

PROJEKT-FAZIT

TTgoesH2 - GreCoCon

Leittechnologie-Vorhaben „TTgoesH2“: Integration von Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger in die industrielle und gewerbliche Thermoprozesstechnik

Teilprojekt 2: Green Combustion Control - Industrielle Verbrennungsregelung für hohe, volatile Wasserstoffanteile auf Basis von Flammensignalen.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Impressum

Vorhaben

TTgoesH2 - GreCoCon

Integration von Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger in die industrielle und gewerbliche Thermoprosesstechnik.

Teilprojekt 2: Green Combustion Control - Industrielle Verbrennungsregelung für hohe, volatile Wasserstoffanteile auf Basis von Flammensignalen.

Durchführung

Projektleitung DBI-GTI

Dipl.-Ing Pitt Götze
pitt.goetze@dbi-gruppe.de
T +49 3731 4195-327

Dipl.-Ing. Marcus Wiersig
marcus.wiersig@dbi-gruppe.de
T +49 3731 4195-332

Kontakt

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH
Freiberg
Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg
www.dbi-gruppe.de

Projektpartner

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH
Freiberg

Fachgebiet Gasanwendung

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Industrie- und Feuerungstechnik

Universität Duisburg-Essen
Institut für Verbrennung und Gasdynamik

Laufzeit

01.01.2021 bis 31.12.2023

Das diesem Forschungsbericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 32 LBG gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung

Das Teilprojekt 2 „GreCoCon - Green Combustion Control“ innerhalb des IGF-Leittechnologie-Vorhabens „TTgoesH2 - Integration von Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger in die industrielle und gewerbliche Thermoprozesstechnik“ hat zum Ziel, ein innovatives Regelungskonzept für industrielle Verbrennungsprozesse zu entwickeln. Dieses soll in Folge der Energiewende im Gasnetz auftretende hohe volatile Volumenanteile an Wasserstoff in Brenngasen detektieren und ausregeln. Konzeptionell basiert das Projekt auf der Analyse optischer Flammensignale, welche mittels kommerziell verfügbarer und damit kostengünstiger Sensoren erfasst werden. Ein darauf aufbauendes Ziel des Projekts war die Entwicklung und Anpassung einer Verbrennungsregelung, welche die erfassten optischen Signale der Flamme entsprechend verarbeitet und die Schwankungen in der Gaszusammensetzung reagiert, um eine optimale Verbrennungseffizienz und niedrige Emissionen in Thermoprozessanlagen weiterhin zu gewährleisten.

Der methodische Ansatz des Projekts beinhaltet die Nutzung selektiver Chemilumineszenzbänder im Bereich der für die Verbrennungsreaktion typischen OH^* und CH^* Radikale (220-360 nm sowie 408-460 nm, respektive) und anderer emissionsrelevanter Merkmale der Flamme. Eine zentrale Herausforderung besteht in der Anpassung der bestehenden Regelungstechnik, um auf die Volatilität des Wasserstoffanteils im Brenngas adäquat reagieren zu können. Im Rahmen dessen sind unter anderem Untersuchungen hinsichtlich wesentlicher Einflussgrößen wie Flammgeometrie und Positionierung von Ionisations-Elektroden oder UV-Sonden in konventionellen Industriegasbrennern durchzuführen.

Ferner ist es Gegenstand der Experimente, die Veränderungen der SONDENSIGNALE bei Schwankungen des Wasserstoffanteils zu untersuchen. Zudem soll die Abhängigkeit des Ionisationsstroms und das Strahlungsverhalten der Flamme im UV-Bereich stattfinden. Ein weiteres Teilziel des Projekts stellt die Zusammenstellung von konstruktiven Einbaukonzepten der Flammenüberwachungssysteme dar, die gegebenenfalls in Abhängigkeit vom Wasserstoffanteil und Arbeitsbereich des Brenners zu optimieren sind. Ziel dabei ist es, die Signalgröße und -stabilität zu verbessern. Letztlich ist die Einsetzbarkeit der Technologie zu bewerten.

