

Inhalt

Vorwort XII

- 1 Mischtechnik, Aufgaben und Bedeutung 1**
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. M. Pahl, Gesamthochschule Paderborn
- 1.1 Definitionen und Einteilung 1
 1.2 Diffusives Mischen 5
 1.3 Laminares Mischen 8
 1.4 Turbulentes Vermischen und charakteristische Strömungen 9
 1.5 Systemkenngrößen und Entmischung 12
 1.6 Erfassbarkeit der Mischvorgänge 13
 1.7 Qualitätssicherung und Mischgüte 14
 1.8 Ausblick 18
 1.9 Literatur 19
- 2 Homogenisieren in Rührbehältern 21**
Prof. Dr.-Ing. M. Kraume, Institut für Verfahrenstechnik, TU Berlin
- 2.1 Rührsysteme 21
 2.2 Strömungsfelder im Rührbehälter 26
 2.3 Förder- und Zirkulationsmengen 31
 2.4 Leistungsbedarf von Rührern 32
 2.5 Homogenisieren von Flüssigkeitsgemischen 37
 2.6 Literatur 43
- 3 Standardmessmethoden 45**
*Dipl.-Ing. R. Angst, Institut für Verfahrenstechnik, TU Berlin,
 Dipl.-Ing. A. Wittig, Soltau*
- 3.1 Einleitung 45
 3.2 Leistungsmessung 45
 3.2.1 Motorleistung 46
 3.2.2 Wellenleistung 46
 3.2.3 Behälterreaktion 49
 3.2.4 Drehfrequenz 50
 3.3 Mischzeitmessung [3.8, 3.9] 50

3.3.1	Letzter Farbumschlag	51
3.3.2	Fortschreitender Farbumschlag	53
3.3.3	Schlierenmethode	53
3.3.4	Sondenmethoden	54
3.3.5	Probennahme	54
3.3.6	Temperaturerhöhung	55
3.3.7	Aushärtende Kunststoffe	55
3.3.8	Folgereaktionen	55
3.4	Sonderfälle	57
3.4.1	Emulsionen	57
3.4.2	Begasen	57
3.4.3	Suspensionen	58
	Lokale Verfahren	59
	Rückstreumessung	59
	Restlichtmessung	59
	Endoskop	60
	Kapazitive Sonden	60
	Ultraschall-Extinktion	60
	Absaug-Sonde	60
	Integrale Verfahren	61
3.5	Praktische Beispiele	61
3.5.1	Messung der Mischzeit	61
3.6	Literatur	62
4	Optische und tomographische Messverfahren für Mischprozesse	63
	<i>Prof. Dr.-Ing. D. Mewes, Institut für Verfahrenstechnik, Universität Hannover</i>	
4.1	Einleitung	63
4.2	Laser- und Phasen Doppler Anemometrie	64
4.2.1	LDA – Laser Doppler Anemometrie	64
4.2.2	PDA – Phasen Doppler Anemometrie	68
4.3	Lichtschnittverfahren	69
4.3.1	PIV – Particle Image Velocimetry	70
4.3.2	LIF – Laser Induzierte Fluoreszenz	72
4.4	Tomographische Messverfahren	76
4.4.1	Rekonstruktion	78
4.4.2	Zweiwellenlängenphotometrie	78
4.4.3	Holographische Interferometrie	81
4.4.4	Elektrische Tomographie	84
4.5	Zusammenfassung	86
4.6	Literatur	88
5	Numerische Strömungsberechnung	91
	<i>Prof. Dr.-Ing. M. Sommerfeld, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg</i>	
5.1	Einleitung	91
5.2	Methoden zur numerischen Berechnung turbulenter Strömungen	92

- 5.3 Diskretisierung der Grundgleichungen 98
5.4 Charakterisierung von Mehrphasensystemen 101
5.5 Numerische Methoden für dichte Mehrphasenströmungen 102
5.6 Numerische Methoden für turbulente Mehrphasenströmungen 104
5.6 Anwendung von numerischen Berechnungsverfahren für
Mischprozesse 113
5.7 Ausblick 118
5.8 Literatur 118
- 6 Wärmeübergang im Rührkessel 123**
*Dr.-Ing. H. Judat, Bayer AG, Leverkusen,
Prof. Dr. R. Sperling (Vortragender), Hochschule Anhalt (FH), Köthen*
6.1 Einleitung 123
6.2 Grundlagen 123
6.2.1 Der Wärmeübergang auf der Innenseite des Rührkessels 125
6.2.2 Modellvorstellungen zum Wärmetransport im Rührkessel bei
schleichender Strömung 127
6.2.3 Gebrauchsformeln zum Wärmeübergang im turbulenten Bereich 134
6.2.4 Optimierungskriterien 134
Symbole in Tabelle 6.1 137
6.3 Praktische Beispiele 143
6.4 Literatur 144
- 7 Bauelemente rührtechnischer Apparate – Auslegungskriterien,
Wirtschaftlichkeit, anwendungsorientierte Lösungen 147**
Dr.-Ing. R. Krebs, EKATO, Schopfheim
7.1 Technische und betriebswirtschaftliche Randbedingungen 147
7.2 Kriterien für die Rührorganauswahl 149
7.3 Energetisch optimierte Apparate 154
7.4 Minimierung der Investitionskosten für Rührwerke, Behälter und
Einbauten 157
7.5 Multifunktionsapparate 164
7.6 Monoproduktanlagen 166
7.6 Zusammenfassung 173
7.7 Literatur 174
- 8 Dynamische Mischer für hochviskose Medien 175**
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. M. Pahl, Gesamthochschule Paderborn
8.1 Einleitung 175
8.2 Materialverhalten 178
8.3 Leistung 180
8.4 Mischzeit 182
8.5 Auswahl der Mischsysteme 184
8.6 Mischer für hochviskose Medien 186
8.6.1 Einwellige Rührwerke 186

