

Matthias Schwarz

**Beitrag zur energetischen und
stofflichen Verwertung von Biomasse
in der Eisenmetallurgie: Biokoks
und Reduktionsgas**

„Beitrag zur energetischen und stofflichen Verwertung von
Biomasse in der Eisenmetallurgie:
Biokoks und Reduktionsgas“

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation
vorgelegt von

Dipl.-Ing. Matthias Schwarz

aus Siegen

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Dieter Senk
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dagmar Juchelková
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker

Tag der mündlichen Prüfung: 23. November 2018

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.



**Berichte aus dem
Institut für Eisenhüttenkunde**

Matthias Schwarz

**Beitrag zur energetischen und stofflichen Verwertung
von Biomasse in der Eisenmetallurgie:
Biokoks und Reduktionsgas**

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. W. Bleck
Prof. Dr.rer.nat. Dr.-Ing.e.h. W. Dahl
Prof. Dr.-Ing. H.W. Gudenau
Prof. Dr.-Ing. D. Senk

Band 4/2019

Shaker Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2018)

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6791-0

ISSN 0943-4631

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Metallurgie von Eisen und Stahl am Institut für Eisenhüttenkunde der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Senk für die Betreuung und Förderung dieser Arbeit. Für seine ausgezeichnete Betreuung, seine Unterstützung sowie die wertvollen, umfassenden und ergebnisreichen Diskussionen während der gesamten Zeit und das entgegengebrachte Vertrauen möchte ich ihm herzlich danken.

Weiterhin gilt mein Dank Frau Prof. Ing. Dagmar Juchelková und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker für die Übernahme des Korreferats.

Bei der thyssenkrupp Industrial Solutions AG in Person von Herrn Ralf Abraham und Herrn Jens Pöpperling möchte ich mich für die konstruktive Zusammenarbeit und die finanzielle wie auch tatkräftige Unterstützung während der Durchführung der HTW-Versuche bedanken.

Weiterhin möchte ich mich bei der KBS Kokereibetriebsgesellschaft Schwelgern GmbH, der AHN GmbH Argarhandel Nord und der Dorr-Biomassehof GmbH & Co. KG für die Bereitstellung von Kohle, Kirschkernen und Fichtepellets für die Durchführung der Versuche bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen sowie den Studierenden des Institutes für Eisenhüttenkunde für die jahrelange gute Zusammenarbeit und die gegenseitige, tatkräftige Unterstützung bedanken. Besonders möchte ich Herrn Doz. Dr.-Ing. Alexander Babich und Herrn Sebastian Fronk für die ständige Bereitschaft zur Diskussion sowie die wertvollen Anregungen danken.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Einführung in den Themenkreis	3
2.1 Biomasse	3
2.1.1 Biomasseproduktion	7
2.1.2 Energetische Nutzung von Biomasse	10
2.1.3 Methoden der thermochemischen Umwandlung von Biomasse	12
2.1.4 Theoretische Betrachtung der thermochemischen Umsetzung von Biomasse	16
2.2 Niedertemperatur-Anwendung von Biomasse im Wirbelschichtreaktor	21
2.2.1 Grundlagen der Wirbelschichttechnik	22
2.2.2 Anforderungen an Einsatzstoffe	27
2.2.3 Anforderungen an das Synthesegas	27
2.3 Mitteltemperatur-Verwertung von Biomasse in der Kokskammer	28
2.4 Hochtemperatur-Verwertung von Biomasse im Hochofen	32
3 Versuchsapparaturen	36
3.1 Hochtemperatur-Winkler-Vergaser	36
3.1.1 Versuchsvorbereitungen	41
3.1.2 Versuchsdurchführung	41
3.1.3 Versuchsende	41
3.2 Koksofen	42
3.3 Tammanofen	44
3.4 Mikrothermowaage	45
3.5 Lichtmikroskopische Analyse	47
3.5.1 Mikrostrukturanalyse	47
3.5.2 Petrographische Analyse	48
4 Charakterisierung der Versuchsmaterialien	50

5	Experimentelle Durchführungen und Ergebnisse	55
5.1	Vergasung von Biomasse in der zirkulierenden Wirbelschicht	55
5.1.1	Eingesetzte Materialien	55
5.1.2	Versuchsszenarien und Ergebnisse	56
5.1.3	Vordiskussion	60
5.2	Untersuchungen zur Reaktionskinetik der Biomasseumsetzung	63
5.2.1	Eingesetzte Materialien und Versuchsszenarien	63
5.2.2	Ergebnisse und Ermittlung der kinetischen Kennwerte	64
5.2.3	Vordiskussion	68
5.3	Modellierung der Vorgänge in der HTW-Wirbelschicht	69
5.3.1	Grundlagen der Thermodynamik	70
5.3.2	Grundlagen der Reaktionskinetik	74
5.3.3	Wirbelschichtmodell	76
5.3.4	Modellbereiche	77
5.3.5	Thermodynamisches Gleichgewichtsmodell	78
5.3.6	Erweiterung des Modells durch die Reaktionskinetik	85
5.3.7	Ergebnisse des thermodynamischen Gleichgewichtsmodells	86
5.3.8	Vordiskussion des thermodynamischen Gleichgewichtsmodells	90
5.3.9	Ergebnisse nach der Erweiterung durch die Reaktionskinetik	91
5.3.10	Vordiskussion nach der Erweiterung durch die Reaktionskinetik	93
5.4	Einsatz von Biomasse zur Kokserzeugung	95
5.4.1	Eingesetzte Materialien und deren Vorbehandlung	95
5.4.2	Ergebnisse der Vorbehandlung	96
5.4.3	Ergebnisse der Koksherstellung	101
5.4.4	Vordiskussion der Koksherstellung	111
6	Gesamtdiskussion	116
7	Zusammenfassung	120
8	Literaturverzeichnis	124