

# 28. Deutscher Flammentag

## Verbrennung und Feuerung



# VDI-Berichte 2302

# VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH



# 28. Deutscher Flammentag

Verbrennung und Feuerung

Darmstadt, 06. und 07. September 2017



# VDI-Berichte 2302

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie

(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck. Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder.

Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092302-4

# Inhalt

Seite

Vorwort 1

## Kraftwerksfeuerungen

*J. Oischinger,  
M. Meiller,  
R. Daschner,  
A. Hornung,  
R. Warnecke*      Impaktormessungen im Rauchgasstrang einer Kohlelinie des GKS-Schweinfurt 3

*H. C. Schröder,  
C. Gerber,*      Erfahrungen bei der Umsetzung eines Ein-Mühlenbetriebs zur Erhöhung der Lastflexibilität und Flammenstabilität ohne Zusatzbrennstoff 21

*C. Katzer,  
F. Schierac,  
H. J. Krautz*      Die TBK- Feuerung im Labor und an einem Großdampferzeuger: Parallelen im Last- und Emissionsverhalten 39

## Prozessfeuerungen / Biomassenutzung

*D. Möntmann,  
M. Grote,  
D. Diarra,  
M. Röder,  
A. Giese,  
A. Al-Halbouni,  
K. Görner*      Entwicklung eines Feuerungssystems zur Erzeugung industrieller Prozesswärme aus biogenen Brennstoffen 53

*Y. Pang,  
D. Müller,  
J. Karl,  
T. Hammer,  
Leo Bahr*      Biomassevergasung mittels nichtthermischen Plasmen im Fallrohrreaktor 61

<i>S. Bürkle, V. Ebert, D. Rauen, A. Dreizler, G. Möller, J. Hees, D. Zabrodiec, A. Maßmeyer, R. Kneer, V. Ebert, S. Wagner</i>	Laserbasierte Messung von Temperatur und Spezieskonzentrationen bei der Verbrennung von torrefizierter Biomasse in einer 100 kW <sub>th</sub> -Staubfeuerungsversuchsanlage	69
---	---	----

### **Neuartige und verbesserte Messverfahren / Kraftwerksfeuerungen**

<i>P. Graeser, M. Schiemann</i>	Einfluss der Partikelgröße auf den Partikelemissionsgrad eines Steinkohlekokes	85
<i>M. Reiche, S. Grahl, M. Beckmann, M. Kaiser, W. Spiegel</i>	Verschmutzungsmonitoring von Dampferzeugern durch neuartige Sensorkonzepte für eine verbesserte Anlagenfahrweise und Online-Reinigung	97
<i>J. Langen, A. Müller, J. Ströhle, B. Epple</i>	Elektrochemische Korrosionsmessungen in Kraftwerksanlagen	109

### **CFD-Gesamtberechnungen**

<i>B. Peters, M. Mohseni</i>	Modeling the combustion of pellet with Extended Discrete Element Method	121
<i>D. Holtz, J. Nocke, E. Hassel</i>	CFD-DEM Simulationen für Biomassefeuerungen	131

<i>H. Mätzing,</i> <i>H.-J. Gehrman,</i> <i>H. Seifert,</i> <i>D. Stapf,</i> <i>R. Keune</i>	Modelling Biomass and Solid Recovered Fuel Combustion on Reciprocating Grates with CFD-application	143
--	---	-----

### **Kraftwerksfeuerungen / Neuartige und verbesserte Messverfahren**

<i>B. Gövert,</i> <i>S. Pielsticker,</i> <i>O. Hatzfeld,</i> <i>R. Kneer</i>	Bestimmung der Koksabbrand-Kinetik in einem Wirbelschichtreaktor am Beispiel einer kolumbianischen Steinkohle	151
<i>B. Brosch,</i> <i>O. Narin,</i> <i>F. Sudbrock</i>	Numerische Unterstützung eines Wirbelschichtbrennkammer Retrofits	163
<i>B. Greiner,</i> <i>M. Kaiser,</i> <i>R. Böcher</i>	Mikrowellen-Plasma-Zündsystem im Leistungsbereich 1 kW bis 3 kW zum Betrieb an Staubverbrennungs- systemen für unterschiedliche Brennstoffarten	171

