

Inhalt	Seite	
1	Einleitung	1
1.1	Gas/Flüssigkeits-Zweiphasensysteme	1
1.2	Stand der Meßtechnik	1
1.3	Rührkessel	2
2	Aufgabenstellung	4
3	Die Gasphasenverweilzeitverteilungsbestimmung	6
3.1	Stand der Technik	7
3.2	Massenspektrometrie	8
3.3	Membranen	8
3.4	Entwicklung der neuen Probenahmetechnik	10
3.4.1	Beschreibung des Meßaufbaus	11
3.4.2	Pseudostochastische Signale	13
3.4.3	Apparatefunktion und Entfaltungsrechnung	15
3.4.4	Realisierung der Meßmethode	17
4	Erprobung der Gasverweilzeitmeßtechnik in realen Systemen	20
4.1	Ziel der Erprobung	20
4.2	Strategie der Messungen an verschiedenen Reaktoren	20
4.2.1	Laborblasensäule	21
4.2.1.1	Beschreibung des Reaktors	22
4.2.1.2	Ergebnisse und Interpretation der Verweilzeitmessungen	22
4.2.2	Der Labor-Rührkessel	24
4.2.2.1	Beschreibung des Reaktors	26
4.2.2.2	Ergebnisse der Verweilzeitmessungen	26
4.2.2.3	Interpretation und Vergleich mit den Ergebnissen anderer Meßmethoden	27
4.2.3	Der Umwurfreaktor	28
4.2.3.1	Beschreibung des Reaktors	28
4.2.3.2	Ergebnisse der Verweilzeitmessungen	29
4.2.3.3	Vergleich mit den Ergebnissen anderer Meßmethoden	32
4.3	Einsatz in Fermentationen	33

4.3.1	Penicillin- und Cephalosporin-Fermentationen	33
4.3.2	Gasverweilzeitmessungen in Technikumsfermentern	35
4.3.2.1	Experimenteller Aufbau	35
4.3.2.1.1	Reaktorsystem	35
4.3.2.1.2	Installation der Meßanordnung	36
4.3.2.2	Resultate	39
4.3.2.2.1	Gasverweilzeitverteilungen mit radial fördernden Rührorganen	39
4.3.2.2.2	Gasverweilzeitverteilungen mit axial fördernden Rührorganen	42
4.3.2.3	Folgerungen aus den Messungen im größerem Maßstab	44
5	Detaillierte Reaktoruntersuchungen	46
5.1	Grundsätzliche Erwägungen und Ziele	46
5.2	Charakterisierung eines Airlift-Schlaufenreaktors	47
5.2.1	Der Airlift-Schlaufenreaktor	48
5.2.2	Ergebnisse der Gasverweilzeitexperimente	48
5.2.2.1	Das erweiterte axiale Dispersionsmodell	48
5.2.2.2	Resultate	50
5.2.3	Vergleich mit den Flüssigphasenumlaufgeschwindigkeiten	52
5.2.4	Beurteilung der Ergebnisse	54
5.3	Mehrstufiger Rührkesselreaktor	54
5.3.1	Grundsätzliche Erwägungen und Ziele	54
5.3.2	Beschreibung des Reaktors	55
5.3.3	Die Ultraschall-Impuls-Doppler-Anemometrie	56
5.3.4	Viskosität	57
5.3.4.1	Rheologie	58
5.3.4.2	CMC	59
5.3.5	Rührertypen	60
5.3.5.1.	Eigenschaften von Scheibenrührern	60
5.3.5.2.	Axialförderer	62
5.3.6	Bestimmung der globalen Gasgehalte	62
5.3.7	Verfahren zur Messung des Leistungseintrags	64
5.3.8	Charakterisierung des Rührkesselreaktors	67
5.3.8.1	Einfluß der Begasungsrate	67
5.3.8.2	Einfluß des Leistungseintrages	68
5.3.8.3	Einfluß der Viskosität	69
5.3.8.4	Messungen mit verschiedenen Rührertypen	70

5.3.9	Beurteilung und Vergleich mit Blasengeschwindigkeitsdaten	75
6	Das Jod/Thiosulfat-Entfärbungsverfahren	79
6.1	Eingesetztes Verfahren	79
6.1.1	Chemischer Hintergrund	80
6.1.2	Technische Realisation	80
6.2	Anwendung auf die Problemstellung	81
6.3	Ergebnisse der Untersuchungen	81
6.3.1	Einfluß der Rührergeschwindigkeit	88
6.3.2	Einfluß des Einspritzortes	89
6.3.3	Unterschiede zwischen begasteten und unbegasteten Systemen	90
6.3.4	Einfluß der Viskosität	93
6.3.5	Vergleich der Rührerkombinationen	94
6.3.6	Beurteilung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen	95
7	Verweilzeit- und Vermischungsexperimente in den Rührer- bereichen	97
7.1	Überlegungen zur Entwicklung dieser Technik	97
7.2	Meßtechnische Realisation	98
7.2.1	Probemessungen	99
7.3	Verweilzeitexperimente	100
7.3.1	Theoretische Überlegungen	100
7.3.2	Ergebnisse der Untersuchungen	102
7.3.3	Überlegungen zu den Ergebnissen	103
7.4	Gasphasenverteilungsexperimente	104
7.4.1	Durchführung der Messungen	105
7.4.2	Ergebnisse der Messungen	105
7.4.3	Überlegungen zu den Ergebnissen	110
7.4.4	Weitere Möglichkeiten der Meßtechnik	113
8	Schlußfolgerungen und Ausblick	115
8.1	Gewonnene Erkenntnisse über das Reaktorverhalten	115
8.2	Ausblick und Anregungen	116
	Anhang	117

