

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage	XI
Vorwort	XII
1 Grundlagen Verfahrenstechnik	1
1.1 Unit Operations.....	1
1.2 Thermische und mechanische Trennverfahren.....	4
1.3 Thermische und physikalisch-chemische Trennverfahren	6
2 Überblick über Thermische Trennverfahren	13
2.1 Absorption und Desorption.....	13
2.1.1 Absorption	13
2.1.2 Desorption.....	20
2.2 Extraktion	22
2.2.1 Flüssig-Flüssig-Extraktion.....	24
2.2.2 Fest-Flüssig-Extraktion.....	28
2.2.3 Hochdruckextraktion	32
2.3 Adsorption, Ionenaustausch, Chromatographie	35
2.3.1 Adsorption	35
2.3.2 Ionenaustausch.....	44
2.3.3 Chromatographie	46
2.4 Membranverfahren.....	47
2.4.1 Mikro- und Ultrafiltration	50
2.4.2 Umkehrosmose	51
2.4.3 Pervaporation	53
2.4.4 Gaspermeation	54
2.4.5 Dialyse	56
2.4.6 Elektrodialyse	57
2.5 Destillation.....	59
2.6 Rektifikation	67
2.7 Kristallisation.....	73

3	Reine Stoffe und Stoffgemische	77
3.1	Reine Stoffe	77
3.1.1	Gase	79
3.1.2	Flüssigkeiten	81
3.1.3	Feststoffe	85
3.2	Gemische	87
4	Phasengleichgewicht	95
4.1	Grundlagen der Gleichgewichtsberechnung	95
4.2	Gibbssche Phasenregel	98
4.3	Phasengleichgewicht Gasphase-Flüssigphase	99
4.3.1	Gleichgewicht für Absorption	103
4.3.2	Gleichgewicht für Destillation und Rektifikation	112
4.4	Phasengleichgewicht Flüssigphase-Flüssigphase	119
4.4.1	Vollständige Unlöslichkeit von Trägerstoff und Extraktionsmittel	119
4.4.2	Teilweise Löslichkeit von Trägerstoff und Extraktionsmittel	123
4.5	Phasengleichgewicht unter Beteiligung einer Feststoffphase	132
4.5.1	Adsorption	132
4.5.2	Fest-Flüssig-Extraktion	139
4.5.3	Kristallisation	140
5	Stoffaustauschapparate	143
5.1	Betriebsformen	143
5.2	Aufgabe von Stoffaustauschapparaten	145
5.3	Stoffaustauschapparate für den Stoffaustausch zwischen gasförmiger und flüssiger Phase	147
5.3.1	Dispergierung der flüssigen Phase	148
5.3.2	Dispergierung der Gasphase	151
5.3.3	Gas und Flüssigkeit als zusammenhängende Phasen	159
5.4	Stoffaustauschapparate für den Stoffaustausch zwischen zwei flüssigen Phasen	171
5.4.1	Anforderungen an Flüssig/Flüssig-Stoffaustauschapparate	171
5.4.2	Mixer-Settler	173
5.4.3	Zentrifugalextraktoren	175
5.4.4	Kolonnen ohne äußere Energiezufuhr	175
5.4.5	Kolonnen mit äußerer Energiezufuhr	177
5.5	Stoffaustauschapparate unter Beteiligung einer festen Phase	182
5.5.1	Diskontinuierlich betriebene Fest/Fluid-Stoffaustauschapparate	182
5.5.2	Kontinuierlich betriebene Fest/Fluid-Stoffaustauschapparate	185
5.5.3	Kristallisatoren	186

