

Thorsten Kratz

**Entwicklung pneumatischer Lade- und
Fördersysteme für das konventionelle
Schachtabteufen**

„Entwicklung pneumatischer Lade- und Fördersysteme für das konventionelle
Schachtabteufen“

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. Thorsten Kratz

aus Düsseldorf

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Per Nicolai Martens
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Mai 2017

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Berichte aus dem Bergbau

Thorsten Kratz

**Entwicklung pneumatischer Lade- und
Fördersysteme für das konventionelle
Schachtabteufen**

Shaker Verlag
Aachen 2017

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, 2017)

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5668-6

ISSN 1610-3823

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

Vorwort

„Bergbau ist nicht eines Mannes Sache allein.“

Schwazer Bergbuch, 1556

Der Grundsatz aus dem Schwazer Bergbuch von 1556 verdeutlichte schon damals die Notwendigkeit der gemeinschaftlichen Arbeit im Bergbau. Nun möchte ich das Schreiben einer Dissertation nicht mit der körperlichen Arbeit im spätmittelalterlichen Bergbau vergleichen, trotz alledem ist die vorliegende Arbeit nicht im Alleingang entstanden.

Zunächst gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Per Nicolai Martens für die Vielzahl fachkundiger Ratschläge und konstruktiver Diskussionen während meiner Zeit am Institut für Bergbaukunde I der RWTH Aachen. Ebenfalls danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Dank auch an die Herren Norbert Handke und Hubertus Kahl von Thyssen Schachtbau, zum einen für die vielfältige Unterstützung und zum anderen für den Freiraum während der Erstellung dieser Arbeit.

Ohne die Unterstützung meiner Familie wäre die Fertigstellung dieser Dissertation nicht denkbar gewesen. Insbesondere meiner Frau Nicki und den Kindern habe ich alles zu verdanken. Ihr Vertrauen und ihre moralische Unterstützung gaben mir zu jeder Zeit die nötige Motivation für diese Arbeit. Auch meinen Freund Fabian möchte ich an dieser Stelle für die stets willkommene Ablenkung danken. Abschließend gilt meinen Eltern großer Dank, einerseits dafür, dass Sie die Grundsteine für meinen bisherigen Lebensweg legten und außerdem für die kritische Durchsicht meiner Arbeit.

Aachen, im Oktober 2016

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Inhaltsverzeichnis	III
1 Einleitung und Vorgehensweise	1
2 Betrachtung der weltweiten Schachtbauaktivität	4
2.1 Entwicklung der weltweiten Schachtbauaktivität	5
2.2 Kennzahlen und Trends im Schachtbau	7
3 Konventionelles Schachtabteufen	12
3.1 Vorschacht	13
3.1.1 Vorschachtsicherung	13
3.1.2 Teufarbeit im Vorschacht	15
3.2 Bohrtechnik	16
3.2.1 Grundlagen der Bohrtechnik	16
3.2.2 Bohrgeräte im Schachtbau	19
3.2.2.1 Handgeführte Bohrgeräte	19
3.2.2.2 Schachtbohrgeräte	20
3.3 Spreng- und Zündtechnik	27
3.3.1 Gesteinszerstörung	27
3.3.2 Sprengstoffeigenschaften	28
3.3.3 Gewerbliche Sprengstoffe	31
3.3.4 Zündtechnik	36
3.4 Sprengbildentwicklung	42
3.4.1 Einbruchsarten und deren Berechnungsansätze	42
3.4.1.1 Paralleleinbrüche	42
3.4.1.2 Schrägeinbrüche	47
3.4.2 Helferbohrlöcher und deren Berechnungsansätze	52
3.4.3 Kranzbohrlöcher und profilgenaues Sprengen	53
3.4.4 Bohrlochaufwand	58
3.4.5 Spezifischer Sprengstoffbedarf	59