### **Kraftwerksfeuerungen / Vergasung, Verflüssigung und andere Umwandlungsprozesse / Oxyfuel-Prozesse**

<i>M. Dohrn,</i> <i>M. Müller</i>	Auswirkungen lastflexibler Fahrweise auf Ascheansätze bei der Kohlenstaubfeuerung	185
<i>M. Vascellari,</i> <i>C. Hasse,</i> <i>S. Halama,</i> <i>M. Steibel,</i> <i>H. Spliethoff</i>	Detailed CFD simulations of a 5-MW industrial-scale entrained-flow gasifier using intrinsic char conversion kinetics	199
<i>H. Luhmann,</i> <i>S. Egger,</i> <i>R. Spörl,</i> <i>G. Scheffknecht</i>	Einsatz eines FLOX®-Brenners für viskose, biogene Flüssigbrennstoffe in einer gekühlten Umlenkchamber	213

## Mitverbrennung (biogener Brennstoffe und Abfälle) / Prozessfeuerungen

<i>D. Lechtenberg</i>	Verbrennungsoptimierung durch feinst vermahlene, abfallstämmige Ersatzbrennstoffe	227
<i>N. Schmitz, C. Schwotzer, H. Pfeifer, J. Schneider, E. Cresci, J.G. Wünnig</i>	Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Auslegung eines energieeffizienten Brenners mit oxidationsträger Schutzgasatmosphäre	241
<i>T. Klein, C. Kuhr</i>	Flächenbrenner zur Zündung einer Feststoffschüttung unter Nutzung eines niederkalorischen Brenngases	253

## Prozessmesstechnik, -führung und -optimierung / Thermische Behandlung

<i>T. Widder, M. Beckmann</i>	Online-Optimierung von Abfallverbrennungsanlagen	265
<i>P. Schmittl, C. Liebig, M. Zimmer</i>	Reduktion der NO <sub>x</sub> -Emissionen einer stationären Wirbelschicht durch optimierte Verbrennungsführung	279
<i>M.J. Murer, K. Speth, R. von Raven</i>	Erfahrung mit CO - und NO <sub>x</sub> – Emissionen im Versuchsbetrieb mit geringem Sauerstoffüberschuss bei der Müllverbrennung	291

## Haushaltsfeuerungen / Biomassennutzung

<i>M. Dzubiella, S. Hack, E. Gleim, W. Hesse, R. Brämer</i>	Entwicklungsstand gasadaptiver Verbrennungsregelungssysteme für den Bereich der Gebäudebeheizung	303
<i>O. Cramer, T. Lüken</i>	Reduktion von CO-Emissionen bei der Stückholzverbrennung im Naturzugbetrieb	317

<i>C. Schneider,</i> <i>P. Stoesser,</i> <i>S. Rincon,</i> <i>Thomas Kolb</i>	Determination of Heterogeneous Reaction Kinetics of High-Temperature Biomass Char	331
--	---	-----

### **Verbrennung in Motoren / Neuartige und verbesserte Messverfahren**

<i>C.-P. Ding,</i> <i>A. Renaud,</i> <i>R. Honza,</i> <i>A. Dreizler,</i> <i>B. Böhm</i>	Characterization of near-wall flows in a SI engine using high-speed PIV and high-resolution PIV/PTV	345
<i>M. Koegl,</i> <i>B. Hofbeck,</i> <i>S. Will,</i> <i>L. Zigan</i>	Untersuchung der Rußbildung und Rußoxidation für Ethanol - Benzingemische in einem Transparentmotor	357
<i>M. Zhao,</i> <i>S. A. Kaiser</i>	Bildgebende Erfassung von Diesel-Klopfen durch Hochgeschwindigkeitskamera und „Optical Flow“	369
<i>S. Drost,</i> <i>M. Werler,</i> <i>R. Schießl,</i> <i>U. Maas</i>	Untersuchung der Zündeigenschaften von Methan-Wasserstoffgemischen in einer schnellen Kompressionsmaschine	383

### **Neuartige und verbesserte Messverfahren / Prozessmesstechnik, -führung und -optimierung**

<i>M. Schiemann,</i> <i>N. Vorobiev,</i> <i>V. Scherer,</i> <i>C. Wedler,</i> <i>M. Richter,</i> <i>R. Span</i>	Effektive Diffusionskoeffizienten in Kokspartikeln aus Oxyfuel-Feuerungen	395
--	---	-----

