

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einleitung	1
1.1 Chemische Verfahrenstechnik – Wissenschaftsdisziplin und Lehrgebiet.....	1
1.2 Aufgaben und Methoden der Chemischen Verfahrenstechnik	2
2 Grundzüge der Prozess- und Verfahrensgestaltung	5
2.1 Diskontinuierliche und kontinuierliche Prozessführung	5
2.2 Das chemische Verfahren und der Reaktor als zentrale Prozesseinheit	7
2.3 Stoffliche und energetische Kopplung von Prozessstufen	10
3 Natur- und ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der chemischen Verfahrenstechnik	13
3.1 Stöchiometrie chemischer Reaktionen	13
3.1.1 Grundgrößen der stöchiometrischen Bilanzierung.....	14
3.1.2 Stöchiometrische Bilanzen einfacher Reaktionen.....	17
3.1.3 Stöchiometrische Bilanzen komplexer Reaktionen	19
3.2 Thermodynamik chemischer Reaktionen.....	24
3.2.1 Bildungsenthalpie und Reaktionsenthalpie.....	25
3.2.2 Reaktionsentropie und freie Reaktionsenthalpie.....	26
3.2.3 Chemisches Gleichgewicht.....	27
3.3 Kinetik homogener chemischer Reaktionen	33
3.3.1 Reaktionsgeschwindigkeit und deren Einflussfaktoren	33
3.3.2 Kinetik einfacher Reaktionen	35
3.3.3 Kinetik komplexer Reaktionen	37
4 Klassifizierung chemischer Reaktoren	47
4.1 Reaktorgrundtypen nach strömungstechnischen Gesichtspunkten	47
4.2 Wärmetechnische Betriebsformen von Reaktoren.....	51
4.3 Phasenverhältnisse in chemischen Reaktoren.....	54
4.4 Chemische Aktivierungsprinzipien in industriellen Reaktoren.....	55
4.5 Mikrostrukturreaktoren.....	58

5	Stoff- und Wärmebilanzen für homogene Reaktionssysteme	61
5.1	Grundlegende Transportprozesse und Erhaltungssätze.....	61
5.2	Allgemeine Stoffbilanz.....	69
5.3	Allgemeine Wärmebilanz.....	71
6	Strömungstechnisch ideale Reaktoren für homogene Reaktionen	73
6.1	Vollständig durchmischte Reaktoren.....	73
6.1.1	Rührkessel als Chemie- und Bioreaktoren.....	73
6.1.2	Vor- und Nachteile der Rührkesseltypen.....	78
6.1.3	Berechnung von Rührkesseln für homogene Reaktionen.....	81
6.2	Reaktoren mit idealer Pfropfenströmung (Idealer Rohrreaktor, Strömungsrohr) ...	131
6.2.1	Strömungsverhältnisse und technische Gestaltung.....	131
6.2.2	Vor- und Nachteile des Rohrreaktors.....	132
6.2.3	Berechnung von idealen Rohrreaktoren für homogene Reaktionen.....	133
6.3	Vergleich der Leistungsparameter der Reaktorgrundtypen.....	148
6.3.1	Vergleichende Betrachtungen bei einfachen Reaktionen.....	149
6.3.2	Vergleichende Betrachtungen bei komplexen Reaktionen.....	154
6.4	Thermische Stabilität und instationäres Reaktorverhalten.....	159
6.4.1	Technische Beispiele.....	159
6.4.2	Stabilitätsuntersuchungen an einem kontinuierlichen Rührkessel.....	162
7	Reaktorschaltungen	171
7.1	Industrielle Anwendungsbeispiele.....	171
7.2	Gestaltung und allgemeine stoffliche Bilanzierung von Reaktorkaskaden.....	172
7.3	Rührkesselkaskade.....	176
7.3.1	Vor- und Nachteile von Rührkesselkaskaden.....	177
7.3.2	Berechnung von Rührkesselkaskaden.....	177
7.4	Reaktoren mit Kreislauf.....	190
7.4.1	Anwendung von Reaktorkreisläufen.....	190
7.4.2	Berechnung von Reaktorkreisläufen.....	193
8	Strömungstechnisch nichtideale Reaktoren	201
8.1	Beispiele für nichtideales Strömungsverhalten.....	202
8.2	Berechnung von Rohrreaktoren mit partieller axialer Rückvermischung.....	206
8.2.1	Eindimensionales Dispersionsmodell.....	206
8.2.2	Kaskadenmodell.....	214
8.3	Verweilzeituntersuchungen zur Charakterisierung des Vermischungsverhaltens und zur Ermittlung von Modellparametern.....	216
8.3.1	Definitionen.....	217
8.3.2	Messung von Verweilzeitverteilungen.....	219
8.3.3	Berechnung und Auswertung von Verweilzeitverteilungen.....	222

