**Untersuchungen zum
Energieumsatz in einem Gleichstromlichtbogenofen
zur Stahlerzeugung**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Robert Kühn, MBA

aus Bad Gandersheim

genehmigt von der
Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung:
9. September 2002

Vorsitzender der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Jörg Barth
Hauptberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schwerdtfeger
Berichterstatter: Dr.-Ing. Karl-Hermann Tacke

Berichte aus der Metallurgie

Robert Kühn

**Untersuchungen zum Energieumsatz in einem
Gleichstromlichtbogenofen zur Stahlerzeugung**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2003

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2002

Copyright Shaker Verlag 2003

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2197-2

ISSN 0945-0904

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer Kooperation zwischen der Georgsmarienhütte GmbH und dem Institut für Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal.

Auf Seiten der Georgsmarienhütte Gruppe bedanke ich mich herzlich bei dem geschäftsführenden Gesellschafter, Herrn Dr. J. Großmann, und bei den Mitgliedern der Geschäftsführung, insbesondere Herrn P. van Hüllen, ohne deren Unterstützung diese Zusammenarbeit nicht stattgefunden hätte und die jederzeit ein offenes Ohr für meine Belange hatten.

Ganz besonders zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Dr. J. Deng für die zahlreichen wertvollen Diskussionen und die vielen Anstöße zu neuen Ideen sowie Herrn Dr. H.-G. Geck, der seinen großen Erfahrungsschatz jederzeit gerne geteilt hat. Auch Herrn Dr. P. Patel danke ich sehr für seine Beiträge.

Die Arbeit wäre unmöglich gewesen ohne die Mithilfe durch die Mannschaft des Stahlwerkes. Insbesondere den Herren F. Treppschuh und M. Schöring sowie den Mitarbeitern auf den vier Schichten spreche ich meinen herzlichen Dank aus. Die mit ihnen immer sehr offen geführte Diskussion von Beobachtungen aus der Praxis hat sehr zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

An der Inbetriebnahme und Verbesserung der Anlagentechnik für die Versuche haben sich Herr R. Schulz und die Mitarbeiter aus dem Bereich Meß- und Regelungstechnik stets mit großem Elan beteiligt. Dafür bin ich ihnen sehr verbunden.

Seitens der TU Clausthal gilt mein Dank Herrn Prof. K. Schwerdtfeger für seine maßgebliche Rolle bei der Initiierung dieses Projektes und für seine fachliche Begleitung als Hauptreferent. Für die freundliche Übernahme des Korreferates und das Interesse an der Arbeit bedanke ich mich bei Herrn Dr. K.-H. Tacke.

Schließlich danke ganz besonders herzlich meinen Freunden und meinen Eltern, die mich stets unterstützt und gestärkt haben.

Georgsmarienhütte, im Oktober 2003

Inhaltsverzeichnis

Zielsetzung	5
1 Stahlerzeugung im Gleichstromlichtbogenofen	7
1.1 Einordnung des Verfahrens	7
1.2 Beschreibung der Ofenanlage	8
1.3 Zeitlicher Ablauf einer Schmelze	11
1.4 Stand des Wissens über den Energieumsatz	13
1.5 Vorgehensweise bei der vorliegenden Arbeit	15
2 Meßwerterfassung	17
2.1 Entwicklung einer kontinuierlichen Abgasanalyse	18
2.2 Ermittlung der Sumpfmengenänderung zwischen zwei Chargen	27
2.3 Schlackenmengenmessung	32
3 Stoffmengenbilanz	39
3.1 Zuführen	40
3.2 Abführen	46
3.3 Flüssige Restmengen im Ofen	48
3.4 Bilanzierung	50
4 Energiebilanz für komplette Chargen	55
4.1 Bilanz für die Durchschnittscharge: Energiezuführen	58
4.2 Bilanz für die Durchschnittscharge: Energieabführen	61
4.3 Auswertung der Energiebilanzen für Einzelchargen	66
5 Differentielle Energiebilanz über den Verlauf einer Charge	81
5.1 Differentielle Bilanz für eine beliebige Beispielcharge	81
5.2 Einfluß einzelner Prozeßparameter	89
5.3 Kohlenstoffinhalt im Bilanzraum	104
5.4 Rückschlüsse für den Ofenbetrieb	107
Zusammenfassung	109
Anhänge	111
A1 Übersicht über die Vorgänge in Gleichstrom-Hochleistungslichtbögen	113
A1.1 Erscheinungsbild und physikalische Eigenschaften	113
A1.2 Charakteristik	115
A1.3 Kraftwirkungen und Strömungsfeld	117
A1.4 Energieumsatz	119
A2 Elektrotechnik des Gleichstromlichtbogenofens	121
A2.1 Aufbau der elektrischen Anlage	121
A2.2 Leistungsregelung	125
A2.3 Lichtbogenablenkung und Gegenmaßnahmen	126

A2.4	Netzurückwirkungen und Gegenmaßnahmen	127
A2.5	Elektrische Anlage der Georgsmarienhütte	128
A3	Schaumslagenerzeugung im Lichtbogenofen	129
A3.1	Schlacken in der Stahlwerksmetallurgie	129
A3.2	Phänomen des Schlackeschäumens	130
A3.3	Schaumslaggen im Lichtbogenofen	134
A4	Verwendete Atomgewichte	139
	Formelzeichen und Indizes	141
	Literatur	145