8.6.2	Mehrwellige Rührwerke	186
8.6.3	Doppelmuldenknetzer	187
8.6.4	Stempelknetzer	189
8.6.5	Mischer mit rotierenden Behältern	190
8.6.6	Planetenrührwerke	191
8.6.7	Rührwerksmühlen	192
8.6.8	Einwellige dynamische Durchflußmischer	193
8.6.9	Walzwerke	194
8.6.10	Weitere Mischer für hochviskose Medien	194
8.7	Literatur	195
9	Statisches Mischen	197
	<i>F. A. Streiff, Sulzer, Winterthur/Schweiz</i>	
9.1	Einleitung	197
9.2	Mischvorgänge bei laminarer Strömung	198
9.3	Mischvorgänge bei turbulenter Strömung	202
9.4	Mischgüte	205
9.5	Druckabfall	210
9.6	Verweilzeitverteilung	213
9.7	Bauformen und Vergleich	214
9.8	Mehrphasige Systeme	214
9.9	Wärmeübertragung und Mischreaktoren	216
9.10	Berechnungsbeispiele zum statischen Mischen	218
	Aufgabe 1	218
	Aufgabe 2	218
9.11	Literatur	219
10	Suspendieren	221
	<i>Prof. Dr.-Ing. M. Kraume, Institut für Verfahrenstechnik, TU Berlin</i>	
10.1	Suspendierzustände und Suspendierkriterien	221
10.2	Leistungsbedarf beim Rühren von Suspensionen	225
10.3	Mechanismen und Modellvorstellungen zum Suspendieren von Feststoffpartikeln	226
10.4	Bestimmung der Suspendierdrehfrequenz	227
10.5	Feststoffverteilung	230
10.6	Stoffübergang	232
10.7	Homogenisieren	232
10.8	Maßstabsübertragung	233
10.9	Mechanische Aspekte	235
10.10	Literatur	237
11	Begasen im Rührbehälter	241
	<i>Dr.-Ing. P. Zehner, BASF, Ludwigshafen</i>	
11.1	Einleitung	241
11.1.1	Begasungsmethoden im Rührbehälter	243

- 11.1.2 Wichtige verfahrenstechnische Parameter 243
- 11.1.3 Fluiddynamische Grundlagen 244
- 11.2 Oberflächenbegasung im Rührbehälter 247
 - 11.2.1 Beginn der Oberflächenbegasung 247
 - 11.2.2 Gasvolumenanteil 250
 - 11.2.3 Stoffübertragung 253
 - 11.2.4 Rührerleistung 256
- 11.3 Druckbegasung 257
 - 11.3.1 Maximaler Gasvolumenstrom 257
 - 11.3.2 Rührerleistung 261
 - 11.3.3 Gasvolumenanteil 262
 - 11.3.4 Stoffübertragung 266
- 11.4 Anhang 269
 - 11.4.1 Eigene Formelzeichen 269
 - Zeichen 269
 - Indizes 269
 - Dimensionslose Größen 270
 - 11.4.2 Literaturverzeichnis 270
 - 11.4.3 Rechenbeispiele 271

- 12 Gerührte, begaste Suspensionsreaktoren 275**
Priv. Doz. Dr.-Ing. A. Steiff, Universität Dortmund
- 12.1 Einführung 275
 - 12.2 Fluiddynamik 279
 - 12.3 Stoffübergang und chemische Reaktion 290
 - Sonderfälle 298
 - 12.4 Modellierung und Berechnung 304
 - Gasphase 305
 - Flüssigkeitsphase 305
 - Feststoffphase 305
 - Energiebilanz 306
 - 12.5 Literatur 310

