

Inhalt

Vorwort zur 2. Auflage	XI
Vorwort	XI
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 Thermische Trennverfahren	11
2.1 Absorption und Desorption.....	11
2.1.1 Absorption	11
2.1.2 Desorption.....	17
2.2 Extraktion	19
2.2.1 Flüssig-Flüssig-Extraktion.....	21
2.2.2 Fest-Flüssig-Extraktion.....	24
2.2.3 Hochdruckextraktion	27
2.3 Adsorption, Ionenaustausch, Chromatographie	30
2.3.1 Adsorption	30
2.3.2 Ionenaustausch.....	35
2.3.3 Chromatographie	37
2.4 Membranverfahren.....	38
2.4.1 Mikro- und Ultrafiltration.....	40
2.4.2 Umkehrosmose	41
2.4.3 Pervaporation.....	43
2.4.4 Gaspermeation	44
2.4.5 Dialyse	44
2.4.6 Elektrodialyse	46
2.5 Destillation.....	48
2.6 Rektifikation	55
2.7 Kristallisation.....	60

3	Reine Stoffe und Stoffgemische	65
3.1	Reine Stoffe	65
3.1.1	Gase	67
3.1.2	Flüssigkeiten	69
3.1.3	Feststoffe	72
3.2	Gemische	74
4	Phasengleichgewichte	81
4.1	Grundlagen der Gleichgewichtsberechnung	81
4.2	Gibbssche Phasenregel	84
4.3	Phasengleichgewicht Gasphase-Flüssigphase	85
4.3.1	Gleichgewicht für Absorption	88
4.3.2	Gleichgewicht für Destillation und Rektifikation	97
4.4	Phasengleichgewicht Flüssigphase-Flüssigphase	102
4.4.1	Vollständige Unlöslichkeit von Trägerstoff und Extraktionsmittel	103
4.4.2	Teilweise Löslichkeit von Trägerstoff und Extraktionsmittel	106
4.5	Phasengleichgewicht unter Beteiligung einer Feststoffphase	114
4.5.1	Adsorption	115
4.5.2	Fest-Flüssig-Extraktion	121
4.5.3	Kristallisation	121
5	Stoffaustauschapparate	125
5.1	Betriebsformen	125
5.2	Aufgabe von Stoffaustauschapparaten	127
5.3	Stoffaustauschapparate für den Stoffaustausch zwischen gasförmiger und flüssiger Phase	129
5.3.1	Dispergierung der flüssigen Phase	130
5.3.2	Dispergierung der Gasphase	133
5.3.3	Gas und Flüssigkeit als zusammenhängende Phasen	138
5.4	Stoffaustauschapparate für den Stoffaustausch zwischen zwei flüssigen Phasen	146
5.4.1	Anforderungen an Flüssig/Flüssig-Stoffaustauschapparate	146
5.4.2	Mixer-Settler	148
5.4.3	Zentrifugalextraktoren	150
5.4.4	Kolonnen ohne äußere Energiezufuhr	150
5.4.5	Kolonnen mit äußerer Energiezufuhr	152
5.5	Stoffaustauschapparate unter Beteiligung einer festen Phase	157
5.5.1	Diskontinuierlich betriebene Fest/Fluid-Stoffaustauschapparate	157
5.5.2	Kontinuierlich betriebene Fest/Fluid-Stoffaustauschapparate	159
5.6	Stoffaustauschapparate unter Beteiligung einer Membran	161

