H_2-Ziegel
Energieeffizienz und Emissionsreduzierung – Einsatz von Wasserstoff in der Ziegelindustrie

Kurzfassung zum Schlussbericht progress.nrw EFO 0058

Essen, den 17. Juni 2024

INSTITUT FÜR ZIEGELFORSCHUNG ESSEN E. V.

Am Zehnthof 197, 45307 Essen, Tel. + 49 201 59 213 0, Fax + 49 201 59 213 20, info@izf.de

1 Hintergrund

Ziel des Forschungsprojektes war es, den Nachweis zu erbringen, dass die Substitution des Erdgasanteils mit Wasserstoff am Brennstoffeinsatz im Ziegelwerk möglich ist. Dies ist in zwei Schritten geplant. Zunächst möglichst ohne großen Investitionsaufwand, um die Akzeptanz einer frühen Umstellung zu erhöhen. Adressiert wird damit die Vermeidung von CO_2-Emissionen durch weitestmögliche Absenkung von Kohlenstoff im Brennstoff. Weltweit werden derzeit Rahmenbedingungen definiert, wie der Klimawandel durch Absenkung von CO_2-Emissionen positiv beeinflusst werden kann. Dies geschieht auf globaler Ebene (IRENA, 2019) bis herunter auf lokaler Ebene (MWIDE, 2020).

Hierzu soll ein Brenner bzw. ein Verbrennungskonzept entwickelt werden, welches in der Lage ist, in einem größtmöglichen Mischungsverhältnis, zunächst durch die Modifikation der Brenner, Erdgas und/oder Wasserstoff zu verbrennen und trotzdem für eine Homogenisierung der Ofenatmosphäre zu sorgen und möglichst keinen Einfluss auf Produktqualitäten auszuüben.

Die Ergebnisse aus Brennertests und der Entwicklung von Brennern dieser Leistung stehen anschließend diversen Industrien zur Verfügung, die Erdgasbrenner an Thermoprozessanlagen betreiben.

Durch den Ausbau erneuerbarer Energien übersteigt die Stromerzeugungsleistung die Last von Zeit zu Zeit. Wenn diese Leistung aus erneuerbarer Energie im Stromsystem nicht integrierbar ist, kann sie mit Power-to-Gas-Anlagen transformiert werden und als Wasserstoffgas transportiert, gespeichert und genutzt werden. Durch die Verbrennung, zunächst in Kombination mit Erdgas, treten dann schwankende Mischungsverhältnisse auf, die mit den Brennern beherrscht werden müssen.
Durch die Substitution von Erdgas durch Wasserstoff könnte in der Ziegelindustrie eine erhebliche Reduktion der CO_2-Emissionen erzielt werden. In 2020 emittierte die Ziegelindustrie in Deutschland rd. 1,74 Mio. t CO_2 wobei ca. 88 % auf den Einsatz von Erdgas zurückzuführen sind [Road2021]. Geht man von der gesamten europäischen Keramikindustrie mit rd. 19 Mio. t CO_2 pro Jahr aus, entspricht das rd. 1 % der gesamten europäischen Industrieemissionen, die vermieden werden könnte. Da aber der Übertragungseffekt auf andere Thermoprozessanlagen sehr groß ist, ist von einem Vielfachen der CO_2-Einsparung auszugehen.

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Gase ist dies jedoch nicht ohne Risiko für den Ofenbetreiber. Das unterschiedliche Verbrennungsverhalten beeinflusst die Beheizungstechnik an den Öfen, die geänderte Ofenatmosphäre kann Auswirkungen auf die Nutzgutoberflächen und somit auf die Produktqualität haben.

