
Inhaltsverzeichnis

1	Planung von Destillations- und Absorptionskolonnen	1
1.1	Planungshinweise	1
1.2	Mengenbilanz für die gegebene Aufgabenstellung	5
1.3	Trennbedingungen	6
1.4	Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewicht	7
1.4.1	Ideal nach Raoult-Dalton	7
1.4.2	Gleichgewichtsmodelle für unpolare Stoffe mit Berücksichtigung des unidealen Verhaltens in der Flüssigphase basierend auf Reinstoffdaten	7
1.4.3	Gleichgewichtsmodelle für polare Komponenten mit stark unidealem Verhalten in der Flüssigphase	8
1.5	Energie- und Mengenbilanz in der Kolonne	8
1.5.1	Mengenbilanz	8
1.5.2	Energiebilanz	13
1.6	Auswahl der Kolonneneinbauten	19
1.7	Kondensatoren	20
1.8	Reboiler	20
1.9	Vakuumpumpen	20
1.10	Regelmöglichkeiten	24
1.11	Beheizungssysteme mit Dampf oder organischen Wärmeträgern	30
1.11.1	Wärmeübergangszahlen	30
1.11.2	Dampfbeheizung	30
1.11.3	Beheizung mit flüssigen organischen Wärmeträgern	31
1.12	Kühlsysteme	34
1.12.1	Kühlwasserkreislaufsysteme	34
1.12.2	Vergleich zwischen Kühlturm und Luftkühler für die Kühlwasserkühlung	34
1.12.3	Kühlwasserkühlung durch verdampfende Kältemittel oder adiabates Verdampfen	36
1.12.4	Direktkondensation in Kolonnen	37
	Literatur	39

2 Gleichgewichte – Siede- und Taupunkte – Flashberechnungen –	
Aktivitätskoeffizienten	41
2.1 Dampfdruckermittlung	41
2.2 Phasengleichgewicht idealer Binärgemische	41
2.3 Siedepunktsberechnung	46
2.4 Taupunktsberechnung	48
2.5 Taupunktsberechnung inertgashaltiger Dämpfe	49
2.6 Tau- und Siedelinien idealer Binärgemische	51
2.7 Siede- und Taupunkt bei ineinander unlöslichen Gemischen	52
2.8 Flash-Berechnungen für ideale Binärgemische	54
2.9 Berechnung des Gleichgewichts und der Siede- und Taupunkttemperaturen von idealen Vielstoffgemischen	60
2.10 Flashberechnungen für ideale Mehrstoffgemische	64
2.11 Phasengleichgewicht nichtidealer Binärgemische	67
2.12 Berechnung der Aktivitätskoeffizienten	73
2.12.1 Nach Wilson für mischbare Komponenten	73
2.12.2 Nach NRTL für Komponenten mit Mischungslücke	76
2.12.3 Nach Uniquac für Stoffe mit Mischungslücke	77
2.12.4 Kritischer Vergleich der nach verschiedenen Modellen berechneten Aktivitätskoeffizienten	78
2.13 Siedepunkt, Taupunkt und Flashtrennung für nichtideale Binärgemische	80
2.14 Nichtideale Mehrstoffgemische	82
Literatur	87
3 Fraktionierung von Binärgemischen	89
3.1 Materialbilanz	89
3.2 Gleichgewichte Dampf – Flüssigkeit	91
3.2.1 Gleichgewichte idealer Gemische	91
3.2.2 Gleichgewichte nicht idealer Gemische	94
3.3 Berechnung von Mindest-Bodenzahl und Mindest-Rücklaufverhältnis ...	96
3.4 Umrechnung von der Mindestbodenzahl auf die praktische Bodenzahl ...	98
3.5 Bestimmung des Einsatzbodens nach Kirkbride	99
3.6 Graphische Bodenzahlbestimmung nach McCabe-Thiele	99
3.7 Rechnerische Bodenzahlbestimmung nach McCabe-Thiele	103
3.8 Boden zu Boden – Rechnung mit den Mengen und dem Trennfaktor ...	107
3.9 Analytische Berechnung nach Smoker	110
3.10 Thermischer Zustand des Einsatzes	111
3.11 Kolonnenbelastung im Verstärkungs- und Abtriebsteil	114
3.12 Auslegungsdaten für die Kolonneneinbauten	116
3.13 Fraktionierung nicht idealer Zweistoffgemische	119
Literatur	125