6	Bilanz	165
6.1	Grundlagen der Bilanzierung.....	165
6.2	Allgemeine Bilanzgleichungen.....	167
6.2.1	Stoffbilanz.....	167
6.2.2	Energie- und Wärmebilanz.....	169
6.3	Bilanz- oder Arbeitslinie.....	172
6.4	Bilanzlinie für Absorption.....	173
6.4.1	Grundsätzliches.....	173
6.4.2	Bilanzlinie für Gleichstromoperationen.....	174
6.4.3	Bilanzlinie für Kreuzstromoperationen.....	178
6.4.4	Bilanzlinie für Gegenstromoperationen.....	180
6.5	Bilanzlinie für Adsorption.....	186
6.6	Bilanzlinie für Extraktion.....	188
6.6.1	Bilanzlinie im Y_m, X_m -Beladungsdiagramm.....	188
6.6.2	Bilanzlinie im Dreiecksdiagramm.....	191
6.7	Bilanz für Destillation.....	207
6.7.1	Diskontinuierliche einfache Destillation.....	207
6.7.2	Kontinuierliche einfache Destillation.....	209
6.7.3	Rektifikation.....	212
6.8	Bilanz für Kristallisation.....	228
6.8.1	Lösungseindampfung.....	228
6.8.2	Kristallisation.....	231
7	Theorie der theoretischen Trennstufen	235
7.1	Theoretische Trennstufe.....	235
7.2	Stufenmodell für Absorption.....	237
7.3	Stufenmodell für Adsorption.....	244
7.4	Stufenmodell für Rektifikation.....	245
7.4.1	Stufenkonstruktion.....	245
7.4.2	Zulaufboden.....	246
7.4.3	Azeotroprektifikation.....	249
7.5	Stufenmodell für Extraktion.....	253
7.5.1	Stufenmodell im Y_m, X_m -Beladungsdiagramm.....	253
7.5.2	Stufenmodell im Dreiecksdiagramm.....	254
7.6	Praktische Stufenzahl.....	258
7.6.1	Praktische Stufenzahl für Bodenkolonnen.....	259
7.6.2	Praktische Stufenzahl für Füllkörper und Packungen.....	262

8	Stofftransport	269
8.1	Berechnung der Kolonnenhöhe	269
8.2	Grundlagen des Stofftransports	270
8.3	Diffusion.....	273
8.4	Stofftransport zwischen Phasen.....	277
8.4.1	Modellvorstellungen für den Stofftransport.....	277
8.4.2	Stoffübergang	278
8.4.3	Stoffdurchgang	280
8.5	HTU/NTU-Modell.....	285
8.5.1	HTU/NTU-Modell für einseitigen Stofftransport.....	286
8.5.2	HTU/NTU-Modell für äquimolaren Stofftransport	290
8.5.3	Bestimmung des NTU-Werts.....	291
8.5.4	Bestimmung des HTU-Werts.....	299
8.5.5	Stoffübergangskoeffizienten	302
8.5.6	HTU/NTU-Modell für Chemisorption.....	306
8.6	Stofftransport bei Adsorption.....	310
8.6.1	Filmtheorie bei der Adsorption.....	310
8.6.2	Adsorption im Partikelbett.....	314
8.7	Stofftransport bei Membrantrennverfahren	322
8.7.1	Kenngrößen	322
8.7.2	Porenmembranen.....	324
8.7.3	Porenfreie Membranen	325
9	Fluiddynamik	331
9.1	Strömung in Stoffaustauschapparaten.....	331
9.1.1	Strömungszustände.....	331
9.1.2	Strömungsbeeinflussung durch Einbauten.....	333
9.1.3	Gegenstrom in Stoffaustauschapparaten mit Einbauten	334
9.2	Grundlagen Druckverlust.....	338
9.2.1	Kenngrößen von Einbauten	338
9.2.2	Bernoulli-Gleichung.....	340
9.3	Hydrodynamische Kolonnenauslegung	342
9.3.1	Gas-Flüssigkeitsströmungen.....	342
9.3.2	Flüssig-Flüssig-Strömungen	359
9.3.3	Fluid-Feststoff-Strömungen.....	377
9.4	Druckverlust	377
9.4.1	Gas-Flüssigkeitsströmungen.....	377
9.4.2	Fluid-Feststoff-Strömungen.....	384

10	Regeneration	389
10.1	Absorption	389
10.1.1	Regeneration durch Entspannung	391
10.1.2	Regeneration durch Temperaturerhöhung	391
10.1.3	Regeneration durch Strippping	391
10.1.4	Regeneration durch Fällung	396
10.1.5	Keine Regeneration des Absorbats	396
10.1.6	Kombination von Regenerationsmöglichkeiten	397
10.2	Extraktion	398
10.2.1	Rektifikation	398
10.2.2	Rektifikation mit anschließender Strippping	400
10.2.3	Reextraktion	401
10.2.4	Kristallisation	401
10.2.5	Membrantrennverfahren	401
10.2.6	Extraktion ohne Regeneration	401
10.3	Adsorption	403
10.3.1	Spülen mit unbeladenem Fluid	403
10.3.2	Temperaturwechselverfahren	405
10.3.3	Druckwechselverfahren	409
10.3.4	Verdrängungsdesorption	410
10.3.5	Extraktion mit Lösungsmitteln	411
10.3.6	Thermische Reaktivierung	412
10.3.7	Entsorgung des beladenen Adsorbts	412
	Formelzeichen	413
	Literaturverzeichnis	419
	Stichwortverzeichnis	423