2 Brennermodifikation und Auslegung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein Brenner für die Nutzung von Wasserstoff und Erdgas, sowie deren Mischungen entwickelt und getestet. Auf Basis der erfolgten IST-Zustandsanalyse wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ein detaillierter Anforderungskatalog an das neue Brennersystem erstellt. Anhand dieser Anforderungen wurde aus dem Kueppers Produktportfolio eine mehrkanalige Dual-Fuel Mischeinheit ausgewählt. Diese Mischeinheit (dargestellt unter **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) ermöglicht

eine optimierte Mischung und Strömungsführung des jeweiligen Brenngases mit der Verbrennungsluft, was wiederum in einer effizienten Verbrennung und niedrigen Schadstoffkonzentrationen im Abgas resultiert. Die zweikanalige Dual-Fuel Mischeinheit ist so konzipiert, dass sie die jeweiligen Stoff- und Verbrennungseigenschaften von Erdgas und Wasserstoff berücksichtigt und unabhängig vom Brenngas eine vergleichbare Flamme erzeugt.

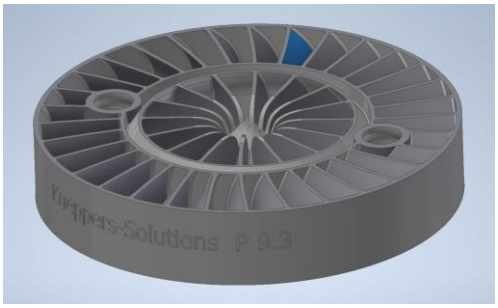

Abbildung 1: mehrkanalige Dual-Fuel Mischeinheit

Der Brenner verfügt über eine additiv gefertigte Gas-Luft-Mischeinheit, die als Schlüsselkomponente die Nutzung von zwei verschiedenen Brenngasen (Erdgas und/oder Wasserstoff), ermöglicht. Diese Mischeinheiten wurden in mehreren Iterationsschleifen entwickelt und optimiert, wobei extensive CFD-Simulationen durch experimentelle Prüfstandreihen unterstützt wurden. Die Studien wurden mit dem Entwicklungsziel durchgeführt, eine optimale Vermischung der Brenngase und der Verbrennungsluft zu gewährleisten, die Effizienz zu maximieren und gleichzeitig klima- und umweltschädliche Emissionen zu minimieren. Abbildung 2 zeigt den Vergleich des IST-Brenners mit dem neu entwickelten. Die Wurfweite zur vollständigen Wärmeabdeckung über den Besatzstapel ist in beiden Fällen ähnlich. Auf dieser Basis wurden diese Brenner für die Versuchsanlage und den Einsatz am Tunnelofen gefertigt, weiter optimiert und getestet.

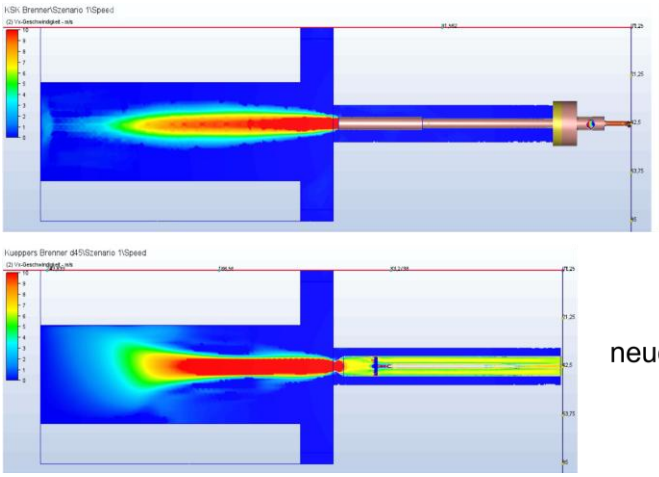

Abbildung 2: CFD-Simulation der Strömungsgeschwindigkeiten

3 Detaillierte Brenneruntersuchung unter semi-industriellen Randbedingungen

An der Technikumsanlage des BFI erfolgten die Untersuchungen während der Brennerentwicklung im Vergleich mit dem Bestandsbrenner. Dazu wurde eine entsprechende Wasserstoffversorgung im Rahmen des Projektes an der Anlage aufgebaut. Die Untersuchungen erfolgten für Erdgas und verschiedene Zumischungen von H_2 bis zu 100 Vol.-%.