<i>N. G. Blume, S. Wagner, C.-P. Ding, A. Dreizler</i>	Breitbandige Absorptionsspektroskopie mittels Weißlicht-Lasern zur simultanen, optischen in situ Messung von Gas-Konzentrationen, Druck und Temperatur in Hochdruckprozessen am Beispiel eines Verbrennungsmotors	407
H.-P. Vietze	Infrared Temperature Measurement of Flames for varying Combustion Conditions	421

### Modellflammen und -brenner

<i>D. Kaczmarek, F. Sen, T. Kasper, B. Atakan, S. Porras, R. Schießl, U. Maas</i>	Kinetische Untersuchung der partiellen Oxidation von Methan/DME und Methan/Ethanol-Gemischen	431
<i>H. von der Haar, C. Hennecke, F. Dinkelacker</i>	Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Detektion von Defekten an einer Modellbrennkammer	445
<i>C. Krasselt, S. Voss, D. Trimis, H. Krause, D. Trimis</i>	Laserinduzierte Fluoreszenz an nicht-vorgemischten chlorhaltigen Flammen	457

### Vereinfachte Gesamtmodelle

<i>S.J. Baik, B. Rogg</i>	Full PDF-Modelling and Parallel Simulation of Liquid-Fuelled Turbulent Spray Flames	469
<i>S. Hartl, D. Geyer, A. Dreizler, R. S. Barlow, C. Hasse</i>	Gradientenfreie Flammenidentifizierung auf 1D Raman/Rayleigh Messdaten	479

<i>A. Schwabauer, M. Mancini, R. Weber</i>	Modellierung eines Wanderbett-Gegenstromvergasers	493
<i>F. Weidner, M. Lipperheide, M. Wirsum, S. Bernero, M. Gassner</i>	Modellierung von Pulsationen einer Gasturbinen-Ringbrennkammer zur Identifizierung des Maschinenzustands im kommerziellen Betrieb	507

### Mathematische Modellierung

<i>C. Yu, U. Maas</i>	Numerical Study of turbulent reacting flows with local extinction and re-ignition effects based on a statistical method and REDIM reduced reaction kinetics	521
<i>M. Hansinger, H. Müller, M. Pfitzner</i>	Large Eddy Simulation einer turbulenten LOx/GCH <sub>4</sub> Flamme unter Verwendung der Eulerian Stochastic Fields Methode	535
<i>T. Zirwes, F. Zhang, J.A. Denev, P. Habisreuther, H. Bockhorn, N. Zarzalis</i>	Einfluss von erhöhtem Druck auf die Änderung der Flammendynamik durch Streckung in vorgemischten Flammen	549

### CFD-Gesamtberechnungen

<i>M. von Bohnstein, A. Stroh, J. Ströhle, B. Epple</i>	Vorhersage korrosiver Gasatmosphären in der Brennkammer eines Kohlekraftwerks	563
---	---	-----

*W. Pollhammer,*  
*C. Spijker,*  
*M. Koller,*  
*H. Raupenstrauch*      Mathematische Brennermodellierung zur Reduktion der Stickoxidemissionen mittels Flamelet – NOx Postprozessor in OpenFOAM      573

*S. Jell,*  
*M. Murer,*  
*H. Spliethoff*      Numerische Untersuchungen zur Stickoxidreduktion in thermischen Müllverwertungsanlagen      585

### **Teilmodelle und spez. Werkzeuge (Neuronale Netze u. a.)**

*M. H. Zwiellehner,*  
*R. Warnecke,*  
*F. Grafmans*      Untersuchungen zur Brennstoffbeschickung an mit heterogenen Festbrennstoffen betriebenen großtechnischen Verbrennungsanlagen und Herleitung einer Massenstromformel      597

*R. Knappstein,*  
*G. Kuenne,*  
*A. Sadiki,*  
*J. Janicka*      Flamelet-Tabellierung im Kontext der Simulation von Kohlestaubverbrennung      613

*C. Chi,*  
*G. Janiga,*  
*K. Zähringer,*  
*D. Thévenin*      Indirekte Messung der Wärmefreisetzung in Wasserstoffflammen mittels Spezieskorrelationen      625

*T. Methling,*  
*M. Braun-Unkhoff,*  
*U. Riedel*      Chemisch-kinetische Modelloptimierung für die Verbrennung biogener Gase durch die Anwendung des linearen Transformationsmodells      637