Das im Rahmen des Teilprojektes zu entwickelnde Modell zur adaptiven Regelung des Gas-Luftgemisches soll Flammensignale, bspw. die Flackerfrequenz und Flammenintensität, nutzen, um die Zusammensetzung von Brenngas und Oxidator zu detektieren. Zur praktischen Erprobung dieser Regelung ist ein Demonstrator zu bauen, um die neuartige Verbrennungsregelung hinsichtlich der erzielten Emissionsminderungen sowie die Energieeffizienz zu evaluieren.

In Bezug auf die Zielstellungen des Teilprojektes spezifizierend ist es Ziel des Projektes an der DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg, eine auf optischen Signalen aus der Brennkammer und weiteren Parametern wie dem Ionisationsstrom basierende Brennerregelung zu entwickeln und zu testen.

Die zur Ermittlung und Prüfung der Kenngrößen notwendigen Versuche fanden in einem wassergekühlten Prüfflammrohr mit einem handelsüblichen, nicht modifizierten, kommerziellen Erdgas-Gebläsebrenner statt. Der für die Versuche bereitgestellte Flammenwächter F300K detektiert mit speziell beschichteten Fotodioden Strahlung im Bereich 220-360 nm (OH -Radikal)

sowie 408-460 nm (CH-Radikale) und gibt nach Erfassung durch die Fotodioden und Verstärkung ein entsprechendes Wechselspannungssignal aus. Eine Ausgabe des der Intensität entsprechenden Gleichspannungsanteils erfolgt nicht.

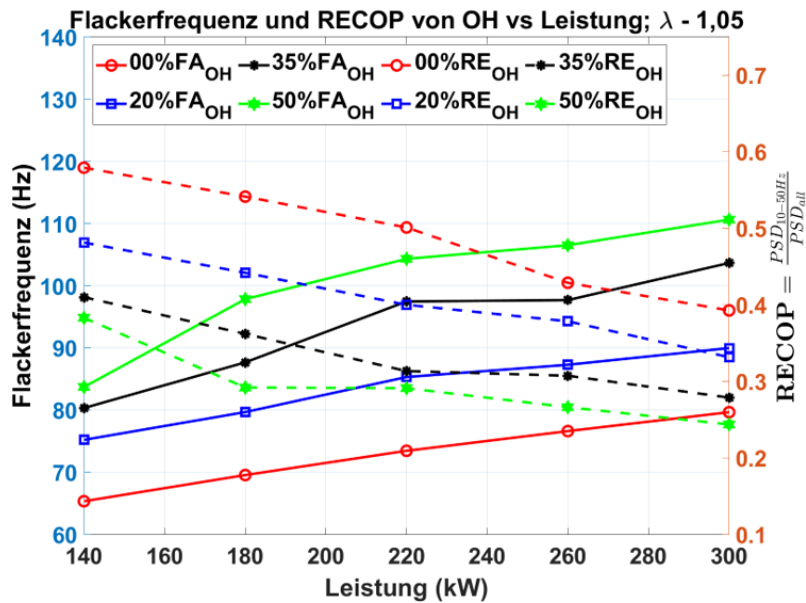
Basierend auf der Annahme, dass sich die Intensität der Verbrennungsreaktion auch in der Amplitude des Wechselspannungssignals widerspiegelt, wurden im Rahmen des Projekts mehrere Kenngrößen entwickelt und umfangreich getestet. Dazu gehörten die Flackerfrequenz und die Rohsignalsumme, deren Berechnung aus dem zeitdiskreten Wechselspannungssignal der Fotodioden mit relativ geringem Rechenaufwand möglich ist. Für QISLD, Flicker und RECOP musste das zeitdiskrete Signal der jeweiligen Fotodiode mittels Fouriertransformation in den Frequenzbereich überführt und dort ausgewertet werden.

Zur Minimierung des Versuchsaufwandes und Schonung von Ressourcen kamen bei den Untersuchungen Werkzeuge der statistischen Versuchsplanung zum Einsatz. Insgesamt wurden 362 Einzeltests auf zwei Gasmischanlagen verteilt durchgeführt.

