

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XV
Abstract	XVII
Kurzfassung	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Literaturübersicht	3
1.3 Zielsetzung	10
2 Grundlagen	13
2.1 Grundbegriffe der Rheologie	13
2.2 Rheologische Modellgesetze	19
2.3 Scale-Up in der Rührtechnik.....	21
2.3.1 Untersuchtes System	21
2.3.2 Rührorgane	22
2.3.3 Leistungskurven.....	23
2.3.4 Sonderfall: NEWTON'sches Rührsystem	23
3 Diskussion ausgewählter Scale-Up Verfahren	25
3.1 METZNER und OTTO.....	25
3.2 BÖHME	32
3.3 HENZLER.....	35
3.4 PAWLOWSKI	37
4 Verfahrensherleitung	43
4.1 Phänomenologische Betrachtung	43
4.1.1 Allgemeine Fluidfamilie scherverdünnender Medien	44
4.1.2 Fluidfamilie für Power-Law-Bereich	48
4.1.3 II-Raum des nicht-NEWTON'schen Rührsystems	51
4.2 Kontinuumsmechanische Betrachtung.....	53
4.2.1 Allgemeiner Spannungszustand	53
4.2.2 Prinzip der Materialeigenschaften-Invarianz	54

Inhaltsverzeichnis

4.2.3	Dimensionsanalyse	56
4.2.4	Anwendung auf technische Strömungen	58
4.2.5	Verwandtschaft von Leistungsbeiwert und EULER-Zahl	59
4.3	Synthese phänomenologischer und analytischer Betrachtung	61
4.4	Einführung der repräsentativen REYNOLDS-Zahl	63
4.4.1	Anforderungen	63
4.4.2	Empirische Herleitung	64
4.4.3	Einschränkungen in der Anwendbarkeit	69
5	Experimentelle Untersuchungen	71
5.1	Aufbau Leistungsprüfstand	71
5.1.1	Sensorik und Aktorik	72
5.1.2	Rührkesselvarianten	73
5.1.3	Rührwerke	74
5.2	Rheologie der Modellmedien	75
5.2.1	Glukosesirup	76
5.2.2	Xanthan-Gum	76
5.2.3	Carboxymethylcellulose	77
5.2.4	Polyacrylamid	78
5.2.5	Relative Charakterisierung der Elastizität	78
5.3	Versuchsmatrix	80
5.3.1	NEWTON'sch	81
5.3.2	Nicht-NEWTON'sch	81
5.4	Beispielmessung	82
5.4.1	Nomenklatur	83
5.4.2	Versuchsdurchführung	84
6	Numerische Untersuchungen	89
6.1	Vernetzung	89
6.2	Rechengebiet und Randbedingungen	90
6.2.1	Darstellung des Rechengebietes	91
6.2.2	Geometrische Randbedingungen	91
6.2.3	Rheologische Stoffdaten	92
6.2.4	Solvereinstellungen	93
6.3	Netzstudie	95
6.4	NEWTON'scher Fall	96
6.4.1	Validierung	96
6.4.2	NEWTON'sche Leistungskennlinie	98

6.5 Nicht-NEWTON'scher Fall	99
6.5.1 Validierung	99
6.5.2 Parameterstudie.....	101
7 Ergebnisdiskussion	105
7.1 Anwendung des vollständigen Π -Raumes	105
7.2 Anwendung der repräsentativen REYNOLDS-Zahl.....	109
7.2.1 Anwendung auf beliebige Power-Law-Fluide	109
7.2.1 Korrigierte NEWTON-Zahl im Übergangsbereich nach RUSHTON	110
7.3 Ingenieurstechnische Anwendung	113
7.4 Bewertung	116
8 Fehlerbetrachtung	121
8.1 Experiment.....	121
8.1.1 Systematische Fehler	121
8.1.2 Zufällige Fehler	123
8.2 CFD	123
9 Zusammenfassung	127
10 Ausblick	131
Literaturverzeichnis	133
Formelzeichen und Abkürzungen	140
A Versuchsaufbau	148
A.1 Propellerviskosimeter	148
A.1.1 Darstellung	148
A.1.2 Datenblätter	148
A.2 Rheometer	149
A.2.1 Haake Thermo Scientific Rheometer RS 6000.....	149
A.2.2 Brookfield Rheo R/S Rheometer	149
B Modellmedien	150
B.1 Glukose (GK).....	150
B.2 Xanthan-Gum (XG).....	150
B.3 Carboxymethylcellulose (CMC).....	153

Inhaltsverzeichnis

B.4 Polyacrylamid (PAA).....	155
B.5 Fließkurven zu den Leistungsmessungen.....	157
B.6 Rheologische Parameter	159
C Software	162
C.1 Ermittlung Messfehler	162
C.2 Bestimmung des Power-Law-Bereiches	163
D Leistungskennfelder	165
D.1 NEWTON'sche Leistungskurve (Messwerte).....	165
D.2 Umkehrfunktion der NEWTON'schen Leistungskennlinie	166
D.3 Validierung CFD	166
D.4 Rechnerische Zusammenhänge im METZNER-OTTO-Verfahren	170
D.5 Korrigierte NEWTON-Zahl Ne_{kor}	171
D.5.1 Herleitung	171
D.5.2 Koeffizienten	172
D.6 Vergleich vorausberechneter und gemessener Leistungskennfelder im nicht-NEWTON'schen System	174
E Sonstiges	179
E.1 Dimensionslose Fließkurve für Power-Law-Fluide	179
E.2 Geometrisch ähnliche Systeme.....	180
E.3 Ausführung der Anwendung des Π -Theorems auf das nicht- NEWTON'sche Rührsystem	180
E.4 Nomenklatur.....	183
E.5 Digitale Anhänge.....	184
Betreute Arbeiten	185
Lebenslauf	187