

# Inhaltsverzeichnis

1	Apparative Aspekte und Betriebszustände	13
1.1	Die einfache Blasensäule	13
1.2	Betriebszustände	15
1.3	Spezielle Bauarten	17
1.4	Gasdispergierung	21
2	Reaktionen in Mehrphasen-Systemen	27
2.1	Gas/Flüssig-Reaktionen	28
2.2	Reaktionen im Dreiphasen-System Gas/Flüssig/Fest	34
3	Allgemeine Probleme bei der Analyse und Auslegung von Blasensäulen	51
3.1	Modellierung	51
3.2	Reaktionsspezifische und hydrodynamische Parameter	55
4	Stoffaustausch und Reaktion	63
4.1	Physikalischer Stoffaustausch	64
4.1.1	Definitionen und Filmtheorie	64
4.1.2	Instationäre Stoffübergangsmodelle	68
4.2	Einfluß der Reaktion	72
4.2.1	Allgemeine Bemerkungen	72
4.2.2	Irreversible Reaktion 1. Ordnung	75
4.2.3	Irreversible Reaktion m-ter Ordnung	77
4.2.4	Reaktion 2. Ordnung	78
4.2.5	Auftreten gaseitiger Widerstände	82
4.2.6	Zusammenfassung	84
5	Ermittlung systemspezifischer Absorptionsparameter	87
5.1	Identifikation des Absorptionsbereichs	87
5.2	Laborabsorber	89
5.2.1	Rührzellen	91
5.2.2	Fallfilm- und Laminarstrahl-Absorber	98
5.3	Reaktionskinetik	107
5.4	Diffusionskoeffizienten	115
5.5	Gaslöslichkeiten	119
6	Dispersion in Gas/Flüssig-Strömungen	135
6.1	Einführende Bemerkungen	135
6.2	Dispersion in der flüssigen Phase	138
6.2.1	Meßverfahren	138
6.2.2	Experimentelle Ergebnisse	147
6.2.3	Theoretische Ansätze zur Interpretation der Dispersionsvorgänge	150
6.2.4	Radiale Dispersion	154
6.2.5	Maßnahmen zur Herabsetzung der Dispersion	155

6.2.5.1	Einbau von Lochplatten .....	155
6.2.5.2	Einsatz von Füllkörpern .....	160
6.3	Gasphasendispersion .....	169
6.4	Zusammenfassung und Empfehlungen .....	174
7	Phasenanteile und Stoffaustausch .....	181
7.1	Gasgehalt .....	181
7.1.1	Allgemeine Bemerkungen – Meßtechnik .....	181
7.1.2	Struktur des Gasgehalts und Strömungsbereiche .....	183
7.1.3	Experimentelle Ergebnisse und empirische Korrelationen ....	194
7.2	Blaseneigenschaften .....	207
7.2.1	Meßverfahren .....	207
7.2.2	Blasendurchmesser .....	211
7.2.3	Blasenaufstiegsgeschwindigkeit .....	216
7.3	Phasengrenzfläche .....	217
7.3.1	Methoden zur Phasengrenzflächenbestimmung .....	217
7.3.2	Analyse chemischer Methoden zur Phasengrenzflächen- ermittlung .....	222
7.3.3	Experimentelle Ergebnisse und Korrelationen .....	230
7.4	Volumetrische Stoffübergangskoeffizienten .....	238
7.4.1	Allgemeine Bemerkungen .....	238
7.4.2	Übersicht über experimentelle Methoden .....	240
7.4.2.1	Anwendung physikalischer Meßverfahren .....	240
7.4.2.2	Chemische Methoden .....	252
7.4.3	Meßergebnisse und Korrelationen .....	256
7.4.3.1	Einfache Blasensäulen .....	256
7.4.3.2	Blasensäulenvarianten .....	266
7.5	Flüssigkeitsseitige Stoffübergangskoeffizienten .....	268
7.6	Gasseitige Stoffübergangswiderstände .....	274
7.7	Zusammenfassung und Empfehlungen .....	275
8	Wärmetransporteigenschaften .....	287
8.1	Einführung .....	287
8.2	Auftretende Wärmemengen für typische Gas/Flüssig-Reaktionen ....	288
8.3	Möglichkeiten der Wärmeabführung .....	290
8.4	Effektive Wärmeleitung – Wärmedispersion .....	292
8.5	Wärmeübergang von Zweiphasen-Systemen Gas/Flüssig .....	293
8.5.1	Meßergebnisse und empirische Korrelationen .....	293
8.5.2	Instationäres Wärmeübergangsmodell unter Berücksichtigung der isotropen Turbulenztheorie .....	297
8.6	Wärmeübergang von begasten Suspensionen .....	303
8.7	Hochtemperatur-Blasensäulen .....	308
8.8	Zusammenfassung und Empfehlungen .....	310
9	Hydrodynamische Modelle für Blasensäulen .....	315
9.1	Zirkulationsströmungs-Modell von Miyauchi .....	315

