

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Stand des Wissens	3
2.1 Turbulenz in newtonschen Fluiden	7
2.1.1 Klassische Beschreibung der Turbulenz	8
2.1.1.1 Turbulente Energiedissipationsrate	10
2.1.1.2 Das Makromaß der Turbulenz Λ_t	13
2.1.2 Die fraktale Geometrie	17
2.1.2.1 Grundbegriffe der fraktalen Geometrie	17
2.1.2.2 Beispiele fraktaler Strukturen	19
2.1.2.3 Fraktale Aspekte der Turbulenz	21
2.1.2.4 Das β -Modell	22
2.2 Turbulenz in nicht-newtonschen Fluiden	24
2.2.1 Zur Rheologie strukturviskoser und viskoelastischer Fluide	24
2.2.1.1 Schubspannungseffekte	24
2.2.1.2 Normalspannungsübertragung	28
2.2.2 Das Konzept der repräsentativen Viskosität und Leistungseintrag in Rührkesseln	32
2.2.3 Erkenntnisse über Turbulenz in nicht-newtonschen Fluiden	35
2.3 Zu Schwankungsgeschwindigkeit und spezifischen Energiedissipationsraten in turbulent gerührten Fluiden	37
2.3.1 Turbulent gerührte newtonsche Fluide	37
2.3.1.1 Normierbarkeit der lokalen Schwankungsgeschwindigkeit u'_{lok}	37
2.3.1.2 Die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit \bar{u}'	37
2.3.1.3 Die maximale Schwankungsgeschwindigkeit u'_{max}	38
2.3.1.4 Die lokale spezifische Energiedissipationsrate (Leistung) ϵ_{lok}	39
2.3.2 Turbulent gerührte nicht-newtonsche Fluide	41
2.3.2.1 Normierbarkeit der lokalen Schwankungsgeschwindigkeit $u'_{lok,nn}$	41
2.3.2.2 Die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit \bar{u}'_{nn}	42
2.3.2.3 Die maximale Schwankungsgeschwindigkeit $u'_{max,nn}$	44
2.3.2.4 Die lokale spezifische Energiedissipationsrate $\epsilon_{lok,nn}$	45
3. Theoriebildung	47
3.1 Erkenntnistheoretische Betrachtung zum Begriff "Theorie"	47
3.2 Theoriebildung für newtonsche und nicht-newtonsche Fluide (4-Zellen-Modell)	49
3.2.1 Grundsätzliche Aspekte zur Modellierung der Turbulenz	49
3.2.2 Geometrische Vorstellungen zur Turbulenzstruktur	50
3.2.3 Das fraktale Energiespektrum	53
3.2.4 Lokale Energiedissipationsraten für newtonsche Fluide	54
3.2.4.1 Das fraktale Energiespektrum $E_1(k)$ für newtonsche Fluide	54

3.2.4.2	Modell zur Berechnung der spezifischen Energiedissipationsrate ϵ	56
3.2.4.3	Das Makromaß der Turbulenz Λ_t für newtonsche Fluide	58
3.2.4.4	Die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit \bar{u}' nach dem neuen Modell	60
3.2.4.5	Die maximale Schwankungsgeschwindigkeit u'_{\max}	60
3.2.5	Lokale Energiedissipationsraten für nicht-newtonsche Fluide	62
3.2.5.1	Das fraktale Energiespektrum $E_i(k)$ für nicht-newtonsche Fluide	62
3.2.5.1.1	Modellierung der fraktalen Dimension D_{an}	62
3.2.5.1.2	Modellierung der Konstanten A_{nn} im fraktalen Energiespektrum $E_i(k)$	63
3.2.5.2	Modell zur Berechnung der spezifischen Energiedissipationsrate ϵ_{nn} für nicht-newtonsche Fluide	64
3.2.5.3	Das Makromaß der Turbulenz $\Lambda_{t,\text{nn}}$ für nicht-newtonsche Fluide	66
3.2.5.4	Die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit \bar{u}'_{nn} nach dem neuen Modell	67
3.2.5.5	Die maximale Schwankungsgeschwindigkeit $u'_{\max,\text{nn}}$	69
3.3	Möglichkeiten und Grenzen des Modells	70
3.3.1	Möglichkeiten des Modells	70
3.3.1.1	Verhältnis der mittleren Schwankungsgeschwindigkeit $\bar{u}'_{\text{nn}} / \bar{u}'$	70
3.3.1.2	Verhältnis der mittleren Makromaße $\bar{\Lambda}_{t,\text{nn}} / \bar{\Lambda}_t$	71
3.3.2	Grenzen des Modells	72
4.	Versuchsaufbau und Durchführung	74
4.1	Messung der mechanischen Wellenleistung	74
4.2	Laser-Doppler-Anemometrie-Anlage	75
4.2.1	Versuchsanlage	76
4.2.2	Meßdatenerfassung und Auswertung	79
4.3	Das Schwankungsgeschwindigkeitsmeßsystem SIMD	82
4.4	Einschränkungen und Besonderheiten der Geschwindigkeitsmeßsysteme	84
4.4.1	Laser-Doppler-Anemometrie	84
4.4.2	SIMD-Sondensystem	84
4.5	Verwendete Versuchsbehälter	85
4.5.1	Versuchsbehälter der LDA-Anlage	85
4.5.2	Versuchsbehälter für SIMD-Sondensystem	87
4.6	Die verwendeten Rührorgane	89
4.6.1	Rührorgane bei LDA-Messungen	89
4.6.2	Verwendete Rührorgane im großen halbtechnischen Rührkessel	91
4.7	Verwendete Polymerlösungen	92
4.7.1	Das Polymer Polyacrylamid	92
4.7.2	Das Polymer Natrosol	93
4.7.3	Wasser-Glyzerin-PAA-Lösungen	93
4.7.4	Charakteristische Daten der verwendeten Fluide	93
5.	Experimentelle Ergebnisse	99
5.1	Überprüfung der rheologischen Daten	99
5.2	Experimentelle Daten aus Rührkesseln	101
5.2.1	Ermittelte Newton-Zahlen	101
5.2.2	Meßergebnisse für newtonsche Fluide	107
5.2.2.1	Mittelgeschwindigkeiten \bar{u} und Darstellung der Großraumströmung	107
5.2.2.2	Verteilung der Schwankungsgeschwindigkeit u'	110

