

	Seite
Chemie und Umwelt	11
Sicherheit im Chemiebetrieb	12
Einführung in die Chemietechnik	14
Entwicklung eines Produktionsverfahrens	17

I Die Chemianlage 18

1 Rohrleitungen	19
1.1 Die Nennweite DN	19
1.2 Der Nenndruck PN	20
1.3 Rohre für Rohrleitungen	21
1.4 Rohrverbindungen	23
1.5 Werkstoffe für Rohrleitungen	26
1.6 Rohrbefestigungen	28
1.7 Kennzeichnung von Rohrleitungen	28
1.8 Rohrdehnungsausgleich	30
1.9 Rohrisolierungen	31
1.10 Grafische Darstellung der Rohrleitungen	32
2 Armaturen	34
2.1 Schieber, Klappen, Hähne	34
2.2 Ventile	35
2.2.1 Absperr- und Regelventile	35
2.2.2 Stellantriebe für Armaturen	37
2.2.3 Geregelte Ventile	38
2.2.4 Darstellung der Armaturen im R & I-Fließbild	38
2.3 Rohrleitungs-Einbauscheiben	38
2.4 Rückflussverhinderer	39
2.5 Sicherheitsventile	40
2.6 Berstsicherungen	41
2.7 Druckminderventile (Druckminderer)	42
2.8 Kondensatableiter	43
2.9 Entlüfter	45
2.10 Schmutzfänger	45
3 Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen	46
3.1 Volumenstrom, Massenstrom, Strömungsgeschwindigkeit	46
3.2 Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	47
3.3 Druckänderung bei der Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	47
3.4 Innere Reibung, Viskosität	48
3.5 Strömungsarten	49
3.6 Druckverlust in Rohrleitungen	50
3.7 Rohrleitungskennlinie	51
3.8 Druckverlauf in Rohrleitungen	52
4 Fördern von Flüssigkeiten	53
4.1 Übersicht der Förderarten	53
4.2 Fördern mit Pumpen	54
4.3 Kreiselpumpen	54
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	54
4.3.2 Pumpenlaufräder	55
4.3.3 Kreiselpumpen-Bauarten	56
4.3.4 Wellenabdichtung bei Kreiselpumpen	57
4.3.5 Kreiselpumpenanlage	57

Verzeichnis

	Seite
4.3.6 Sonderbauarten von Kreiselpumpen	58
4.3.7 Einsatz von Kreiselpumpen	58
4.3.8 Seitenkanalpumpe	59
4.3.9 Propellerpumpe	59
4.4 Betriebsverhalten von Kreiselpumpen	60
4.4.1 Förderstrom und Förderhöhe einer Pumpe	60
4.4.2 Förderhöhe einer Anlage	60
4.4.3 Leistungsbedarf und Wirkungsgrad einer Pumpe	61
4.4.4 Kennlinien einer Kreiselpumpe	61
4.4.5 Anlagenkennlinie	61
4.4.6 Betriebspunkt einer Kreiselpumpe	62
4.4.7 Zusammenschalten von Pumpen	62
4.4.8 Kennfelder von Kreiselpumpen	63
4.4.9 Kavitation bei Kreiselpumpen	63
4.4.10 Berechnung des kavitationsfreien Pumpenbetriebs, NPSH-Wert	64
4.4.11 Anfahren und Abschalten von Kreiselpumpen	66
4.5 Hubkolbenpumpen	67
4.5.1 Aufbau und Arbeitsweise von Hubkolbenpumpen	67
4.5.2 Merkmale und Verwendung	68
4.6 Kolben-Membranpumpen	68
4.7 Umlaufkolbenpumpen	69
4.7.1 Schraubenspindelpumpen	69
4.7.2 Exzentrerschneckenpumpen	69
4.7.3 Zahnradpumpen	69
4.7.4 Impellerpumpen	70
4.7.5 Schlauchpumpen	70
4.8 Strahlpumpe	70
4.9 Übersicht: Eigenschaften und Einsatzgebiete von Pumpen	71
4.10 Dosieren von Flüssigkeiten	72
4.11 Dosieren und Abfüllen durch Molchen	72
5 Fördern und Verdichten von Gasen	75
5.1 Gesetzmäßigkeiten bei Zustandsänderungen einer Gasportion	75
5.2 Vorgänge beim Verdichten von Gasen	77
5.3 Fördereinrichtungen und Verdichter für Gase	77
5.4 Hubkolbenverdichter	78
5.5 Rotationskolbenverdichter	80
5.6 Turboverdichter	81
5.7 Gebläse	82
5.8 Ventilatoren	82
6 Erzeugung von Unterdruck (Vakuumtechnik)	84
6.1 Flüssigkeitsringvakuumumpen	84
6.2 Treibmittelvakuumumpen	85
6.3 Kombinierte Strahlpumpensysteme	85
6.4 Rotationsverdränger-Vakuumumpen	86
6.5 Diffusionsvakuumumpen	88
6.6 Turbo-Molekularpumpen	88
6.7 Einsatz der geeigneten Vakuumpumpe	88
6.7.1 Abpumpen von trockenen Gasen	89
6.7.2 Abpumpen von dampfhaltigen Gasen	89