- 13 Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Emulgertechnik 313**
Prof. Dr.-Ing. H. Schubert, Universität Karlsruhe
- 13.1 Einleitung 313
 - 13.2 Wichtige Eigenschaften von Emulsionen, die durch verfahrenstechnische Maßnahmen maßgeblich gestaltet werden können 313
 - 13.3 Emulsionstypen 316
 - 13.4 Tropfenzerkleinerung in Emulsionen 318
 - 13.4.1 Tropfenaufbruch in laminarer Strömung 318
 - 13.4.2 Tropfenaufbruch in turbulenter Strömung 319
 - 13.5 Kurzzeitstabilität von Emulsionen 323
 - 13.5.1 Physikalische Stabilität von Emulsionen kurz nach dem Tropfenaufbruch 323

13.5.2	Vermeiden von Tropfenkoaleszenz unmittelbar nach dem Tropfenaufbruch	326
13.6	Herstellen feindisperser Emulsionen	328
13.6.1	Zusammenstellung der Grundverfahren	328
13.6.2	Rotor-Stator-Systeme	329
13.6.2.1	Kolloidmühlen	330
13.6.2.2	Zahnkranz-Dispergiermaschinen	331
13.6.3	Hochdrucksysteme	332
	Tropfenzerkleinerung im herkömmlichen Hochdruckhomogenisator	333
	Tropfenzerkleinerung im Strahldispersgator	333
	Tropfenzerkleinerung im Microfluidizer®	333
	Vergleich der Homogenisierdüsen	334
13.6.4	Emulgieren mit Hilfe von mikroporösen Membranen	336
13.7	Zusammenstellung der unterschiedlichen Emulgiersysteme	337
13.8	Ausblick	339
13.9	Danksagung	340
13.10	Literatur	340
14	Röhren nicht-newtonscher Flüssigkeiten	343
	<i>Dr.-Ing. A. Knoch, Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V., Quakenbrück</i>	
14.1	Einleitung	343
14.2	Eigenschaften nicht-newtonscher Fluide	343
14.3	Einfluss der nicht-newtonschen Fluideigenschaften auf das Strömungsfeld	348
14.4	Homogenisieren nicht-newtonscher Fluide	350
14.4.1	Beeinflussung der Leistungscharakteristik	351
14.4.2	Beeinflussung der Mischzeitcharakteristik	355
14.5	Emulgieren nicht-newtonscher Fluide	359
14.5.1	Tropfenaufbruch bei newtonschen Phasenanteilen	359
14.5.2	Tropfenaufbruch bei nicht-newtonschen Phasenanteilen	361
14.6	Bedeutung der nicht-newtonschen Fluideigenschaften bei den weiteren Rühraufgaben	367
14.7	Zusammenfassung und Ausblick	369
14.8	Literatur	370
15	Rührprobleme in der Biotechnologie	375
	<i>Dr.-Ing. H.-J. Henzler, Bayer AG, Wuppertal</i>	
15.1	Einführung	375
15.2	Gegenstand und Eigenschaften biotechnologischer Prozesse	375
15.3	Wichtige Rühraufgaben in der Biotechnologie	376
15.4	Fermentation	377
15.4.1	Grundzüge von Fermentationen	377
15.4.2	Stoffeigenschaften von Fermentationsmedien	379
15.5	Bioreaktoren	381

15.5.1	Anforderungen	381
15.5.2	Standardreaktoren	381
15.6	Grundzüge der Auslegungsunterlagen für Rührfermenter	382
15.6.1	Leistungseintrag	383
15.6.2	Vermischung der Flüssigphase	385
15.6.3	Vermischung der Gasphase	386
15.6.4	Wärmetransport	387
15.6.5	Stofftransport: gasförmig-flüssig	389
15.6.6	Scherbeanspruchung	391
15.6.7	Berücksichtigung der nicht-Newtonschen Eigenschaften	392
15.6.8	Rührerauswahl und Maßstabsübertragung	393
15.6.9	Reaktormodellierung	395
15.7	Ursachen der Probleme bei der Dimensionierung von Bioreaktoren	396
15.8	Beispiele für Rühraufgaben in der Biotechnologie	397
15.8.4	Polymerfermentation	397
15.8.2	Fermentation mit mycelbildenden Mikroorganismen	399
15.8.3	Fermentation mit tierischen Zellen	400
15.9	Literatur	402
16	Modelltechnik und Maßstabsübertragung	403
	<i>Dr.-Ing. P. Zehner, BASF AG, Ludwigshafen</i>	
16.1	Allgemeines	403
16.2	Möglichkeiten der Produktionserhöhung	404
16.3	Theoretische Überlegungen	407
16.4	Prinzipielle Aussagen	413
16.5	Allgemeine Strategie	414
16.6	Scale-up-Ziele	418
16.6.1	Übergeordnete Ziele	418
16.6.2	Reaktionskinetische Ziele	419
16.6.3	Verfahrenstechnische Ziele	420
Register	423	