

Ein hierarchischer Ansatz zur Lösung von Ablaufplanungsproblemen im Bergbau

Darstellung am Beispiel des Örterbaus

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Wirtschaftswissenschaften

vorgelegt von
Dipl.-Wirtschaftsing. Marco Schulze
aus Eisenhüttenstadt

genehmigt von der Fakultät für
Energie- und Wirtschaftswissenschaften
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Mai 2016

Dissertation, Technische Universität Clausthal, 2016

D 104

Vorsitzender der Promotionskommission: Prof. Dr. rer. pol. Mathias Erlei

Hauptberichterstatter: Prof. Dr. rer. pol. Jürgen Zimmermann

Mitberichterstatter: Prof. Dr. rer. pol. Christoph Schwindt

Berichte aus der Betriebswirtschaft

Marco Schulze

**Ein hierarchischer Ansatz zur Lösung von
Ablaufplanungsproblemen im Bergbau**

Darstellung am Beispiel des Örterbaus

D 104 (Diss. TU Clausthal)

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.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 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 978-3-8440-4555-0

ISSN 0945-0696

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

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wirtschaftswissenschaft in der Abteilung für Betriebswirtschaftslehre und Unternehmensforschung der Technischen Universität Clausthal. Die Idee dieser Arbeit ist im Rahmen einer Forschungs Kooperation mit einem deutschen Bergwerksbetreiber entstanden.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Jürgen Zimmermann für seine stete Förderung der Arbeit. Seine fortwährende Diskussionsbereitschaft und die hervorragenden Arbeitsbedingungen an seinem Lehrstuhl haben maßgeblich zum Entstehen der Arbeit beigetragen. Für die freundliche Übernahme des Korreferats möchte ich natürlich auch Herrn Prof. Dr. Christoph Schwindt danken.

Den Mitarbeitern des Kooperationspartners sowie meinen Kollegen am Lehrstuhl danke ich für die freundschaftliche Zusammenarbeit und kritische Durchsicht des Manuskripts. Im Besonderen möchte ich mich bei meinem Kollegen Herrn Stefan Kreter für seine stetige Bereitschaft zur thematischen Diskussion bedanken.

Schließlich gilt mein außerordentlicher Dank meiner Frau Pamela Schulze und meinem Sohn Mats Niklas für die Unterstützung meiner Arbeit und den ständigen Rückhalt. Gerade in der finalen Phase der Bearbeitung des Manuskriptes mussten sie aufgrund der fehlenden gemeinsamen Zeit ihre eigenen Interessen hinten anstellen, was für mich keine Selbstverständlichkeit darstellt.

Marco Schulze

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	iii
1 Einleitung und Motivation	1
2 Bergbauliche Grundlagen	7
2.1 Entstehung, Zusammensetzung und Verarbeitung der Kalisalze	7
2.2 Abbauverfahren und Unterteilung des Grubengebäudes	9
2.3 Gewinnungsverfahren	11
2.4 Planung im Bergbau	14
2.4.1 Ziele und Randbedingungen	14
2.4.2 Bergbauliche Planungsaufgaben	15
3 Hierarchischer Planungsansatz	19
3.1 Bedeutung der hierarchischen Planung	19
3.2 Elemente der hierarchischen Planung	21
3.2.1 Hierarchisierung	21
3.2.2 Dekomposition	23
3.2.3 Aggregation	23
3.2.4 Rollierende Planung	24
3.2.5 Kopplungsmechanismen	25
3.3 Planungsebenen des hierarchischen Ansatzes	25
3.3.1 Gewinnungsprogrammplanung	26
3.3.2 Grobplanung des Großgeräteeinsatzes	26
3.3.3 Feinplanung des Großgeräte- und Personaleinsatzes	27
4 Literaturüberblick	29
4.1 Ansätze zur Gewinnungsprogrammplanung	31
4.2 Ansätze zur Auswahl und zum Einsatz von Betriebsmitteln	38
5 Gewinnungsprogrammplanung	41
5.1 Problembeschreibung	41
5.2 Beurteilung existierender Ansätze aus der Literatur	43
5.3 Mathematisches Modell	46
5.4 Heuristische Lösungsverfahren	53
5.4.1 Vorüberlegungen und Bezeichner	53
5.4.2 Greedy Multi-Start-Verfahren	56
5.4.3 Multi-Start-Verfahren mit zufälliger Abschlagszahl	59
5.5 Experimentelle Performance-Analyse	61
5.5.1 Generierung der Testsets	61
5.5.2 Auswertung der Ergebnisse	63

6	Grobplanung des Großgeräteinsatzes	69
6.1	Problembeschreibung	69
6.1.1	Erläuterung der Zielstellung	69
6.1.2	Interpretation als Hybrid Flow Shop-Problem	71
6.1.3	Beurteilung existierender Ansätze aus der Literatur	80
6.2	Mathematisches Modell	81
6.3	Verschärfung der Modellierung	87
6.3.1	Startlösung und obere Schranke	87
6.3.2	Untere Schranke für die Zykluszeit	88
6.3.3	Einschränkungen der Wertebereiche und weitere Nebenbedingungen	94
6.4	Heuristische Lösungsverfahren	95
6.4.1	Konstruktionsverfahren	96
6.4.2	Multi-Start-Verfahren	100
6.4.3	Erweitertes Multi-Start-Verfahren	103
6.4.4	Modifizierter Giffler-Thompson-Algorithmus	105
6.5	Experimentelle Performance-Analyse	107
6.5.1	Generierung der Testsets	108
6.5.2	Auswertung der Ergebnisse	109
7	Feinplanung des Großgeräte- und Personaleinsatzes	119
7.1	Problembeschreibung	119
7.1.1	Einführung in das Planungsproblem	119
7.1.2	Formalisierung des Problems	122
7.1.3	Bergbauspezifische Anforderungen	129
7.2	Heuristisches Lösungsverfahren	134
7.2.1	Zusätzliche Bezeichner	134
7.2.2	Konstruktionsverfahren	136
7.2.3	Multi-Start-Verfahren	149
7.3	Workloadbasierte obere Schranke	151
7.4	Fallstudie	155
8	Konzept zur Koordination der Planungsebenen	163
8.1	Kennzeichen der Planungsebenen	163
8.2	Koordinationsmechanismen	166
9	Abschließende Bemerkungen und Ausblick	171
	Literaturverzeichnis	175