9.2	Energiebilanzmethode .....	321
9.2.1	Whalley-Davidson-Modell .....	321
9.2.2	Joshi-Sharma-Modell .....	324
9.3	Modell von Zehner .....	328
9.4	Dispersionsmodell und Zirkulationsströmung .....	330
9.5	Anwendung der Theorie der isotropen Turbulenz .....	331
9.6	Zusammenfassung .....	335
10	Modellmäßige Erfassung von Blasensäulen-Reaktoren .....	341
10.1	Einleitung .....	341
10.2	Allgemeine Überlegungen .....	342
10.3	Modellentwicklung .....	344
10.3.1	Langsame Reaktion .....	344
10.3.1.1	Vollständige Vermischung der Flüssigphase ....	344
10.3.1.2	Axiale Dispersion in der Flüssigphase .....	364
10.3.2	Schnelle Reaktion .....	386
10.3.2.1	Vollständige Vermischung der Gasphase .....	386
10.3.2.2	Idealrohrcharakteristik der Gasphase .....	387
10.3.2.3	Axiale Dispersion in der Gasphase .....	396
10.4	Bilanzierung über Einzelblasen .....	402
10.5	Zellenmodell mit Rückfluß .....	407
10.6	Zusammenfassung und Empfehlungen .....	412
11	Blasensäulen mit suspendierten Feststoffen .....	419
11.1	Einleitung .....	419
11.2	Stoffaustausch und Reaktion in Gegenwart suspendierter Feststoffe .....	423
11.2.1	Reaktive Partikeln .....	423
11.2.1.1	Unlösliches Edukt .....	425
11.2.1.2	Partiell lösliches Edukt .....	426
11.2.2	Katalysatorpartikeln .....	431
11.2.2.1	Serienschaltung der Transportwiderstände ....	431
11.2.2.2	Konzept der Nutzungsgrade .....	432
11.2.2.3	Auslegungsbeziehungen bei vollständiger Durchmischung der Suspensionsphase .....	433
11.2.2.4	Absorptionsbeschleunigung durch suspendierten Katalysator .....	436
11.3	Abschätzung der Transportwiderstände – Parameterbesorgung ...	440
11.3.1	Allgemeine Situation .....	440
11.3.2	Gasgehalt und Phasengrenzfläche .....	441
11.3.3	Stoffübergang Gas/Flüssig .....	445
11.3.4	Stoffübergang Flüssig/Fest .....	453
11.3.5	Porennutzungsgrad .....	459
11.3.6	Dynamische Methoden zur Parameterermittlung .....	462
11.3.7	Messungen unter reaktiven Bedingungen .....	467

	11.3.7.1	Variation der Katalysatorkonzentration .....	467
	11.3.7.2	Änderung der Temperatur .....	478
	11.3.7.3	Variation der Konzentration der Reaktanden ...	479
	11.4	Katalysatorverteilung .....	481
	11.5	Umsatzberechnung und Dimensionierung .....	490
	11.6	Zusammenfassung und Empfehlungen .....	508
12		Einige Grundregeln zur Analyse, Auslegung und Betriebsführung .....	519
	12.1	Wechselbeziehung zwischen Umsätzen und Reaktorleistung .....	520
	12.2	Reaktorleistung im Absorptionsbereich mit langsamer Reaktion ..	524
	12.3	Reaktor- und Katalysatorleistung bei Suspensions-Reaktoren ....	527
	12.4	Maßstabsvergrößerung .....	531
	12.5	Reaktionstechnische Abschätzungen für Reaktoren zur Kohleverflüssigung .....	535
		Autorenregister .....	545
		Sachregister .....	555