4	Berechnung von Mehrkomponenten-Fraktionieranlagen	127
4.1	Basisdaten für die Auslegung	128
4.1.1	Mengenbilanz für die Trennaufgabe	128
4.1.2	Berechnung des mittleren Trennfaktors α für ideale Gemische mit $\gamma = 1$	128
4.1.3	Komponentenverteilung entsprechend den Trennfaktoren	130
4.2	Short-Cut-Methoden für ideale Mehrstoffgemische	132
4.2.1	Berechnung der Mindestbodenzahl N_{\min} für die vorgegebene Komponenten-verteilung nach Fenske	132
4.2.2	Ermittlung der Komponentenverteilung bei der Mindestbodenzahl N_{\min}	132
4.2.3	Bestimmung des Mindestrücklaufverhältnisses nach Underwood	133
4.2.4	Umrechnung auf die reale Bodenzahl beim realen Rücklaufverhältnis R	133
4.2.5	Ermittlung des Einsatzbodens nach Kirkbride	134
4.3	Dampf- und Flüssigkeitsbelastung der Kolonne	134
4.4	Berechnung der Konzentrationen auf den theoretischen Böden	146
4.5	Fraktionierung von nicht idealen Vielstoffgemischen	151
	Literatur	157
5	Extraktiv- und Azeotrop-Destillation	159
5.1	Extraktivdestillation	159
5.2	Azeotrop-Destillation	161
5.2.1	Hetero-Azeotrop-Destillation	163
5.2.2	Schleppmittel-Destillation	164
5.3	Dekantermengenbilanz	167
	Literatur	170
6	Diskontinuierliche Blasen-Destillation	171
6.1	Differentialverdampfung	171
6.2	Blasenrektifikation	174
6.3	Technische Ausrüstung	181
6.4	Blasen-Stripper	188
	Literatur	191
7	Wasserdampfdestillation	193
7.1	Berechnungen der Wasserdampfdestillation	194
7.2	Erforderlichen Strippdampfmenge	196
7.2.1	Strippdampfbedarf für eine Flüssigphase mit 2 Freiheitsgraden ...	196
7.2.2	Strippdampfbedarf für 2 Flüssigphasen mit 1 Freiheitsgrad	202

7.3	Auslegung des Dekanters zur Trennung der beiden Flüssigphasen	205
7.3.1	Berechnung der Tropfenabsetzgeschwindigkeiten	205
7.3.2	Dimensionierung des Dekanters	206
7.3.3	Einstellung der Phasenhöhen im Dekanter	209
7.4	Auslegung des Dampfverteilers für den Strippdampf	211
7.5	Auslegungsbeispiel	214
7.5.1	Erforderliche Strippdampfmenge mit dem Wirkungsgrad $\eta = 0,75$	214
7.5.2	Heizdampfbedarf zum Aufheizen von 24 auf 84 °C und das Verdampfen des Toluols	215
7.5.3	Auslegung des Verdampfers	216
7.5.4	Kontrolle auf Mitreissen von Tropfen	216
7.5.5	Auslegung des Kondensators für 450 kg/h Toluol und 150 kg/h Strippdampf	216
7.5.6	Auslegung des Dekanters	217
7.5.7	Auslegung des Strippdampfverteilers	218
	Literatur	219
8	Auslegung von Absorptions- und Desorptionskolonnen	221
8.1	Gleichgewichte zur Auslegung von Absorptions- und Desorptionskolonnen	221
8.1.1	Physikalisches Gleichgewicht	221
8.1.2	Chemisches Gleichgewicht	231
8.2	Berechnung der erforderlichen Stoffübergangseinheiten NTU_{OG} und NTU_{OL} mit der Steigung der Gleichgewichtslinie m für geradlinige Gleichgewichts- und Bilanzlinien	235
8.3	Berechnung der erforderlichen Stoffübergangseinheiten NTU_{OG} bzw. NTU_{OL} mit der logarithmischen Partialdruck- oder Konzentrationsdifferenz	237
8.3.1	Erforderliche gaseitige Stoffübergangseinheiten NTU_{OG} für die Absorption	237
8.3.2	Berechnung der flüssigkeitsseitigen Stoffübergangseinheiten NTU_{OL} für die Desorption	238
8.4	Berechnung der erforderlichen theoretischen Stufen NT für die Absorption und Desorption	239
8.4.1	Ermittlung der theoretischen Stufen NT für eine Absorption	240
8.4.2	Berechnung der theoretischen Stufen NT für eine Desorption	240
8.5	Umrechnungen der benötigten Stoffübergangseinheiten NTU_{OG} und NTU_{OL} auf die erforderliche Anzahl theoretischer Böden NT und umgekehrt	241
8.6	Ermittlung der erforderlichen Füllkörperhöhe $H_{Füll}$	242