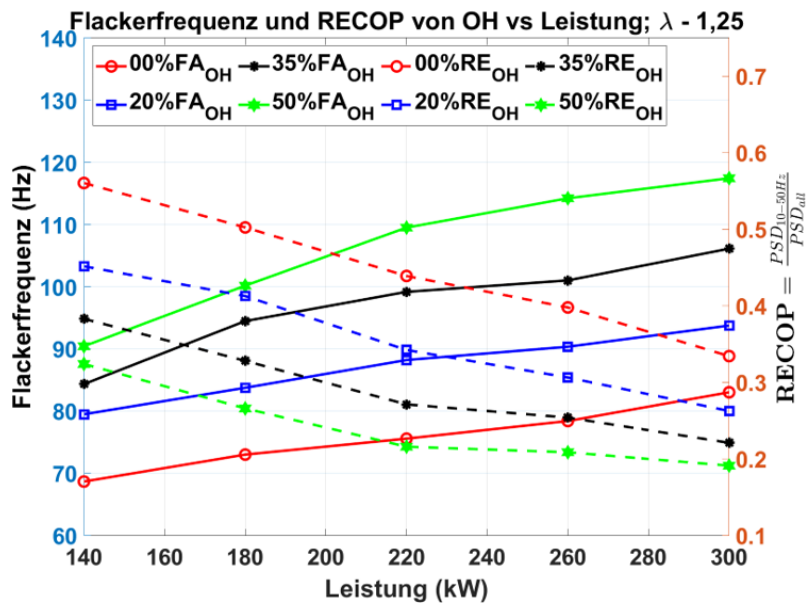
Es hat sich gezeigt, dass Kenngrößen, die einen Anteil des Signals der Fotodiode im Bereich des CH*-Radikals enthalten, als Regelgröße ungeeignet sind. Der Grund hierfür liegt vermutlich im vergleichsweise geringen Signal-Rausch-Verhältnis des Signals dieser Diode. Die Kenngrößen, welche sich aus dem Signal der im Bereich des OH*-Radikals sensitiven Fotodiode ergeben, weisen hingegen stetige, widerspruchsfreie und differenzierbare Verläufe auf. Somit sind sie als Regelgröße nutzbar.

Mögliche Regelgrößen für die Bewertung von Flammensignalen sind die Flacker- und Flickerfrequenz sowie die Kenngröße RECOP. RECOP normiert die Summe der spektralen Leistungsdichte eines dedizierten Frequenzbereichs mit Hilfe der Summe der gesamten spektralen Leistungsdichte des Flammensignals. Die Abbildung 1 zeigt die Flackerfrequenz und RECOP in Abhängigkeit von der Leistung für Wasserstoffvolumenanteile von 0, 20, 35 und 50 Vol.-% bei einer Luftzahl von (a) $\lambda = 1,05$ und (b) $\lambda = 1,25$.

Die Flackerfrequenz korreliert positiv mit steigender Leistung, steigender Luftzahl und steigendem Wasserstoffvolumenanteil in Erdgas. Ursächlich hierfür ist möglicherweise die höhere Reaktivität des atomaren Wasserstoffs bzw. die bessere Durchmischung bei steigender Luftzahl. Hingegen sinkt RECOP mit steigendem Wasserstoffvolumenanteil in Erdgas, steigender Leistung und steigender Luftzahl. Aufgrund der gegenläufigen Trends ist somit eine eindeutige Charakterisierung des Brennerzustandes in Hinblick auf die Brennerleistung, die Luftzahl und den Wasserstoffvolumenanteil im Erdgas möglich.



(a)



(b)

Abbildung 1: Darstellung der Versuchsdaten von Flackerfrequenz (links) und RECOP (rechts) für eine Luftzahl von (a) $\lambda=1,05$ und (b) $\lambda=1,25$.

Obwohl es im Rahmen des Projekts nicht möglich war, ein vollständiges Regelmodell zu entwickeln und im Rahmen von Komplexversuchen zu testen, zeigen die Ergebnisse, dass es realistisch ist, ein solches Regelmodell auf Basis optischer Informationen aus dem Brennraum mit einfach verfügbarer Flammenüberwachungstechnik zu entwickeln. Nötig sind weitere Versuche zur Verifizierung der bisherigen Ergebnisse und zum Vervollständigen der Versuchsmatrix.