### **Posterbeiträge**

*S. Eckart,*  
*S. Voss,*  
*H. Krause*      Charakterisierung von Verlöschungsgrenzen an nicht vorgemischten Gegenstromflammen mit Hilfe der Streckungsratenanalyse      649

		Seite
<i>M. Meiller, H.-J. Gehrman, D. Baris, S. Vodegel, Schaaf, L. Hermann</i>	Vergleich von thermischen Verfahren zur Nutzung von Rückständen aus der Bioethanolerzeugung und Zuckerherstellung in Brasilien	661
<i>C. Ontyd, A. Becker, M. Schiemann, B. Krause, S. Wirtz, V. Scherer, J. Franiczek, J. Trost</i>	Kombination von Versuchen am Einzelpartikelreaktor und einem Drehrohr zur Torrefizierung von Kiefer und Pappel	669
<i>M. Höltermann, Y. Pettau, P. Middendorf, F. Dinkelacker</i>	Entwicklung eines Ölbrenners mit Zweistoffdüse für stark modulierbare thermische Leistung	675
<i>F. Wissing, S. Wirtz, V. Scherer P. Knapp</i>	Modellierung eines Al-Metallbrands am Beispiel des Müllheizkraftwerks Friesenheimer Insel	681
<i>W. Juschka, M. Struschka</i>	Innovationen für die Energiewende im Wärmemarkt durch die CFD Simulation	687
<i>F. Buß, S. Wirtz, V. Scherer</i>	Einfluss der Schürung auf die Verbrennung stückiger Biomasse	693
<i>C. Heinrich, H. Dörksen, K. Krämer, M. Carls</i>	Einfluss der direkten Benzin-Wasser-Einspritzung auf die stochastischen Vorentflammungen eines Ottomotors	699

<i>F. Zentgraf, M. Stephan, B. Albert, B. Böhm, A. Dreizler</i>	Anwendung von strukturierter Beleuchtung auf Gasphasen-Thermometrie mit Phosphorpartikeln	705
<i>S. Feldhoff, R.T.E. Hermanns</i>	Recent improvements of the Heat Flux setup to determine laminar burning velocities of liquid fuels	711
<i>J. Hees, D. Zabrodiec, A. Massmeyer, O. Hatzfeld, M. Habermehl, R. Kneer</i>	Kohlenstaubverbrennung in Oxyfuel-Atmosphäre Einfluss der Oxidatorzusammensetzung auf den Verbrennungsprozess	717
<i>R. Gültekin, A. Rückert, H. Pfeifer</i>	Numerische Simulation für die Implementierung der Pyrolyse und der Verbrennung während der Recycling von Aluminiumschrotten	723
<i>F. Edler, B. Geier, W. Reiter, J. Rieger C. Spijker, H. Raupenstrauch</i>	Einbindung der Simulation in die Entwicklung eines staubbeladenen Verbrennungsreaktors hinsichtlich Brenner und Reaktordesign	729
<i>C. Spijker, H. Raupenstrauch</i>	Numerische Untersuchungen der inneren Vorgänge für Lycopodiumpartikel während einer Staubdeflagration	735
<i>D. Nikolaenko, C. Spijker, H. Raupenstrauch</i>	Modelling the Jet Cooler for Hot-dip Galvanization of Steel Strips	741
<i>V. Bomba, B. Rogg</i>	Reduced Kinetic Mechanisms for Oxy-Methane Combustion	747
<i>S. Ganter, T. Meier, A. Heinrich, G. Künne, J. Janicka</i>	Simulation wandnaher Verbrennung Eignung einfacher Chemietabellierung und Analyse mittels detaillierter Kinetik	751

		Seite
<i>M. Vogelbacher, S. Keller, P. Waibel, J. Matthes, H. B. Keller</i>	Optimierung der Verbrennung von alternativen Brennstoffen bei Mehrstoffbrennern durch bildbasierte Verfahren	757
<i>A. Zietak, F. Özdoğan, J. Janicka, F. di Mare</i>	Entwicklung eines LES/LES-Interfaces für die Simulation der Wandkühlung einer Brennkammer (Work-in-Progress)	765
<i>T. Breiding</i>	Verbesserung von Rostfeuerungen durch die Optimierung von Roststäben dargestellt anhand von Problemfällen und den dazu erarbeiteten Lösungen	771