3.4.6	Abschlagslänge	60
3.5	Laden und Fördern der Berge	61
3.5.1	Ladetechnik im Schachtbau	62
3.5.1.1	Lademaschinen	63
3.5.1.2	Seilgeführte Ladegeräte	67
3.5.1.3	Zwangsgeführte Ladegeräte	72
3.5.2	Schachtfördertechnik	76
3.5.2.1	Bergekübel mit Führungseinrichtung und Förderseil	77
3.5.2.2	Fördermaschine und Fördergerüst	78
3.6	Vorläufige Gebirgssicherung	79
3.7	Permanenter Schachtausbau	81
3.7.1	Betonausbau	81
3.7.2	Gusseiserner Tübbingausbau	82
3.7.3	Gleitschachtausbau	83
3.8	Sonstige Abteufeinrichtungen	85
3.8.1	Bewetterung	85
3.8.2	Arbeitsbühne	88
3.8.3	Wasserhaltung	93
4	Entwicklung eines Leistungs- und Kostenmodells	95
4.1	Vorgehensweise und Datensammlung	95
4.2	Aufbau und Funktionsweise des Rechenmodells	95
4.2.1	Allgemeine Rahmenparameter	97
4.2.1.1	Schacht- und Abschlagsgeometrie	97
4.2.1.2	Gebirgseigenschaften	97
4.2.2	Leistungsparameter zur Berechnung der Zykluszeit	99
4.2.2.1	Betriebliche Organisation und Personal	99
4.2.2.2	Sprengtechnik und Sprengbild	100
4.2.2.3	Bohren	101
4.2.2.4	Sprengen und Bewettern	102
4.2.2.5	Laden und Fördern der Berge	103

4.2.2.6	Gebirgssicherung	107
4.2.2.7	Schachtauskleidung	109
4.2.3	Kostenparameter zur Berechnung der Teufkosten	111
4.2.3.1	Teufeinrichtung.....	112
4.2.3.2	Personal	112
4.2.3.3	Energie	113
4.2.3.4	Bohren und Sprengen	113
4.2.3.5	Laden und Fördern.....	115
4.2.3.6	Gebirgssicherung	115
4.2.3.7	Schachtauskleidung	116
4.2.4	Ergebnis: Teufleistung und –kosten pro Teufabschnitt	117
4.3	Analyse von Einflussgrößen auf Teufleistung und –kosten.....	119
5	Detaillierte Analyse der Lade- und Förderarbeit.....	122
5.1	Aufrüsten der Schachtsohle und Bereitstellung des Ladegeräts.....	122
5.2	Ladearbeit auf der Schachtsohle	124
5.3	Förderarbeit im Teufbetrieb.....	127
6	Entwicklung pneumatischer Lade- und Fördersysteme für das konventionelle Schachtabteufen	130
6.1	Grundlagen pneumatischer Lade- und Fördersysteme	132
6.1.1	Aufbau einer pneumatischen Sauganlage	132
6.1.2	Berechnung pneumatischer Lade- und Fördersysteme	133
6.1.3	Einflussgrößen auf die pneumatische Lade- und Förderleistung.....	137
6.2	Pneumatisches Sauberladen der Schachtsohle mittels Saugkübel	139
6.2.1	Konstruktionsprinzip des Saugkübels.....	139
6.2.2	Einsatz des Saugkübels auf der Schachtsohle.....	143
6.3	Pneumatisches Laden und Fördern der Berge mittels Saugbühne.....	147
6.3.1	Systemkomponenten der Saugbühne.....	147
6.3.2	Einsatz der Saugbühne im Schacht.....	149
7	Kosten und Potentiale zur Leistungssteigerung beim Einsatz pneumatischer Lade- und Fördersysteme	153

7.1	Teufszszenarien	153
7.2	Auswertung der Teufszszenarien und Verdeutlichung der Leistungs- und Kostenvorteile pneumatischer Lade- und F3rderkonzepte.....	155
8	Diskussion und Ausblick.....	161
8.1	Diskussion des Saugk3belkonzepts.....	162
8.2	Diskussion des Konzeptansatzes Saugb3hne	163
8.3	Ausblick.....	164
9	Zusammenfassung.....	165
	Literatur- und Quellenverzeichnis	175
	Abbildungsverzeichnis	182
	Tabellenverzeichnis	187
	Abk3rzungsverzeichnis.....	188
	Symbolverzeichnis.....	189
	Anh3nge	196
	Anhang I: Fragmentierungsvorhersage mittels Kuz-Ram-Modell	196
	Anhang II: RMR-System.....	201
	Lebenslauf.....	202
	Kurzzusammenfassung	203
	Abstract	204