

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen

1	Die chemische Industrie	3
1.1	Was ist Technische Chemie?	4
1.2	Chemiewirtschaft	5
	Weiterführende Literatur	10
2	Vom Rohstoff zur Endchemikalie	11
2.1	Verbundstruktur der chemischen Industrie	12
2.2	Wert-, Koppel- und Nebenprodukte	14
2.3	Ein typischer Produktstammbaum	16
	Weiterführende Literatur	20
3	Vom Laborversuch zur chemischen Anlage	21
3.1	Grundlagen der Maßstabsvergrößerung	22
3.2	Versuchs- und Produktionsanlagen	26
3.2.1	Chargenbetrieb oder kontinuierliche Verfahren?	26
3.2.2	Mehrzweckanlagen	27
3.2.3	Miniplants, Mikroplants und Containermodule	28
3.2.4	Pilotanlagen	31
	Weiterführende Literatur	34
4	Physikalisch-chemische Grundlagen I: Gleichgewichte und Thermodynamik	35
4.1	Enthalpie	36
4.2	Chemisches Gleichgewicht	39
4.3	Phasengleichgewicht	44
4.3.1	Nicht ideales Phasenverhalten	45
4.3.2	Phasenverhalten von Gemischen	46
4.3.3	Ideale und nicht ideale Mischungen	48
	Weiterführende Literatur	52
5	Physikalisch-chemische Grundlagen II: Kinetik und Transportprozesse ..	53
5.1	Bedeutung der Kinetik	54
5.1.1	Reaktionsgeschwindigkeit	54
5.1.2	Konzentrationsverläufe	56
5.1.3	Kinetik reversibler Reaktionen	58
5.1.4	Kinetik heterogen katalysierter Reaktionen	59
5.2	Wärme- und Stofftransport	62
5.2.1	Wärmetransport	64
5.2.2	Stofftransport durch Diffusion	66
5.2.3	Stoffdurchgang	67
	Weiterführende Literatur	71

II Reaktions- und Trenntechnik

6	Chemische Reaktoren	75
6.1	Bedeutung des Reaktors	76
6.2	Leistung des Reaktors	77
6.3	Ideale Reaktoren	78
6.4	Leistungsberechnung idealer Reaktoren	81
6.5	Nicht ideale Reaktoren	86
6.6	Technische Reaktoren	89
	Weiterführende Literatur	94
7	Thermische Trennverfahren I (Destillation und Rektifikation)	97
7.1	Einfache Destillation	98
7.2	Relative Flüchtigkeit in unterschiedlichen Stoffsystemen	101
7.3	Rektifikation	103
7.4	Bilanzierung und grafische Auslegung der Rektifikation	104
7.5	Praktische Durchführung der Rektifikation	108
7.5.1	Rücklaufverhältnis	108
7.5.2	Funktion und Wirkungsgrad praktischer Böden	109
7.5.3	Füllkörper und Strukturpackungen	110
7.5.4	Konkreter Aufbau der Apparate und Betrieb der Rektifikation	112
7.6	Trennung von Azeotropen	113
7.6.1	Zweidruckrektifikation	113
7.6.2	Extraktivrektifikation	114
7.6.3	Azeotroprektifikation	115
	Weiterführende Literatur	117
8	Thermische Trennverfahren II (Absorption, Extraktion u. a.)	119
8.1	Übersicht über thermische Trennverfahren	120
8.2	Absorption	120
8.3	Extraktion	123
8.3.1	Flüssig-flüssig-Extraktion	123
8.3.2	Phasengleichgewichte	126
8.3.3	Bilanzierung und Stufenkonstruktion im Dreiecksdiagramm	127
8.3.4	Extraktionsapparate	129
8.3.5	Anwendungen der Flüssig-flüssig-Extraktion	130
8.3.6	Lösungsmittelanforderungen	131
8.4	Adsorption	132
8.5	Weitere Trennverfahren	134
8.5.1	Kristallisation	134
8.5.2	Trocknung	134
8.5.3	Membranverfahren	134
	Weiterführende Literatur	135

