Berg Huettenmaenn Monatsh (2020) Vol. 165 (7): 312–314
<https://doi.org/10.1007/s00501-020-00998-9>
 © Der/die Autor(en) 2020

BHM Berg- und
Hüttenmännische
Monatshefte

Brennerversuchseinrichtung

Christoph Spijker, Klaus Doschek-Held und Harald Raupenstrauch

Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Eingegangen 30. April 2020; angenommen 28. Mai 2020; online publiziert 10. Juni 2020

Zusammenfassung: Derzeit befindet sich am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik der Montanuniversität Leoben eine Brennerversuchseinrichtung in Bau. Diese ist in der Lage, industrielle Brenner mit einer Leistung von bis zu 1 MW im Erdgas-Luftbetrieb beziehungsweise 1,5 MW im Erdgas-Sauerstoffbetrieb zu vermessen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Zumischung von alternativen Gasen durch Flaschenbündeln. Neben der Messung mit Lanzen und Absaugpyrometern besteht die Möglichkeit – in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes – Strömungs- und Turbulenzfelder sowie chemische Konzentrationen über Lasermessverfahren im Raum zu erfassen. Parallel zu der Brennerversuchseinrichtung entsteht ein digitales Abbild dieser. Hierbei liegt der Fokus auf der Brenneroptimierung hinsichtlich Emissionen, Flammbild und Effizienz, welche durch ein Simulationskonzept und unter Verwendung von Computational Fluid Dynamics (CFD) beziehungsweise eigens entwickelter Modelle berechnet werden. Ein zentraler Punkt hierbei sind der am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik entwickelten NO_x Postprozessoren, welche eine schnelle und präzise Aussage über die Bildung von Stickoxiden ermöglichen.

Schlüsselwörter: Brennerversuchseinrichtung, Industriebrenner, Digitales Abbild

Burner Test Facility

Abstract: A burner test facility is currently under construction at the Chair of Chair of Thermal Processing Technology at the Montanuniversität Leoben. This burner test facility can measure industrial burners with a thermal power output of up to 1 MW using natural gas and air or operation

1.5 MW with natural gas and oxygen. There is also the possibility of adding alternative gases by bundling bottles.

Local concertation can be obtained by using measuring lances and local temperatures by suction pyrometers. There is the possibility – in cooperation with the Chair for Process Technology and Industrial Environmental Engineering – to record flow and turbulence fields as well as chemical concentrations using laser measurement methods. A digital image is created in parallel to the burner test facility. The focus here is on the optimization of burners regarding emissions, flame pattern, and efficiency, which are calculated using a simulation concept and using Computational Fluid Dynamics (CFD) or specially developed models. A central point here are the NO_x postprocessors developed at the Chair of Chair of Thermal Processing Technology, which enable a quick and precise statement about the formation of nitrogen oxides.

Keywords: Burner test facility, Industrial burner, Digital twin

1. Einleitung

Für industrielle Brenner steigen stetig die Anforderungen bezüglich Energieeffizienz in der Einbaulage und deren Emissionen. Durch die tiefgreifenden Arbeiten zur Stickoxidmodellierung für industrielle Öfen und Brenner am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik wurde eine breite Wissensbasis zur Bildung von Stickoxiden in Brennern und deren Vermeidung durch konstruktive Maßnahmen geschaffen. Diese Erkenntnisse wurden durch ein Simulationskonzept mittels OpenFOAM umgesetzt und anhand von Abgasmessungen beim Industriepartner auf ihre Korrektheit überprüft. Um diese Erkenntnisse weiter zu vertiefen und Evaluierungen am Forschungsstandort Leoben durchführen zu können, wurde entschieden, die Brennerversuchseinrichtung zu bauen. Bei der Planung wurde auf ein möglichst breites Anwendungsspektrum der Versuchseinrichtung geachtet. So kann der Einfluss von alternativen Brenngasen und der Sauerstoffanreicherung bis hin zum Reinsauerstoff untersucht werden. Des Weiteren gibt es

Dipl.-Ing. Dr.-mont. C. Spijker (✉)
 Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik,
 Montanuniversität Leoben,
 Franz Josef-Straße 18,
 8700 Leoben, Österreich
christoph.spijker@unileoben.ac.at

Abb. 1: Darstellung der Brennerversuchseinrichtung

die Möglichkeit, Beflammungsversuche im Rahmen der Prozess- und Anlagensicherheit durchzuführen.

