

Rechnergestütztes Planungssystem zur Konfigurierung und Bewertung von Aufbereitungsanlagen in der Lockergesteinsindustrie

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von
Dipl.-Ing. Heiko Lübke
aus Hameln

2004

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. G. Gruhn
Technische Universität Hamburg-Harburg

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. J. Werther
Technische Universität Hamburg-Harburg

Tag der Mündlichen Prüfung: 1. April 2005

Berichte aus der Verfahrenstechnik

Heiko Lübke

**Rechnergestütztes Planungssystem zur
Konfigurierung und Bewertung von
Aufbereitungsanlagen in der Lockergesteinsindustrie**

Shaker Verlag
Aachen 2005

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.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4217-1

ISSN 0945-1021

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

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Volker Patzold und meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Günter Gruhn. Sie haben mir die Gelegenheit zu dieser Arbeit gegeben und mit ihren Anregungen und den ausführlichen fachlichen Diskussionen entscheidend zu ihrem Gelingen beigetragen. In vielen Problemstellungen prägten sie mein Denken auch über verfahrenstechnische Fragen hinaus.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Werther danke ich für die Übernahme des Korreferates. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes bin ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jobst Hapke zu Dank verpflichtet.

Meinen Kollegen am Arbeitsbereich Prozess- und Anlagentechnik danke ich für die angenehme Atmosphäre und für viele wichtige Anregungen. Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinem Diplomanden Dipl.-Ing. Claus Reimers.

Für die Unterstützung bei der Erstellung der vorliegenden schriftlichen Fassung der Arbeit danke ich Herrn Dr. Jörg Köbke für zahlreiche Anregungen und Herrn Wolfgang Ahner für die Korrekturlesungen.

Ich danke meiner Frau Julia für ihre Unterstützung und die Kraft, die sie mir immer gegeben hat.

Heiko Lübke

Hamburg im April 2005

Inhaltsverzeichnis

	ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE	iii
1	EINLEITUNG.....	1
2	PROZESS- UND ANLAGENPLANUNG FÜR DIE AUFBEREITUNG VON LOCKERGESTEIN	6
2.1	Aufbereitung von Kies und Sand	6
2.2	Anlagenplanung	7
2.3	Anforderungen an die Anlagenplanung.....	9
2.4	Strukturierung des Planungsvorgangs	9
2.5	Begriffsbestimmung	13
2.6	Informationen im Planungsvorgang	14
3	PRODUKTPROGRAMMPLANUNG	16
3.1	Kennzeichnung der Rohstoffe.....	17
3.2	Produktdefinitionen	18
3.3	Methodik der Produktprogrammplanung	21
3.4	Modellierung des Produktionsprozesses von Sand und Kies	23
3.4.1	Aufbereitungsprozesse mit reiner Klassierung	24
3.4.2	Aufbereitungsprozesse mit Kombination von Klassierung und Zerkleinerung	28
3.4.3	Aufbereitungsprozesse mit Klassierung und Einsatz von Zusatzmaterial	32
3.4.4	Aufbereitungsprozesse mit Klassierung und Zerkleinerung sowie Einsatz von Zusatzmaterial	33
3.5	Formulierung des Optimierungsproblems	34
3.6	Lösen des Optimierungsproblems	38
3.7	Behandlung bilinearer Ausdrücke	38
3.8	Mehrkriterielle Optimierung	43
3.9	Sensibilitätsanalyse der Optimierungsergebnisse	44
4	PROZESSPLANUNG	49
4.1	Detaillierte Stoffstromcharakterisierung	53
4.2	Prüfung der Problemstellung und Erzeugung von Prozessvorschlägen	55
4.3	Prozessauswahl und Variantenerzeugung.....	57
4.4	Modellauswahl und Prozesssimulation mit Shortcut-Modellen	60

5	AUSRÜSTUNGSPLANUNG	63
5.1	Erzeugung von Ausrüstungsvorschlägen und Anlagenvarianten	66
5.2	Modellierung und Simulation mit ausrüstungsspezifischen Prozessmodellen	68
5.3	Ausrüstungsspezifische Parameteranpassung	72
5.4	Flexibilitätsbetrachtung	75
5.4.1	Erforderliche Flexibilität der Kiessandtrennung	79
5.4.2	Flexibilität der Einzelausrüstung gegenüber Massenstromveränderungen	82
6	WIRTSCHAFTLICHKEIT VON ANLAGENVARIANTEN	86
6.1	Bestimmung der wirtschaftlichen Ausrüstungsdaten	86
6.2	Wirtschaftlichkeitsanalyse	90
6.2.1	Dynamische Investitionsrechnung	90
6.2.2	Spezifische Herstellkosten	92
6.2.3	Spezifisches Ergebnis	94
7	SOFTWARESYSTEM ZUR ANLAGENPLANUNG	95
7.1	Rechentechnische Umsetzung der Planungsabschnitte	95
7.2	Daten- und Projektverwaltung	97
7.3	Anwendung des Planungssystems für Produktprogrammplanung	97
7.4	Anwendung des Planungssystems für Prozessplanung	99
7.5	Anwendung des Planungssystems für Ausrüstungsauswahl	100
7.6	Anwendung des Planungssystems für Parameteranpassung	101
7.7	Anwendung des Planungssystems für Wirtschaftlichkeitsrechnung und Ergebnisausgabe	102
8	FALLSTUDIE ZUR AUFBEREITUNG VON LOCKERGESTEIN	103
8.1	Kennzeichnung der Problemstellung	103
8.2	Anwendung der Planungsmethodik und Ergebnisse	106
8.2.1	Produktprogrammplanung	106
8.2.2	Prozessplanung	110
8.2.3	Ausrüstungsauswahl	114
8.2.4	Parameteranpassung	114
8.2.5	Dimensionierung	116
8.2.6	Wirtschaftlichkeitsbewertung und Variantenvergleich	117
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	122
	LITERATURVERZEICHNIS	125
	ANHANG	128