9	Mechanische Verfahren	137
9.1	Übersicht über mechanische Verfahren	138
9.2	Mischen	138
9.2.1	Rühren	138
9.2.2	Wellendichtungen für Rührer	140
9.2.3	Scherkräfte beim Mischen	141
9.3	Pumpen und Verdichter	142
9.3.1	Kolben- und Membranpumpen	142
9.3.2	Kreiselpumpen	143
9.3.3	Ventilatoren, Gebläse, Verdichter und Vakuumpumpen	145
9.4	Sedimentieren, Zentrifugieren und Filtrieren	146
9.4.1	Prinzip dieser Trennverfahren	146
9.4.2	Filtrationsapparate	147
	Weiterführende Literatur	150
10	Fließbilder	151
10.1	Typen von Fließbildern	152
10.1.1	Grundfließbild	152
10.1.2	Verfahrensfließbild	152
10.1.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild (RI-Fließbild)	154
10.2	Normsymbole für Fließbilder	156
10.3	Konkreter Aufbau von Chemieanlagen im RI-Fließbild	158
10.3.1	Apparate und Rohrleitungen	158
10.3.2	Armaturen für Chemieanlagen	159
10.3.3	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) im RI-Fließbild	160
10.3.4	Beispiele für Messgrößen	160
10.3.5	Messdatenverarbeitung	163
10.3.6	Regeleinrichtungen	164
10.3.7	Beispiele für die MSR-Technik im RI-Fließbild	165
	Weiterführende Literatur	167
 III Verfahrensentwicklung		
11	Verfahrensauswahl	171
11.1	Allgemeine Kriterien für die Verfahrensauswahl	172
11.2	Beispiel: Acrylsäure	172
11.2.1	Historische Synthesen der Acrylsäure	173
11.2.2	Heutige Synthesen der Acrylsäure	174
11.2.3	Zukünftige Synthesen der Acrylsäure?	177
11.2.4	Acrylsäure und ihre Verwendung	180
	Weiterführende Literatur	182
12	Heterogene Katalyse	185
12.1	Grundlagen der Katalyse	186
12.2	Heterogene Katalysatoren	188

12.3	Die Ammoniaksynthese	191
12.3.1	Entwicklung	191
12.3.2	Rohstoffe und Anwendung	193
12.3.3	Thermodynamik und Kinetik	195
12.3.4	Ammoniaksynthesereaktor	196
12.3.5	Ammoniaksyntheseanlage	197
	Weiterführende Literatur	199
13	Homogene Übergangsmetallkatalyse	201
13.1	Grundlagen der homogenen Übergangsmetallkatalyse	202
13.2	Die Hydroformylierung (Oxosynthese)	207
13.2.1	Der Mechanismus	207
13.2.2	Die Katalysatoren	209
13.2.3	Die Verfahren	211
13.2.4	Die Alkene	212
13.2.5	Die Aldehyde	213
13.3	Industriell bedeutsame Homogenkatalysen	213
13.4	Neue Trends in der Homogenkatalyse	215
	Weiterführende Literatur	218

IV Chemische Prozesse

14	Fossile Rohstoffe und Basischemikalien	221
14.1	Fossile Rohstoffe	222
14.1.1	Erdgase und ihre chemische Verwendung	222
14.1.2	Kohle und ihre chemische Verwendung	225
14.2	Erdöl – der wichtigste fossile Rohstoff der chemischen Industrie	227
14.3	Die Konversion des Erdöles in der Raffinerie	229
14.3.1	Der Cracker	230
14.3.2	Der Hydrocracker	231
14.3.3	Der Reformer	232
14.4	Der Steamcracker	233
	Weiterführende Literatur	238
15	Technische Chemie der Alkene und Aromaten	239
15.1	Verwendung des Ethens	240
15.1.1	Polyethylen	240
15.1.2	Vinylchlorid	242
15.1.3	Ethylenoxid und Ethylenglykol	243
15.1.4	Ethanol	244
15.1.5	Ethanal (Acetaldehyd)	245
15.1.6	α -Olefine (1-Alkene)	246
15.2	Verwendung des Propens	247
15.2.1	Polypropylen	248
15.2.2	Propylenoxid	249
15.2.3	Acrylnitril	251
15.2.4	Isopropanol	251