2. Aufbau der Brennerversuchseinrichtung

Die Brennerversuchseinrichtung (Abb. 1) besteht aus einer begehbaren Stahlkonstruktion mit Feuerfestleichtzustellung und wird in eine bereits bestehende Abgasstrecke eingebunden. Dadurch ergibt sich die aktuelle Limitierung der Leistung im Erdgas-Luftbetrieb auf 1MW. Des Weiteren verfügt die Einrichtung über 14 Kühlelemente, welche nach Bedarf in den Brennraum eingeführt werden können. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, symmetrische und asymmetrische Kühllasten abzubilden und unter Verwendung aller Kühlelemente Sauerstoffbrenner mit bis zu 1,5MW zu betreiben. Neben den Anschlüssen zur Abgasmessung besitzt die Brennerversuchseinrichtung 23 luftgekühlte Messfenster aus Quarzglas, welche bis zu einer Wellenlänge von 280nm UV durchlässig sind. Ein weiteres Designkriterium war die schwenk- beziehungsweise abnehmbare Ausführung der Anlagentüre, wodurch ein schneller und leichter Zugang für Beflammungsversuche gewährleistet ist. Der Einbau verschiedener Brennertypen in die Versuchsanlage kann durch Adapterplatten in der Türe realisiert werden. Für Versuche mit Deckenbrennern kann über die Öffnungen der Kühlelemente eine abgehängtes Deckenelement befestigt werden, dieses ist für den jeweiligen Brenner einzeln anzufertigen.

Abb. 2: Darstellung des Konzepts vom Optimierungszyklus des digitalen Abbilds der Brennerversuchseinrichtung

3. Messmethoden

Die Brennerversuchseinrichtung verfügt über eine Abgasanalyse durch optische Messzellen, welche den Restsauerstoff, das Kohlenmonoxid, das Kohlendioxid und die Stickoxide als Summenparameter erfasst. Sämtliche Medienströme an Luft, Sauerstoff, Erdgas und alternative Gase werden durch die Sensoren in der Gasregelstrecke digital aufgezeichnet. Bei Entnahme der Messfenster können mittels einer Infrarotkamera die Innenwandtemperaturen aufgezeichnet werden. Hierbei erfolgt eine Korrektur basierend auf der Abgaszusammensetzung. Lokale Konzentrationen an Restsauerstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Stickoxiden in der Brennerversuchseinrichtung können durch einzelnes Entnehmen der Messfenster und anschließender Absaugung mittels Messlanzen bestimmt werden. Diese sind so angeordnet, dass jeder Punkt im Brennraum erreicht wird. Für lokale Temperaturmessungen wird ein Absaugpyrometer eingesetzt.

Die Quarzgläser der Messfenster erlauben durch ihre UV-Durchlässigkeit und Position den Einsatz von Lasermessverfahren, die durch Messtechnik des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes in zukünftig angedachten Kooperationsprojekten durchgeführt werden können. So kann das Strömungsfeld und die Turbulenz mittels Particle Image Velocimetry (PIV) in Schnittebenen bestimmt werden. Mittels Laserinduzierter Fluoreszenz (LIF) lassen sich auch chemische Spezies in solchen Schnittebenen bestimmen.

4. Digitales Abbild

Parallel zum Aufbau der Brennerversuchseinrichtung entsteht ein digitales Abbild der Versuchseinrichtung, welches auf einem Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulationskonzept basiert. Ziel dieses virtuellen Abbilds ist es, im Rahmen von Optimierungszyklen die Anzahl von Heißversuchen möglichst gering zu halten, um ein zeit- und ressourceneffizientes Arbeiten zu ermöglichen. Das Konzept für diesen Optimierungszyklus wird in Abb. 2 dargestellt. Im ersten Schritt erfolgt die Vereinigung der Geometrien von Brennkammer und dem zu untersuchenden Brenner. Anschließend erfolgt eine Netzgittergenerierung mittels CF-Mesh [1], welches großteils automatisiert ist. Diese Netzgitter stellen die Basis der CFD Berechnung dar, welche un-