5.6	Stoffaustauschapparate unter Beteiligung einer Membran	188
6	Bilanz	193
6.1	Grundlagen der Bilanzierung	193
6.2	Allgemeine Bilanzgleichungen	195
6.2.1	Stoffbilanz	195
6.2.2	Energie- und Wärmebilanz	198
6.3	Bilanz- oder Arbeitslinie	201
6.4	Bilanzlinie für Absorption	202
6.4.1	Grundsätzliches	202
6.4.2	Bilanzlinie für Gleichstromoperationen	204
6.4.3	Bilanzlinie für Kreuzstromoperationen	208
6.4.4	Bilanzlinie für Gegenstromoperationen	210
6.5	Bilanzlinie für Adsorption	217
6.6	Bilanzlinie für Extraktion	219
6.6.1	Bilanzlinie im Y_m, X_m -Beladungsdiagramm	219
6.6.2	Bilanzlinie im Dreiecksdiagramm	222
6.7	Bilanz für Destillation	238
6.7.1	Diskontinuierliche einfache Destillation	238
6.7.2	Kontinuierliche einfache Destillation	241
6.7.3	Rektifikation	243
6.8	Bilanz für Kristallisation	261
6.8.1	Lösungseindampfung	261
6.8.2	Kristallisation	264
7	Theorie der theoretischen Trennstufen	269
7.1	Theoretische Trennstufe	269
7.2	Stufenmodell für Absorption	271
7.3	Stufenmodell für Adsorption	280
7.4	Stufenmodell für Rektifikation	281
7.4.1	Stufenkonstruktion	281
7.4.2	Zulaufboden	281
7.4.3	Azeotroprektifikation	284
7.5	Stufenmodell für Extraktion	288
7.5.1	Stufenmodell im Y_m, X_m -Beladungsdiagramm	288
7.5.2	Stufenmodell im Dreiecksdiagramm	290
7.6	Praktische Stufenzahl	294
7.6.1	Praktische Stufenzahl für Bodenkolonnen	294
7.6.2	Praktische Stufenzahl für Füllkörper und Packungen	298

8	Stofftransport	305
8.1	Berechnung der Kolonnenhöhe	305
8.2	Grundlagen des Stofftransports	306
8.3	Diffusion.....	309
8.4	Stofftransport zwischen Phasen	313
8.4.1	Modellvorstellungen für den Stofftransport.....	313
8.4.2	Stoffübergang	314
8.4.3	Stoffdurchgang	317
8.5	HTU/NTU-Modell.....	322
8.5.1	HTU/NTU-Modell für einseitigen Stofftransport	323
8.5.2	HTU/NTU-Modell für äquimolaren Stofftransport	327
8.5.3	Bestimmung des NTU-Werts.....	328
8.5.4	Bestimmung des HTU-Werts.....	337
8.5.5	Stoffübergangskoeffizienten	341
8.5.6	HTU/NTU-Modell für Chemisorption.....	345
8.6	Stofftransport bei Adsorption.....	349
8.6.1	Filmtheorie bei der Adsorption	349
8.6.2	Adsorption im Partikelbett.....	353
8.7	Stofftransport bei Membrantrennverfahren	362
8.7.1	Kenngrößen	362
8.7.2	Porenmembranen	364
8.7.3	Porenfreie Membranen	365
9	Fluiddynamik	371
9.1	Strömung in Stoffaustauschapparaten.....	371
9.1.1	Strömungszustände	371
9.1.2	Strömungsbeeinflussung durch Einbauten.....	373
9.1.3	Gegenstrom in Stoffaustauschapparaten mit Einbauten	375
9.2	Grundlagen Druckverlust.....	379
9.2.1	Kenngrößen von Einbauten	379
9.2.2	Bernoulli-Gleichung	381
9.3	Hydrodynamische Kolonnenauslegung	383
9.3.1	Gas-Flüssigkeitsströmungen.....	383
9.3.2	Flüssig-Flüssig-Strömungen	400
9.3.3	Fluid-Feststoff-Strömungen.....	419
9.4	Druckverlust	420
9.4.1	Gas-Flüssigkeitsströmungen.....	420
9.4.2	Fluid-Feststoff-Strömungen.....	426

10	Regeneration	431
10.1	Absorption	431
10.1.1	Regeneration durch Entspannung	433
10.1.2	Regeneration durch Temperaturerhöhung	433
10.1.3	Regeneration durch Strippung	433
10.1.4	Regeneration durch Fällung	438
10.1.5	Keine Regeneration des Absorbats	438
10.1.6	Kombination von Regenerationsmöglichkeiten	439
10.2	Extraktion	440
10.2.1	Rektifikation	440
10.2.2	Rektifikation mit anschließender Strippung	442
10.2.3	Reextraktion	443
10.2.4	Kristallisation	444
10.2.5	Membrantrennverfahren	444
10.2.6	Extraktion ohne Regeneration	444
10.3	Adsorption	445
10.3.1	Spülen mit unbeladenem Fluid	446
10.3.2	Temperaturwechselverfahren	447
10.3.3	Druckwechselverfahren	452
10.3.4	Verdrängungsdesorption	453
10.3.5	Extraktion mit Lösungsmitteln	454
10.3.6	Thermische Reaktivierung	455
10.3.7	Entsorgung des beladenen Adsorbts	455
	Formelzeichen	457
	Literaturverzeichnis	463
	Stichwortverzeichnis	466