

“Behandlung von Schlacken der Bleigewinnung im Elektrolichtbogenofen“

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.**

Jörn Böhlke

aus Mettingen

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. (UA) Karl Bernhard Friedrich
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Helmut Antrekowitsch
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Mai 2016

Schriftenreihe des IME

Band 44

Jörn Böhlke

**Behandlung von Schlacken der Bleigewinnung
im Elektrolichtbogenofen**

Shaker Verlag
Aachen 2016

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, 2016)

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4763-9

ISSN 1610-0727

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

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

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling der RWTH Aachen als Teil eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Verbundforschungsvorhabens (Förderkennzeichen BMBF 01RW0111). Für die Ermöglichung der Arbeit im Rahmen des Forschungsvorhabens danke ich dem BMBF. Den Projektpartnern danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Herrn Prof. Friedrich, Institutsleiter des IME, gilt mein besonderer Dank für die Betreuung und die Unterstützung und Geduld bei der Ausarbeitung der Arbeit.

Herrn Prof. Antrekowitsch sowie Herrn Prof. Pfeifer danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Für die Realisierung eines Projektes dieser Größenordnung ist die Mitarbeit vieler wissenschaftlicher und nichtwissenschaftlicher Kollegen notwendig. Ihnen allen danke ich für die Unterstützung sowohl bei praktischen Arbeiten als auch bei theoretischen Diskussionen. Besonderer Dank gilt Leo Klinkenberg, Horst Leuchter und Amir Khamoushko aus den Schmelzhallen des Instituts, Paul van der Heiden und seinem Team der analytischen Laboratorien und Irmgard Koren aus dem Sekretariat des Instituts sowie stellvertretend für die wissenschaftlichen Mitarbeiter Jan-Christoph Stoephasius und Tim Georgi-Maschler.

Herrn Dr. Mehmet Ayhan möchte ich dafür danken, dass er mich bei der Fertigstellung der Arbeit als Gesprächspartner und Ideengeber unterstützt hat.

Großer Dank gilt meinen Eltern und meiner Frau Britta, die mich unermüdlich dazu angetrieben haben, die Arbeit fertig zu stellen.

I	Kurzfassung	i
II	Short Abstract	ii
III	Extended abstract	iii
III.i	Introduction	iii
III.ii	Slags from lead production	iv
III.ii.i	Standard Processes for the treatment of lead slags	vii
III.iii	Alternative approach: slag treatment in an EAF	viii
III.iv	Theoretical aspects of the treatment of lead slags	ix
III.v	Preparatory work	xi
III.vi	Pilot scale test work	xii
III.vi.i	Experimental Procedure	xii
III.vi.ii	Results	xiv
III.vi.iii	Decline of lead and zinc	xv
III.vi.iv	Discussion	xx
1	Einleitung	1
2	Hintergrund der Arbeit	2
3	Schlacken der pyrometallurgischen Bleigewinnung	6
3.1	Wichtige pyrometallurgische Bleigewinnungsverfahren	10
3.1.1	Klassische Schachtofenverfahren	10
3.1.2	Direktgewinnungsverfahren	13
3.2	Anfallmengen und Eigenschaften von Bleischlacken	19
3.3	Industrielle Weiterbehandlung von Bleischlacken	27
4	Metallurgische Grundlagen einer thermischen Schlackenbehandlung	31
4.1	Reduktion von Oxiden aus der Schlacke	31
4.1.1	Thermochemische Betrachtungen	31
4.1.2	Kinetische Betrachtungen	35
4.2	Absetzen von Metalltröpfchen	40
4.3	Verflüchtigung aus der Schmelze	44

4.4	Bedeutung für die eigenen Arbeiten	48
5	Elektrolichtbogenofentechnik	50
5.1	Ofentechnik und Betriebsweisen	51
5.2	Einbringen von feinkörnigen Materialien in Schmelzen	58
5.3	Bildung von Schaumslaggen	64
5.4	Bedeutung für die eigenen Arbeiten	67
6	Vorarbeiten	69
6.1	Eluationsverhalten von Bleischlacken	69
6.2	Eigene Vorarbeiten	70
6.2.1	Röntgenbeugungsanalyse	70
6.2.2	Thermoanalyse von Bleischlacken	70
6.2.3	Thermochemische Modellierung der Schlackenbehandlung	72
6.2.4	Orientierende Laborversuche	74
6.3	Bedeutung für die eigenen Arbeiten	77
7	Ziel der Arbeiten im Technikumsmaßstab und Lösungsansatz	79
8	Behandlung von Bleischlacken im Technikum-Lichtbogenofen	80
8.1	Beschreibung der verwendeten Anlagen	80
8.1.1	Technikum-Lichtbogenofen	80
8.1.2	Hohlelektrodensystem und Einblasanlage	82
8.2	Chemische Charakterisierung der verwendeten Schlacken	86
8.3	Experimentelle Methodik	87
8.4	Ergebnisse	91
8.4.1	Reduzierung der Blei- und Zinkgehalte der Schlacken	95
8.4.2	Kinetisches Verhalten von Blei und Zink	99
8.4.3	Bewertung des Einflusses der Versuchsparameter	110
8.5	Gesamtbewertung der Versuche	113
8.6	Erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit	115
9	Zusammenfassung	119
10	Literaturverzeichnis	124

A	Anhang	130
A.1	Nomenklatur	130
A.2	Schlackenanfall und Bleigewinnungsverfahren	132
A.3	Röntgenbeugungsanalysen	134
A.4	Simultane Thermische Analysen	135
A.5	Ergebnisse der Technikums-Versuche.....	137
A.5.1	Entwicklung des Blei- und Zinkgehaltes während der Versuche	144
A.5.2	Regressionsanalyse	156
A.6	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit.....	157
A.7	Abbildungsverzeichnis	159
A.8	Tabellenverzeichnis	162