Am neu entwickelten Dual-Fuel-Brenner der ersten Entwicklungsstufe wurden vergleichbare Parameter für einen Betrieb mit Erdgas eingestellt. Der Brenner zeigt eine schmale Flamme, die weiter in die Brennkammer hineinragt, als dies beim Bestandsbrenner der Fall war (Abbildung 3). Der Brenner zündet und brennt stabil. CO konnte am Kamin mit der gängigen Abgasanalyse nicht nachwiesen werden.

Abbildung 1: Fotos der Flammen des Bestandsbrenners (links) und des Dual-Fuel-Brenners der ersten Entwicklungsstufe (rechts) bei Betrieb mit Erdgas in kalter Umgebung

Wird H_2 dem Brenngas zugemischt, so wird die Flamme schmaler und länger (Abbildung 4).

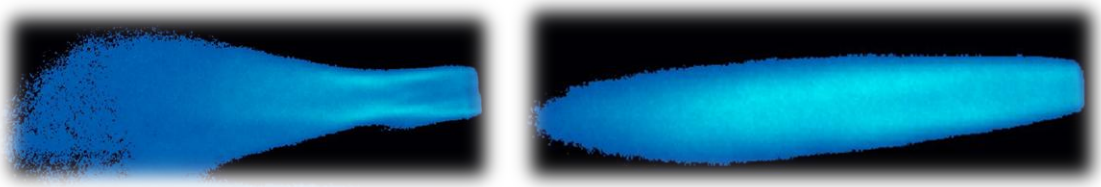

Abbildung 4: UV-Aufnahmen der Flammen des neuen Dual-Fuel-Brenners, betrieben bei 1.200°C mit Erdgas (links) und H2 (rechts)

Der Brenner bildete eine stabile Flamme bei Luftzahlen von 0,9 bis 1,5 und bei einer Leistung zwischen 30 % und 125 % der Nennleistung. Die NOx-Werte liegen bei H2 höher als bei der Erdgasverbrennung, jedoch weit unterhalb des Grenzwertes der TA Luft.

Die Ergebnisse von Traversiermessungen bei Nennlast für den Bestandsbrenner im Erdgasbetrieb und dem neuen Dual-Fuel-Brenner im H2-Betrieb entlang der Ofenachse sind in Abbildung

5 dargestellt. Der Temperaturverlauf beider Brenner ist nahezu gleich, somit ist zu erwarten, dass mit dem neuen Brenner ebenfalls eine gleichmäßige Wärmeübertragung an das Nutzgut erfolgen wird.

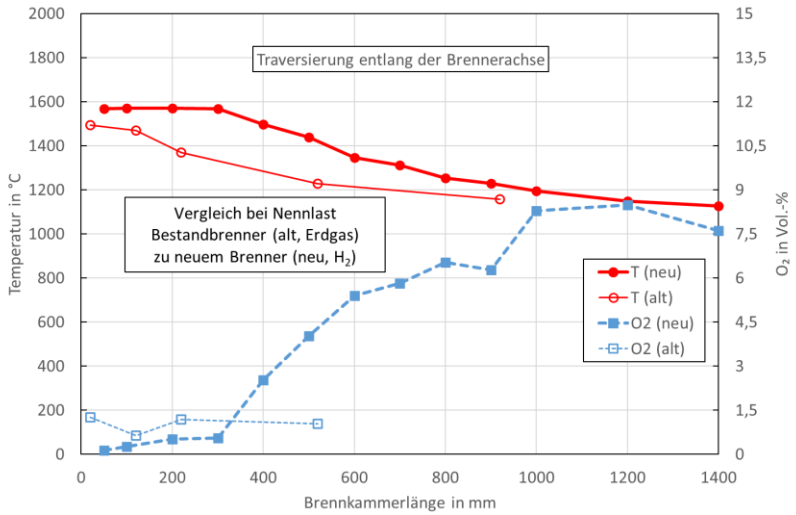

Abbildung 5: Traversierung entlang der Brennerachse bei Nennlast, Vergleich Bestandsbrenner mit Erdgas zu neuem Dual-Fuel-Brenner mit H2