ter Anwendung von OpenFOAM [2] erfolgt. Je nach Brennertyp stehen hier verschiedene Modelle für die turbulente Verbrennung zur Verfügung. Für Mündungsmischbrenner kommt das Flamelet-Equilibrium-Hybrid Modell von Edler et al. [3] zum Einsatz bzw. für vorgemischte und teilvorge-mischte Brenner das Eddy Dissipation Concept (EDC) [4] unter Verwendung eines reduzierten Reaktionsmechanismus. Die Flammenstrahlung wird mit Hilfe des Discrete Ordinate Ansatzes [5] modelliert, wobei die Emissionskoeffizienten der Gasmischung temperatur-, druck- und konzentrations-abhängig bestimmt werden.

Da schnell rechnende Verbrennungsmodelle, wie das Flamelet-Equilibrium-Hybrid Modell oder das Eddy Dis-sipation Concept, unter Verwendung reduzierter Reakti-onsmechanismen die Konzentrationen gewisser Radikale, welche bei der Bildung von thermischen und promoten Stickoxiden eine Rolle spielen, nicht korrekt wiederge-ben, erfolgt ein Postprocessing. In diesem Schritt wird die Temperatur, das Strömungsfeld und die Turbulenz konstant gehalten und die relevanten Reaktionen mittels eines Rechenzeit optimierten Verfahrens gelöst. Die Kon-zentrationen der makroskopischen Spezies dienen hierbei als Startwerte. Für dieses Postprocessing wurden zwei Verfahren am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik entwi-kelt. Die Version 1+ [6] beschreibt nur den thermischen Bildungsweg über den Mechanismus nach Hanson [7] un-ter der Annahme eines partiellen Gleichgewichts. Dieser Ansatz benötigt sehr geringe numerische Ressourcen, je-doch wird die Bildung von thermischen Stickoxiden leicht unterschätzt. Dennoch ist diese Methode ausreichend für den Optimierungszyklus. Um eine präzise Aussage über die räumlichen Konzentrationen an thermischen und pro-moten Stickoxiden zu erhalten, wird der Postprocessor der Version 2+ [8] eingesetzt. Dieser verwendet einen de-taillierten Reaktionsmechanismus, welcher alle relevanten Radikalreaktionen abbildet. Zur Steigerung der Recheneffizienz wurden Filteralgorithmen entwickelt, welche die für die Lösung notwendigen Reaktionen in jeder einzelnen Re-chenzelle erkennen und nur diese lösen. Diese Ergebnisse können anschließend mithilfe der ausgeführten Messun-gen in der Brennkammer evaluiert werden.

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namens-nennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Au-tor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial un-terliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Juretić, F.: cfMesh User Guide (v1.1), (2015), Zagreb, Croatia, 2015
2. The OpenFOAM Foundation Ltd. Openfoam 2.4.x, <https://github.com/OpenFOAM/OpenFOAM-2.4.x> (22.05.2015)
3. Edler, F.; Spijker, C.; Pollhammer, W.; Raonic, Z.; Raupenstrauch, H.: Modeling of a direct fired reduction reactor with a flamelet equi-librium hybrid model including transient reactive particles for design studies, 17th International Conference on Numerical Combustion, Aachen, Deutschland, Book of Abstracts, 2019
4. Magnussen, B.: On the structure of turbulence and a generalized eddy dissipation concept for chemical reaction in turbulent flow, 19th Aerospace Sciences Meeting, St. Louis, MO, USA, 1981
5. Ansys Inc., Ansys Fluent 12 Theory Guide, 2009
6. Spijker, C.; Raupenstrauch, H.: Combustion reaction modelling of burners for industrial kilns, K1-Met 7th Scientific Exchange Day, Leoben, 2016
7. Hanson R., Salimian K., Survey of rate constants in the N/H/O system, Combustion chemistry, New York, NY: Springer, 1984, S. 361–421
8. Pollhammer, W. R.: A CFD–DEM model for nitrogen oxide predicti-on in shaft furnaces using OpenFOAM, PhD Thesis, Montanuniver-sitaet Leoben, Leoben, 2019

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnun-gen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.