

Zur numerischen Simulation des Mischungsverhaltens einer zweiphasigen Blasensäule

Vom Fachbereich 13 Chemie und Chemietechnik
der Universität Paderborn
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation

von
Ursula Gerigk
aus
Alzey

Paderborn, Dezember 2001

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Juni 1996 bis Dezember 2001 im Fachgebiet Technische Chemie und Chemische Verfahrenstechnik der Universität Paderborn angefertigt.

Referent: Prof. Dr.-Ing. H.-J. Warnecke
Universität Paderborn
Fachbereich Chemie und Chemietechnik

Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. J. Prüß
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Fachbereich Mathematik und Informatik
Institut für Analysis

Datum der Abgabe: 03. Dezember 2001
Datum der mündlichen Prüfung: 20. Dezember 2001

TC-Schriftenreihe

Band 13

Ursula Gerigk

**Zur numerischen Simulation
des Mischungsverhaltens
einer zweiphasigen Blasensäule**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Gerigk, Ursula:

Zur numerischen Simulation des Mischungsverhaltens
einer zweiphasigen Blasensäule / Ursula Gerigk.

Aachen : Shaker, 2002

(TC-Schriftenreihe ; Bd. 13)

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8322-0887-9

Copyright Shaker Verlag 2002

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0887-9

ISSN 1433-6499

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

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die durch ihr Interesse und ihre sowohl fachliche als auch moralische Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt

Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-J. Warnecke für die interessante, fachübergreifende Themenstellung, seine ständige Diskussionsbereitschaft und insbesondere für sein Vertrauen, das mir die freiheitliche Gestaltung und Umsetzung der wissenschaftlichen Ziele dieser Arbeit ermöglichte,

Herrn Prof. Dr. J. Prüß für die freundliche Übernahme des Korreferats und die stete Bereitschaft zur Diskussion mathematischer und technischer Fragestellungen,

Herrn PD Dr. D. Bothe für die intensive Unterstützung bei der Aufarbeitung der mathematischen Modelle und die stete Bereitschaft zur Diskussion,

meinem Bürokollegen Herrn Dr. Andreas Steinkemper für die vielen Diskussionen, die oft über den Arbeitsbereich hinausgingen und eine Bereicherung meiner Promotionszeit darstellten,

Herrn Dipl. Chem. Thorsten Grebe für seine Mitwirkung bei dem Umbau der Blasensäule und den anschliessend durchgeführten praktischen Messungen,

Herrn Chem.-Ing. Markus Voigt für die Hilfestellung bei aufgetretenen Computerfragen,

sowie allen Mitarbeitern und Kollegen der Arbeitsgruppe Technische Chemie, die durch das angenehme Arbeitsklima ihren Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben.

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Stand des Wissens	5
3	Mathematische Beschreibung von Strömungen	9
3.1	Transportgleichungen	9
3.1.1	Massenbilanz	9
3.1.2	Impulsbilanz	10
3.1.3	Energiebilanz	11
3.1.4	Speziesgleichungen	12
3.1.5	Skalare Konvektions-Diffusions-Gleichung	14
3.2	Turbulenzmodelle	14
3.2.1	Die Reynolds-gemittelten Gleichungen	15
3.2.2	Eddy-Viskositäts-Modell	17
3.2.3	Das k - ϵ -Modell	18
3.3	Randbedingungen	21
3.3.1	Wand-Randbedingungen	21
3.3.2	Einlass-Randbedingungen	22
3.3.3	Auslass-Randbedingungen	23
3.3.4	Massenstrom-Randbedingungen	23
4	Beschreibung zweiphasiger Strömungen	25
4.1	Ebenen der Modellierung	25
4.2	Euler-Euler-Modell	30
4.2.1	Reibungswiderstandskraft F_r	33
4.2.2	Massenträgheitskraft F_a	36
4.3	Turbulenzmodellierung in Zweiphasenströmungen	37
5	Diskretisierung der Transportgleichungen	39
5.1	Gittertypen	40
5.2	Kontrollvolumina und Lage der Variablen	42

INHALTSVERZEICHNIS

6	Experimenteller Teil	45
6.1	Experimentelle Untersuchungen an der Blasensäule	45
6.2	Versuchsdurchführung	45
6.3	Versuchsauswertung	48
6.3.1	Gasgehalt	48
6.3.2	Sauterdurchmesser	49
6.3.3	Durchmischung der Flüssigphase	54
7	Simulationsergebnisse und Diskussion	61
7.1	Gitteraufbau und Randbedingungen	62
7.2	Berücksichtigung von Turbulenz	74
7.3	Wechselwirkungsterme	77
7.4	Weitere Parameter	80
7.5	Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Betriebszustände . .	81
7.6	Diskussion	82
8	Zusammenfassung und Ausblick	85
A	Symbolverzeichnis	87
B	Blasengrößenverteilungen	91
C	Command-File	95
D	Fortran-Routine <i>USRSRC</i>	99
	Literaturverzeichnis	103