4 Produktuntersuchungen

In praktischen Brennversuchen im Technikum des IZF wurde evaluiert, inwiefern der Brennprozess mit ratenweiser Wasserstoffzugabe zur Brennraumatmosphäre mit dem bisher üblichen, reinen Erdgasbrand vergleichbar ist. Hierzu wurden aus verschiedenen Produktgruppen werksgefertigte Ziegelrohlinge als Probekörper eingesetzt. Diese wurden in den jeweiligen produzierenden Werken nach dem Trocknungsprozess entnommen und im institutseigenen Gasofen unter verschiedenen Atmosphären gebrannt. Die unterschiedlichen Ofenatmosphären ergaben sich durch die veränderten Zugabemengen an Wasserstoff zum Erdgas. Die Mischungen wurden seitens des Gaslieferanten vorgemischt und in Form von Flaschenbündeln eingesetzt. Um ein breites Spektrum der in Frage kommenden Ziegelprodukte abzudecken, wurden für dieses Forschungsvorhaben aus den Produktgruppen Hintermauerziegel, Vormauerziegel und Dachziegel ausgewählt.

Im Vergleich sind im Abbildung 6 die optischen Daten zusammengestellt. Entscheidend ist das Delta E als Maßstab für die Abweichung vom Vergleichsbrand mit Erdgas. Eine merkliche Farbveränderung war bei den Klinkern und Dachziegeln nicht zu verzeichnen. Lediglich beim Hintermauerziegel sind Farbänderungen im Bereich von 3, wahrgenommener Farbunterschied, aufgetreten. Dies resultiert hauptsächlich aus der Messmethode. Der optische Kopf ist größer als die am Hintermauerziegel zur Verfügung stehende ebene Fläche. Die auftretenden Schwankungen sind aber als gering einzustufen. Bei allen Produkten kann keine klare Abhängigkeit von der Gasmischung abgeleitet werden. Zudem entspricht dieser geringe Farbunterschied den Ergebnissen einer Produktionscharge im Betrieb. Je nach Lage des Produktes auf dem Ofenwagen treten diese Abweichungen auf. Auch bei den anderen Produktspezifischen Eigenschaften wie Brennverlust, Rohdichte, Druck- und Biegetragfähigkeit traten keine Unterschiede in Abhängigkeit der Gasart auf.