15.3	Verwendung des Benzols	252
15.3.1	Styrol	252
15.3.2	Phenol	253
15.3.3	Alkylbenzolsulfonate	254
15.3.4	Zwischenprodukte für Polyamide: Adipinsäure und ε-Caprolactam	255
15.3.5	Anilin	256
15.4	Verwendung der Xylole	257
	Weiterführende Literatur	260
16	Organische Endprodukte	261
16.1	Übersicht	262
16.2	Die wichtigsten Kunststoffe	262
16.3	Die technische Herstellung von Polymeren	266
16.4	Polystyrol	269
	Weiterführende Literatur	274
17	Organische Feinchemikalien	275
17.1	Definitionen	276
17.2	Übersicht	276
17.3	Pharmaka	279
17.4	Beispiel 1: L-Dopa	280
17.5	Beispiel 2: Vitamin C	282
	Weiterführende Literatur	286
18	Nachwachsende Rohstoffe	287
18.1	Was sind nachwachsende Rohstoffe?	288
18.2	Fette und Öle	289
18.2.1	Oleochemie	291
18.2.2	Glycerinchemie	294
18.3	Der Rohstoff Holz	295
18.4	Kohlenhydrate	297
18.4.1	Cellulose (Zellstoff)	297
18.4.2	Stärke	300
18.4.3	Chitin und Chitosan	301
18.4.4	Zucker	301
18.5	Pflanzliche Sekrete und Extrakte	303
	Weiterführende Literatur	305
19	Elektrochemische Verfahren	307
19.1	Energieformen in chemischen Reaktionen	308
19.2	Grundprinzip elektrochemischer Reaktionen	308
19.3	Elektrochemische Reaktionstechnik	309
19.4	Herstellung von Chlor und Natronlauge (Chlor-Alkali-Elektrolyse)	312
19.4.1	Industrielle Bedeutung von Chlor und Natronlauge	312
19.4.2	Prinzip der Chlor-Alkali-Elektrolyse	313
19.4.3	Diaphragmaverfahren	314
19.4.4	Amalgamverfahren	315
19.4.5	Membranverfahren	316

19.4.6	Membranverfahren mit Sauerstoffverzehrkatode (SVK)	317
19.4.7	Chlor-Sauerstoff-Verbindungen	319
19.5	Energiewende und Wasserstoffwirtschaft	319
19.5.1	Speicherung elektrischer Energie, Redox-Flow-Batterien	319
19.5.2	Wasserstoffherstellung	320
19.6	Herstellung von Metallen	325
19.6.1	Raffinationselektrolyse	325
19.6.2	Schmelzflusselektrolysen	326
19.7	Organische Elektrosynthese	327
	Weiterführende Literatur	329
20	Wertschöpfung in der chemischen Industrie	331
20.1	Was ist Wertschöpfung?	332
20.2	Geldströme im Unternehmen	333
20.2.1	Einnahmen	333
20.2.2	Kosten	333
20.2.3	Controlling	335
20.3	Steuerung eines Unternehmens	336
20.3.1	Ziele in Unternehmen	336
20.3.2	Analyse von Umwelt und Unternehmen	337
20.3.3	Strategieentwicklung	339
20.4	Entscheidungsfindung in der chemischen Industrie	341
20.4.1	Von der Idee zum Prozess	341
20.4.2	Kostenschätzung für die Anschaffung einer Anlage	343
20.4.3	Kostenschätzung für die Herstellkosten einer Acrylsäureanlage	345
	Weiterführende Literatur	347
	Serviceteil	349
	Antworten zu den „Quickies“	350
	Stichwortverzeichnis	367