionisationsstromsignals oder auf Basis der im Brennernahbereich messbaren Gaskonzentrationen und Temperaturen nicht zielführend ist. Eine Verbrennungsregelung auf Basis der OH-Strahlung oder des Flammenflackerns scheint hingegen prinzipiell möglich, setzt jedoch eine exakte Zuordnung der Messsignale zu den jeweiligen Brennereinstellungen voraus. Zur Bestimmung von verlässlichen Kurven müssen jedoch die Flammen der Brenner detaillierter untersucht werden.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die OH-Signale auch zur Überwachung von NSF-Brennern genutzt werden können. Da der Einsatz der in diesem Projekt zur OH-Aufnahme verwendeten CCD-Kamera aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll ist, muss ein preisgünstiger Sensor entwickelt werden, der die entsprechenden technischen Voraussetzungen erfüllt. Dieser Sensor sollte möglichst nur die Strahlung im Wellenlängenbereich um 306 nm detektieren und muss eine ausreichende Sensitivität für diesen Wellenlängenbereich besitzen.

Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse können als Grundlage weiterführender Untersuchungen genutzt und zur Unterstützung bei der Entwicklung des OH-Sensors herangezogen werden. Zudem dienen die experimentellen Untersuchungen als Vergleichswerte für zukünftige Berechnungen. Wie die in diesem Projekt durchgeführten Ergebnisse der mathematischen Modellierung verdeutlichen, besteht – speziell bei der Berechnung der OH-Verteilungen – weiterer Forschungsbedarf.

Danksagung

An dieser Stelle sei dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit für die Förderung des Projektes über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) unter dem Förderkennzeichen 13531N gedankt.

Literatur

- [1] Rudolph, K. H.: Gasbrenner für Industriefeuerungen – Teil 1, Gaswärme International, Heft 12, 2000
- [2] Kösters, M.; Scherello, A. Flamme, M.: Kremer H.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Optimierung der elektrischen Zündung von erdgasbetriebenen Industriebrennern, Abschlussbericht zum AiF-Vorhaben Nr. 11848N, Gaswärme-Institut e.V. Essen, 2001