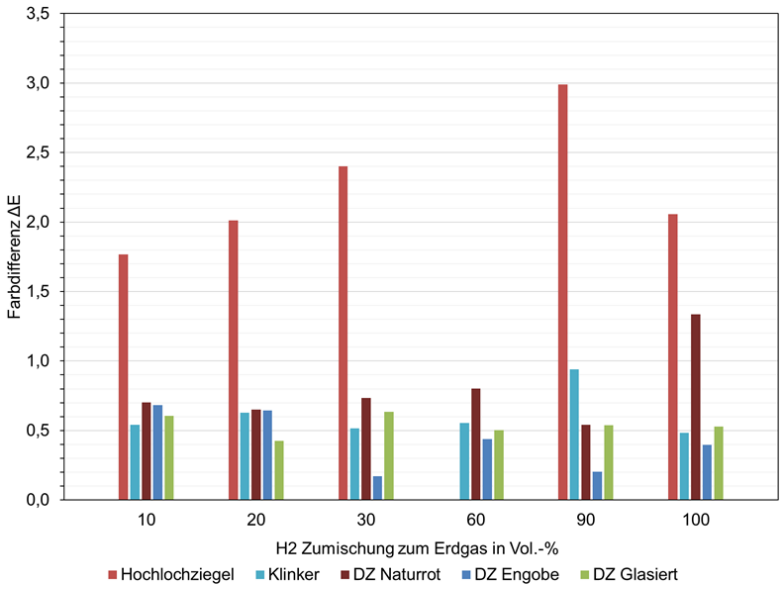

Abbildung 6: gemessene Farbdifferenzen

5 Funktionstest an realer Ofenanlage

Bei der Fa. Hagemeister wurden die Dual-Fuel-Brenner an der Tunnelofenanlage installiert und getestet. Im Rahmen der Planung der Wasserstoff-/Erdgas-Brennergruppe für den Betrieb wurden zu Beginn die erforderlichen Anforderungen ermittelt, um diese bei der Planung zu berücksichtigen. Dieses wurde für die Brennergruppe primär durch KELLER durchgeführt und von Hagemeister für die Wasserstoffversorgung in Zusammenarbeit mit Westfalen Gas. Es wurde eine Brennergruppe mit den neuen Brennern ersetzt und während der Testphase versetzt, um Aussagen zur Funktionsfähigkeit und Auswirkungen auf die Wärmeübertragung treffen zu können. Die begleitenden Betriebsmessungen und Ofenkurven haben keine Veränderung in der Wärmeübertragung gezeigt. Ebenso konnten am fertigen Produkt keine Qualitätsveränderungen festgestellt werden.

6 Zusammenfassung

Die Durchführung der Versuchsreihen war durchweg erfolgreich, und die im Rahmen des Forschungsprojektes gesetzten Ziele wurden vollständig erreicht. Dies umfasst sowohl die technische Zielerreichung hinsichtlich der Brennerentwicklung als auch die erfolgreiche Integration und Nutzung der Brenner in den vorgesehenen Einsatzumgebungen, sowie die materialtechnischen Bewertungen des Einsatzes von Wasserstoff auf die verschiedenen Produktgruppen.

Trotz der erfolgreichen Entwicklung und Erprobung der Dual-Fuel-Brenner im Rahmen dieses Forschungsprojektes gibt es weitere Herausforderungen, die für einen langfristigen und nachhaltigen Betrieb geprüft werden müssen. Ein zentrales Thema ist die Reduktion der Stickoxid-Emissionen (NOx), die bei der Verbrennung von Wasserstoff aufgrund der höheren adiabaten Flammentemperaturen im Vergleich zu Erdgasverbrennung ansteigen können. Hier kommen sowohl brennerseitige Primär- als auch Sekundärmaßnahmen infrage. Die interne Abgasrezirkulation ist

eine bewährte Primärmaßnahme, welche sich auch in den im Rahmen dieses Projekts entwickelten Brennern implementieren lässt.

Auch die Materialauswahl spezifischer Brennerkomponenten sollte kritisch bewertet werden, insbesondere unter Berücksichtigung der Langzeitbeständigkeit bei den extrem hohen Betriebstemperaturen, die insbesondere im Tunnelofenbetrieb auftreten. Die für das Forschungsprojekt verwendeten metallischen Werkstoffen für hochbelastete Brennergehäuseteile (z. B. den Brennermund) stoßen bei diesen Bedingungen an ihre Grenzen.

Nach den im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erkenntnissen sind bei den ausgewählten Produktgruppen keine optischen und materialtechnischen Änderungen bzw. Beeinflussungen zu erwarten. Sowohl die im Labormaßstab erzielten Ergebnisse, als auch aus den Betriebsmessungen mit je einer Brennergruppe mit Wasserstoff betrieben, lassen erwarten, dass die Nutzung von Wasserstoff in der Ziegelindustrie möglich ist. Natürlich bleibt es aufgrund der vielfältigen verschiedenen Rohstoffe im Einzelfall zu prüfen, ob eine Beeinflussung der Produktqualität eintritt. Dabei sind die verfahrenstechnischen und produktionsspezifischen Randbedingungen mit einzubeziehen. Des Weiteren bleiben evtl. Auswirkungen auf die Zustellung der Öfen und den Abgasweg zu untersuchen.

Für eine finale Investitionsentscheidung für die Wasserstoffnutzung fehlen zurzeit die Voraussetzungen beim Energiepreis und der verbindlichen Zusage einer gesicherten Gasversorgung. Der Ausbau von Netzen und eine Teuerung bei den Emissionspreisen werden die Wasserstoffnutzung attraktiver machen. Auch Eigenerzeugung aus Windstrom oder PV-Anlage können gegen den relativ niedrigen Energiepreis für Erdgas die Investition nicht übertreffen. Sobald allerdings die Kosten für Wasserstoff in den Bereich von Erdgas kommen steht der Umrüstung auf Wasserstoff wirtschaftlich nichts entgegen.

Gefördert vom Land Nordrhein-Westfalen

Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen