

## Inhaltsübersicht

Häufig benützte Formelzeichen . . . . .	XIV
Allgemeine Literaturübersicht . . . . .	XVI
Kapitel 1: Allgemeine Grundlagen (P. GRASSMANN)	
1.1 Mechanische und thermische Verfahrenstechnik . . . . .	1
1.2 Erhaltungssätze und Bilanzgleichungen . . . . .	3
1.3 Exergiebilanzen . . . . .	6
1.4 Konzentrationsmaße . . . . .	10
1.5 Absatzweiser und kontinuierlicher Betrieb . . . . .	13
1.6 Maßsysteme . . . . .	13
1.7 Einige Hinweise für die Literatursuche. . . . .	15
Kapitel 2: Wärmeaustauscher (E. WEDER)	
2.1 Einleitung . . . . .	17
2.2 Bilanzgleichungen für Gleich-, Gegen- und Kreuzstrom . . . . .	18
2.3 Wärmeübergang und Wärmedurchgang . . . . .	18
2.4 Einführung dimensionsloser Kennzahlen . . . . .	21
2.5 Gebrauchsformeln und Diagramme für den Wärmeübergang und den Druckverlust . . . . .	23
2.6 Wirtschaftlichkeit . . . . .	27
2.7 Konstruktives und Sonderbauarten . . . . .	29
2.7.1 Rohrbündelwärmeaustauscher . . . . .	29
2.7.2 Sonderbauarten (ohne Rohrbündel) . . . . .	31
2.7.3 Einige allgemeine Richtlinien zur Konstruktion von Wärmeaustauschern . . . . .	34
2.8 Beheizte Gefäße . . . . .	34
2.8.1 Wasserdampf als Heizmittel . . . . .	34
2.8.2 Induktionsheizung . . . . .	35
2.8.3 Dielektrische Heizung . . . . .	35
2.9 Wärmeübertragungsmittel . . . . .	35
Kapitel 3: Verdampfer und Kondensatoren (E. WEDER)	
3.1 Der Wärmeübergang beim Verdampfen . . . . .	39
3.2 Bauarten von Verdampfern . . . . .	45
3.3 Der Wärmeübergang beim Kondensieren . . . . .	47
3.4 Bauarten von Kondensatoren . . . . .	50

## Kapitel 4: Grundlagen der Trennprozesse (F. WIDMER)

4.1	Definitionen	53
4.2	Gasgemische	53
4.3	Die reversible Trennarbeit idealer Gasgemische	55
4.4	Aggregatzustandsänderungen reiner Stoffe	58
4.5	Lösungen	59
4.5.1	Das RAOULTsche Gesetz	59
4.5.2	Anwendung auf ideal verdünnte Salzlösungen	59
4.5.3	Mischungswärme	61
4.6	Enthalpie-Konzentrationsdiagramme	62
4.6.1	Das Hebelgesetz und die Mischungsgerade	63
4.6.2	Der Verlauf der Isothermen in der flüssigen und in der gasförmigen Phase	64
4.6.3	Der Verlauf der Isothermen im Zweiphasengebiet, Gleichgewichtsverhalten	65

## Kapitel 5: Zerlegung von Gemischen durch Verdampfen (E. WEDER)

5.1	Eindampfen und Verdampfen wässriger Lösungen	67
5.1.1	Darstellung im $h, w$ -Diagramm und Berechnung der Wärmemengen	67
5.1.2	Wärmeökonomie, Brüdenverdichtung, Mehrfacheffekt	72
5.2	Destillation	75
5.2.1	Zur Theorie der Lösungen	75
5.2.2	Die offene Destillation	79

## Kapitel 6: Rektifikation (E. WEDER)

6.1	Einführung	83
6.2	Die Bilanzgeraden im McCABE-THIELE-Diagramm	87
6.2.1	Die Verstärkungsgerade	87
6.2.2	Die Abtriebsgerade	90
6.3	Die Bodenkolonne	91
6.3.1	Der Glocken- und der Siebboden	91
6.3.2	Die Zahl der theoretischen Böden	94
6.3.3	Das Verstärkungsverhältnis	95
6.3.4	Die Flüssigkeitsführung und Sonderbauarten von Rektifizierböden	98
6.3.5	Das Mindestrücklaufverhältnis	100
6.3.6	Berechnung einer vollständigen, stetig arbeitenden Bodenkolonne	101
6.3.7	Berechnung im $h, w$ -Diagramm	105
6.3.8	Der Druckabfall eines Bodens	113
6.3.9	Kolonnenquerschnitt und Bodenabstand	115

<b>6.4</b>	<b>Die Füllkörperkolonne</b>	118
6.4.1	Einführung	118
6.4.2	HETP, NTU, HTU und Kolonnenhöhe	120
6.4.3	Der Druckabfall und die Belastungsverhältnisse in Füllkörperkolonnen	122
<b>6.5</b>	<b>Rektifikation unter erschwerten Bedingungen</b>	125
6.5.1	Vakuum- und Wasserdampfrektifikation	125
6.5.2	Dreistoffrektifikation	129
6.5.3	Mehrstoffrektifikation	129
6.5.4	Zugabe weiterer Komponenten zur Veränderung der Gleichgewichtskurve und die extraktive Rektifikation	130

### Kapitel 7: Absorption und Gaswaschung (F. WIDMER)

<b>7.1</b>	<b>Einleitung und Definitionen</b>	133
<b>7.2</b>	<b>Grundlegende Beziehungen, Bilanzgerade</b>	133
<b>7.3</b>	<b>Allgemeine Anforderungen an ein Waschmittel</b>	135
<b>7.4</b>	<b>Phasengleichgewichte</b>	136
7.4.1	Phasengleichgewichte von physikalisch lösenden Waschmitteln	137
7.4.2	Phasengleichgewichte von chemisch wirkenden Waschmitteln	139
7.4.3	Literaturangaben über Gleichgewichtsdaten	141
<b>7.5</b>	<b>Stoffaustauschvorgänge</b>	141
7.5.1	Zweifilmtheorie	142
7.5.2	Turbulenztheorien	146
<b>7.6</b>	<b>Aufnahme der Absorptionswärme</b>	149
<b>7.7</b>	<b>Berechnung der theoretischen Bodenzahl <math>n_{th}</math></b>	150
<b>7.8</b>	<b>Bestimmung der Kolonnenhöhe von Füllkörperkolonnen</b>	153
7.8.1	Zahl und Höhe von Übergangseinheiten	155
<b>7.9</b>	<b>Wahl des Durchmessers von Absorptionskolonnen</b>	157
7.9.1	Füllkörperkolonnen	157
7.9.2	Bodenkolonnen	158
<b>7.10</b>	<b>Absorbertypen</b>	158
7.10.1	Oberflächen- und Dünnschichtabsorber	158
7.10.2	Füllkörperkolonnen	159
7.10.3	Gasblasenwäscher (Bodenkolonnen)	160
7.10.4	Apparate mit Flüssigkeitszerstäubung	160
<b>7.11</b>	<b>Regeneration des Lösungsmittels</b>	161
7.11.1	Regeneration durch Austreiben im inerten Gasstrom	161
7.11.2	Regeneration durch Entspannen	163
7.11.3	Regeneration durch Auskochen	164
7.11.4	Beispiel eines Regenerationsprozesses	164
<b>7.12</b>	<b>Bemerkungen zur Betriebsweise von Absorptionsanlagen</b>	165

## Kapitel 8: Extraktion (F. WIDMER)

8.1	Definitionen und Anwendungen . . . . .	169
8.1.1	Anwendung der Flüssig-Flüssig-Extraktion . . . . .	169
8.2	Gleichgewichte von Flüssig-Flüssig-Systemen . . . . .	170
8.3	Durchführung der Extraktion . . . . .	174
8.3.1	Absatzweise Extraktion . . . . .	174
8.3.2	Kontinuierliche Gegenstromextraktion . . . . .	176
8.4	Wahl des Extraktionsmittels . . . . .	177
8.5	Berechnung der Gegenstromextraktion unter vereinfachenden Annahmen . . . . .	180
8.6	Verfeinerte Berechnung der Gegenstromextraktion unter Berücksichtigung der gegenseitigen Löslichkeit von Abgeber und Aufnehmer . . . . .	182
8.7	Bestimmung der Höhe von Füllkörperkolonnen . . . . .	187
8.8	Wahl der dispersen und der kontinuierlichen Phase . . . . .	189
8.9	Extraktionsapparate . . . . .	190
8.9.1	Mischer-Abscheider . . . . .	190
8.9.2	Sprühkolonnen . . . . .	191
8.9.3	Füllkörperkolonnen . . . . .	191
8.9.4	Bodenkolonnen . . . . .	193
8.9.5	Rührkolonnen . . . . .	194
8.9.6	Extraktoren . . . . .	197
8.9.7	Auswahl der geeigneten Extraktionseinrichtung . . . . .	198
8.10	Längsmischung in Flüssig-Flüssig Extraktions-Kolonnen . . . . .	198
8.10.1	Stufenmodell . . . . .	201
8.10.2	Backflow-Modell . . . . .	201
8.10.3	Dispersionsmodell . . . . .	203
8.11	Beispiele von Extraktionsprozessen . . . . .	204
8.11.1	Entfernung von Merkaptanen aus Kohlenwasserstoffen . . . . .	204
8.11.2	Reinigung von Rohcaprolactam . . . . .	205

## Kapitel 9: Adsorption und Ionenaustausch (H. H. SCHICHT)

9.1	Allgemeines . . . . .	208
9.2	Adsorption . . . . .	208
9.2.1	Der Adsorptionsvorgang, Sorptionsisothermen . . . . .	208
9.2.2	Die technischen Adsorbentien . . . . .	211
9.2.3	Molekularsiebe . . . . .	212
9.2.4	Die Adsorption aus der Gasphase . . . . .	213
9.2.5	Die Adsorption aus der flüssigen Phase . . . . .	215
9.2.6	Chromatographie . . . . .	215
9.3	Ionenaustausch . . . . .	215

## Kapitel 10: Trocknung fester Stoffe (H. H. SCHICHT)

10.1	Einleitung, Definitionen . . . . .	218
10.2	Der feuchte Körper . . . . .	219
10.2.1	Die Arten der Feuchtigkeitsbindung . . . . .	219
10.2.2	Die Bewegung der Feuchtigkeit im Gut . . . . .	220
10.3	Das feuchte Gas . . . . .	223
10.3.1	Das $h$ , X-Diagramm nach MOLLIER . . . . .	223
10.3.2	Zur Anwendung des $h$ , X-Diagrammes nach MOLLIER . . . . .	224
10.4	Die Wärmeübertragung an das feuchte Gut. . . . .	228
10.4.1	Konvektionstrocknung. . . . .	228
10.4.2	Kontakttrocknung . . . . .	229
10.4.3	Strahlungstrocknung . . . . .	230
10.4.4	Trocknung durch im Gut gespeicherte Wärme (adiabate Vakuum-trocknung) . . . . .	231
10.4.5	Dielektrische Trocknung . . . . .	231
10.5	Der Verlauf der Trocknung . . . . .	232
10.5.1	Der erste Trocknungsabschnitt . . . . .	232
10.5.2	Der Knickpunkt . . . . .	233
10.5.3	Der zweite Trocknungsabschnitt . . . . .	234
10.5.4	Der dritte Trocknungsabschnitt . . . . .	235
10.5.5	Der Trocknungsverlauf unter technischen Bedingungen . . . . .	236
10.6	Die technischen Trockner . . . . .	236
10.6.1	Konvektionstrockner . . . . .	237
10.6.2	Kontakttrockner . . . . .	242
10.7	Die Gefrieretrocknung . . . . .	244
10.8	Kriterien zur Auswahl des optimalen Trocknungsverfahrens . . . . .	245

## Kapitel 11: Kristallisation (H. H. SCHICHT/G. SCHÜTZ)

11.1	Allgemeines . . . . .	248
11.2	Definitionen und Grundbegriffe . . . . .	248
11.3	Löslichkeit und Überlöslichkeit . . . . .	249
11.4	Die Keimbildung . . . . .	252
11.5	Das Kristallwachstum . . . . .	255
11.6	Kristalltracht, Dendriten und Whiskers . . . . .	258
11.7	Lösungs- und Kristallisationsenthalpie . . . . .	259
11.8	Kristallisatoren . . . . .	260
11.8.1	Verdampfungskristallisatoren . . . . .	260
11.8.2	Kühlungskristallisatoren . . . . .	261
11.8.3	Vakuumkristallisatoren . . . . .	262

<b>11.9</b>	<b>Fraktionierte Kristallisation</b>	<b>263</b>
11.9.1	Gegenstrom-Verfahren mit Rücklauf	264
11.9.2	Andere Verfahren	266
<b>11.10</b>	<b>Weitere Kristallisationsverfahren</b>	<b>267</b>
11.10.1	Adduktive Kristallisation	267
11.10.2	Züchtung großer Einkristalle	268
11.10.3	Höchstdruckkristallisation	268
11.10.4	Kristallisation mittels Transportreaktionen	268

**Kapitel 12: Verschiedene Trennverfahren (H. H. SCHICHT)**

<b>12.1</b>	<b>Sonderverfahren zur Isotopentrennung</b>	<b>269</b>
12.1.1	Die Kaskadentheorie	269
12.1.2	Physikalische Verfahren der Isotopentrennung	272
12.1.3	Chemische und elektrochemische Verfahren der Isotopen-trennung	274
<b>12.2</b>	<b>Elektrophorese</b>	<b>275</b>
<b>12.3</b>	<b>Umgekehrte Osmose oder Hyperfiltration</b>	<b>275</b>
<b>12.4</b>	<b>Dialyse und Elektrodialyse</b>	<b>276</b>

**Kapitel 13: Verweilzeit und Verweilzeitspektrum (H. H. SCHICHT)**

<b>13.1</b>	<b>Verweilzeitspektrum und mittlere Verweilzeit</b>	<b>278</b>
<b>13.2</b>	<b>Die Übergangsfunktion</b>	<b>284</b>
<b>13.3</b>	<b>Die Frequenzgangdarstellung des Verweilzeitverhaltens</b>	<b>286</b>
<b>13.4</b>	<b>Verweilzeitverhalten und Längsvermischung</b>	<b>286</b>

**Kapitel 14: Das chemische Gleichgewicht (G. SCHÜTZ)**

<b>14.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>288</b>
<b>14.2</b>	<b>Das Massenwirkungsgesetz</b>	<b>288</b>
<b>14.3</b>	<b>Anwendungen des Massenwirkungsgesetzes</b>	<b>290</b>
<b>14.4</b>	<b>Anwendung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische Reaktionen.</b>	<b>293</b>
<b>14.5</b>	<b>Entropieänderungen bei chemischen Reaktionen und der NERNSTSche Wärmesatz.</b>	<b>296</b>
<b>14.6</b>	<b>Reversible Arbeit chemischer Reaktionen</b>	<b>297</b>
<b>14.7</b>	<b>Die Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten</b>	<b>298</b>

<b>Kapitel 15: Reaktionskinetik (G. SCHÜTZ)</b>	
15.1 Einleitung . . . . .	300
15.2 Molekularität der Reaktionen . . . . .	301
15.3 Reaktionsordnung . . . . .	303
15.4 Die Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeitskonstanten . . . . .	307
15.5 Zusammengesetzte Reaktionen . . . . .	311
15.6 Polymerisationen . . . . .	316
15.7 Explosionen . . . . .	317
15.8 Heterogene Reaktionen . . . . .	320
15.9 Die Katalyse . . . . .	324
<b>Kapitel 16: Reaktoren (G. SCHÜTZ)</b>	
16.1 Einleitung . . . . .	327
16.2 Einteilung der Reaktoren . . . . .	327
16.3 Chargenweiser und kontinuierlicher Betrieb (Satzbetrieb und Fließbetrieb) . . . . .	329
16.4 Die drei Stufen der Reaktionskinetik . . . . .	330
16.5 Dimensionierung von Reaktoren . . . . .	331
16.5.1 Der homogene, instationäre Rührkessel . . . . .	333
16.5.2 Der homogene, stationäre Rührkessel . . . . .	334
16.5.3 Die Rührkesselkaskade . . . . .	335
16.5.4 Das Reaktionsrohr . . . . .	338
16.6 Wärmeumsatz und Stabilität von Reaktoren . . . . .	341
16.7 Rückführungen . . . . .	344
16.8 Der Einfluß des Druckabfalls und des Verweilzeitspektrums . . . . .	345
<b>Lösungen zu den Aufgaben</b> . . . . .	347
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	369
<b>Register</b> . . . . .	378