8.7	Berechnung der Füllkörperhöhe mit der Stoffdurchgangszahl k_{Ga}	243
8.8	Bestimmung der benötigten theoretischen Böden und der Konzentrationen auf den Böden für geradlinige Gleichgewichts- und Bilanzlinien	244
8.8.1	Bestimmung der benötigten idealen Bodenzahl n_{id} mit Bodenwirkungsgrad $\eta_B = 1$ für die Absorption	244
8.8.2	Berechnung der benötigten realen Bodenzahl n_{real} mit dem Bodenwirkungsgrad $\eta_V < 1$ für die Absorption	246
8.8.3	Bestimmung der benötigten idealen Bodenzahl n_{id} mit $\eta_L = 1$ für die Desorption	247
8.8.4	Berechnung der Zahl der benötigten theoretischen Böden mit dem Wirkungsgrad $\eta_L < 1$ für die Desorption	248
8.9	Graphische Bodenzahlbestimmung für Absorption und Desorption	249
8.10	Vorgehensweise beim Auslegen von Wäschern und Strippern für geradlinige Gleichgewichts- und Bilanzlinien	256
8.10.1	Auslegen von Absorptionsanlagen	256
8.10.2	Auslegen einer Desorptions-/Stripperkolonne für lineare Gleichgewichts- und Bilanzlinien	267
8.11	Luftstripper für die Wasserreinigung	271
8.12	Dampfstripper	276
8.12.1	Funktionsbeschreibung	276
8.12.2	Dampfstripper zum Ausstrippen nicht wasserlöslicher Komponenten aus Wasser	279
8.12.3	Dampfstrippen nicht wasserlöslicher Stoffe mit Rücklauf der Wasserphase	284
8.13	Vergleich von Luft- und Dampfstrippern	290
8.14	Ammoniak – Stripper	293
8.15	Sauggasstripper	299
	Literatur	305
9	Fluiddynamische Auslegung von Bodenkolonnen und Bodenwirkungsgrad	307
9.1	Fluiddynamische Auslegungskriterien	307
9.1.1	Erforderlicher Strömungsquerschnitt für die Dämpfbelastung ...	311
9.1.2	Erforderlicher Downcomerquerschnitt für den Flüssigkeitsablauf	316
9.1.3	Erforderlicher Kolonnendurchmesser D_K	320
9.1.4	Fluten und Durchregnen in einer Bodenkolonne	321
9.1.5	Druckverlustberechnungen	325
9.2	Bodenwirkungsgrad von Querstromböden	332
	Literatur	338

10 Fluiddynamische Auslegung von Füllkörpern/Packungen und Ermittlung der HTU-/HETP-Werte	339
10.1 Füllkörperkolonnen	339
10.1.1 Berechnungsmethoden für den Druckverlust in Füllkörperschüttungen	345
10.1.2 Berechnung der HTU - und HETP - Werte	348
10.2 Kolonnen mit strukturierter Packung	367
Literatur	373
11 Auslegung von Tropfenabscheidern	375
11.1 Wozu benötigt man Tropfenabscheider?	376
11.2 Tropfenabscheidung in Schwerkraft-, Drahtgestrick- und Lamellenabscheidern'	376
11.2.1 Zulässige Gas-Strömungsgeschwindigkeiten	380
11.2.2 Flüssigkeitskapazität	383
11.3 Vertikale Tropfenabscheider	383
11.4 Horizontale Tropfenabscheider	385
11.5 Auswahlkriterien und Dimensionierung	389
11.5.1 Dimensionierung der Abscheider	392
11.6 Tropfenabscheidung bei hohen Drücken	392
11.7 Nebelabscheidung in Faserfiltern oder durch Tropfenvergrößerung	400
11.7.1 Nebelabscheidung in Faserfiltern	401
11.7.2 Tropfenvergrößerung durch Kondensation	401
Literatur	403
Anhang: Berechnung der Fallgeschwindigkeit von Tropfen in Luft oder Gas	405