8.4	Kopplung von Verweilzeitverhalten und Reaktion in realen Reaktoren	239
8.4.1	Mikrovermischung und Makrovermischung in Reaktoren	240
8.4.2	Berechnung von Reaktionssystemen mit Segregation	240
9	Reaktoren für Fluid-Feststoff-Reaktionen	249
9.1	Industrielle Verfahren und Reaktoren	249
9.2	Prozessgrundlagen heterogen-gaskatalytischer Reaktionen.....	257
9.2.1	Katalytische Wirkung und Vorgänge am Katalysatorkorn und in der Katalysatorschicht.....	257
9.2.2	Äußerer Stoff- und Wärmeübergang	260
9.2.3	Porendiffusion und Wärmeleitung im Katalysatorkorn	263
9.2.4	Adsorption und Desorption an Katalysatoroberflächen	266
9.2.5	Reaktionskinetik an festen Katalysatoren	268
9.3	Auslegung und Betrieb von Festbettreaktoren	280
9.3.1	Berechnung von Festbettreaktoren.....	280
9.3.2	Festbettkatalytische Mehrstufenreaktoren	302
9.3.3	Spezielle verfahrenstechnische Probleme und Betriebsverhalten von Festbettreaktoren.....	313
9.4	Wirbelschichtreaktoren für gaskatalytische Reaktionen	322
9.4.1	Strömungstechnische Charakteristik der Wirbelschicht.....	323
9.4.2	Vor- und Nachteile von Wirbelschichtreaktoren	329
9.4.3	Berechnung von Wirbelschichtreaktoren	330
10	Reaktoren für Fluid-Fluid-Reaktionen	333
10.1	Industrielle Verfahren und Reaktoren	333
10.2	Stofftransport und chemische Reaktion	338
10.2.1	Stofftransport Gas-Flüssigphase	338
10.2.2	Reaktionskinetik	341
10.3	Prozesstechnik und Reaktorauswahl	345
10.4	Berechnung von Blasensäulenreaktoren	348
10.5	Berechnung von Rührkesseln für Gas-Flüssig-Prozesse.....	360
10.5.1	Kontinuierlich betriebener Gas-Flüssig-Rührkessel im stationären Zustand	361
10.5.2	Halbkontinuierlich betriebener Gas-Flüssig-Rührkessel mit kontinuierlicher Gasdosierung	365
11	Polymerisationsreaktoren	373
11.1	Industrielle Verfahren und Reaktoren	373
11.2	Prozessgrundlagen der Polymerisation	378
11.2.1	Strukturen von Makromolekülen	379
11.2.2	Stöchiometrie und Kinetik der Polymerisation	380
11.2.3	Berechnung ausgewählter Strukturparameter	382
11.3	Prozesstechnik und Reaktorauswahl.....	383

11.4	Berechnung von Polymerisationsreaktoren	386
11.4.1	Diskontinuierlicher Rührkessel	387
11.4.2	Kontinuierlicher Rührkessel	396
12	Elektrochemische Reaktoren	405
12.1	Industrielle Verfahren und Reaktoren	405
12.2	Grundlagen der Berechnung elektrochemischer Reaktoren.....	415
12.2.1	Grundlagen der stofflichen Bilanzierung.....	415
12.2.2	Elektrochemische Thermodynamik und Kinetik	416
12.2.3	Stoff- und Ladungstransport in Elektrolytlösungen.....	419
12.3	Berechnung und Bewertung elektrochemischer Reaktoren	427
12.3.1	Stoffliche Bilanzierung der Reaktorgrundtypen	427
12.3.2	Energetische Bilanzierung	431
13	Photochemische Reaktoren	439
13.1	Industrielle Verfahren und Reaktoren	439
13.2	Grundlagen photochemischer Reaktionsprozesse.....	443
13.2.1	Geschwindigkeit photochemischer Reaktionen.....	443
13.2.2	Zusammenhang zwischen Quantenstrom und Strahlerleistung	445
13.3	Berechnung photochemischer Reaktoren	446
	Symbolverzeichnis	451
	Literaturverzeichnis	461
	Stichwortverzeichnis	467