5.2.2.3	Gemessene Schwankungsgeschwindigkeiten u'_{lok} und lokale Isotropie	113
5.2.2.4	Die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit \bar{u}'	115
5.2.2.5	Die maximale bezogene Schwankungsgeschwindigkeit $u'_{\text{max}} / u_{\text{up}}$	117
5.2.2.6	Berechnete mittlere und lokale spezifische Leistungen $\bar{\epsilon}$ und ϵ_{lok}	119
5.2.2.7	Literaturangaben über mittlere und lokale spezifische Leistungen $\bar{\epsilon}$ und ϵ_{lok} sowie mittlere Schwankungsgeschwindigkeiten \bar{u}' in Rührkesseln	122
5.2.2.8	Literaturangaben über lokale Makromaße der Turbulenz Λ_t in Rührkesseln	125
5.2.2.9	Energiespektren $E_i(k)$ für Rührkesselströmungen aus Literaturquellen	126
5.2.3	Meßergebnisse für nicht-newtonsche Fluide	129
5.2.3.1	Mittelgeschwindigkeiten \bar{u}_{nn} und Darstellung der Großraumströmung	129
5.2.3.2	Verteilung der Schwankungsgeschwindigkeit u'	131
5.2.3.3	Gemessene Schwankungsgeschwindigkeiten $u'_{\text{lok,nn}}$ und lokale Isotropie	133
5.2.3.4	Die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit \bar{u}'_{nn}	136
5.2.3.5	Die maximale bezogene Schwankungsgeschwindigkeit $u'_{\text{max,nn}} / u_{\text{up}}$	137
5.2.3.6	Berechnete mittlere und lokale spezifische Leistungen $\bar{\epsilon}_{\text{nn}}$ und $\epsilon_{\text{lok,nn}}$	138
5.2.3.7	Eindimensionale Energiespektren $E_i(k)$ für nicht-newtonsche Fluide im Rührkessel	140
5.3	Anwendung des Modells auf andere turbulente newtonsche Systeme	143
5.3.1	Gitterturbulenz im Windkanal	143
5.3.2	Strömung durch Gezeitenwechsel in einer Meerenge	145
5.4	Anwendung des Modells auf andere turbulente nicht-newtonsche Systeme	146
5.4.1	Gitterturbulenz in einem Kanal	146
5.4.2	Strömung in einem Rechteckkanal	148
6.	Beispiel einer Anwendung des neuen Turbulenzmodells	150
6.1	Dispergieren in einem newtonschen Trägerfluid	150
6.1.1	Erweiterung der klassischen Beschreibung	150
6.1.2	Fraktale Beschreibung	153
6.1.2.1	Der Kolmogorov-Zeitmaßstab t_{Kolm}	155
6.1.2.2	Die Dispergierzeit t_{Disp}	156
6.2	Dispergieren in nicht-newtonschen Trägerfluiden	160
7.	Zusammenfassung	164
	Symbolverzeichnis	165
	Literaturverzeichnis	169
Anhang A	Darstellung einer Herleitungsmöglichkeit der Newton-Zahl Potenz in Gl.(3-15)	
Anhang B	Tabellarische Zusammenstellung der verwendeten experimentellen Daten und der Ergebnisse der Modellrechnung (Eigene Daten und Literaturdaten)	
Anhang C	Wertangaben zu Datensätzen mit aus numerischer Integration des Energiespektrums ermitteltem u'	