Inhaltsverzeichnis

	Seite
7 Fördern von Feststoffen	90
7.1 Mechanische Schüttgutförderer	90
7.2 Pneumatische Schüttgutförderer	93
7.3 Schüttgutdosierer	94
7.4 Förderanlagen für Stückgut	95
7.5 Unstetigförderer	96
7.6 Handhabung von Schüttgütern und Stückgut	97
8 Lagereinrichtungen in Chemieanlagen	99
8.1 Lager für Schüttgüter	99
8.2 Stückgutlagerung	100
8.3 Lagern von Flüssigkeiten	101
8.4 Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten	104
8.5 Lagerung von Gasen	105
9 Maschinen und Apparate	108
9.1 Elektromotoren und Getriebe	108
9.2 Rührbehälter (Rührkessel)	109
9.3 Zerkleinerungsmaschinen	110
9.4 Filtrierapparate	110
9.5 Wärmetauscher	111
9.6 Rektifikationskolonnen	111
10 Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	112
10.1 Grundfließbild	112
10.2 Verfahrensfließbild	113
10.3 Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild (R&I-Fließbild)	115
10.4 Beispiele von R&I-Fließbildern technischer Anlagen	116
10.5 Grafische Symbole in Fließbildern verfahrenstechnischer Anlagen	118
11 Betrieb und Instandhaltung chemischer Anlagen	122
11.1 Betrieb einer Chemieanlage	122
11.2 Instandhaltung einer Chemieanlage	122
11.2.1 Wartung	122
11.2.2 Inspektionen	125
11.2.3 Instandsetzung	126
12 Sicherheit von Chemieanlagen	127
12.1 Betriebssicherheitsverordnung	127
12.2 Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	128
13 Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	132
13.1 Gefährliche Arbeitsbereiche	132
13.2 Brand- und Explosionsschutz	134
13.2.1 Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	134
13.2.2 Vermeiden von Bränden und Explosionen	135
13.2.3 Brandbekämpfung und Brandschutz	135
13.3 Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	136
13.3.1 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	136
13.3.2 R-Sätze und S-Sätze	137
13.4 Arten von Gefahrstoffen	138
13.4.1 Ätzende Stoffe	138
13.4.2 Ätz- und Reizgase	139
13.4.3 Atemgifte	139
13.4.4 Erstickende Gase	139

	Seite
13.4.5 Lösemittel und giftige Flüssigkeiten	140
13.4.6 Feste Giftstoffe	140
13.4.7 Langzeit-Schadstoffe	141
13.4.8 Arbeitsplatzgrenzwerte der Arbeitsstoffe	142
13.5 Vermeiden von Gesundheitsschäden durch physikalische Einwirkungen	143
13.5.1 Lärmschutz	143
13.5.2 Strahlenschutz	143

II Elektrotechnik im Chemiebetrieb 144

1 Elektrotechnische Grundlagen	144
1.1 Anwendungen der Elektrizität	144
1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik	145
1.3 Elektrische Grundgrößen	146
1.4 Ohm'sches Gesetz	147
1.5 Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	148
1.6 Elektrische Schaltung von Verbrauchern	149
1.7 Messen elektrischer Größen	150
1.8 Stromarten	151
2 Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	152
2.1 Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	152
2.2 Elektrische Installation und Anschlüsse	153
2.3 Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	154
2.4 Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	155
2.5 Gefahren durch den elektrischen Strom	155
2.6 Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	156
2.7 Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	156
3 Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen	157
3.1 Elektromotoren	157
3.1.1 Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	157
3.1.2 Gleichstrommotoren	160
3.1.3 Motorschutzarten	162
3.2 Getriebe für Elektromotoren	162
3.2.1 Keilriemengetriebe	162
3.2.2 Zahnrädergetriebe	163
3.2.3 Kurvenscheiben-Getriebe	164
3.2.4 Stufenscheibengetriebe	165
3.2.5 Umschlingungsgetriebe	165
4 Elektrochemische Grundlagen	166
4.1 Galvanische Elemente	166
4.2 Elektrolyse	168
4.2.1 Elektrolyse wässriger Lösungen	168
4.2.2 Faraday'sche Gesetze	169
4.2.3 Technische Elektrolyse-Verfahren	169

III Elemente in Maschinen und Apparaten 171

1 Elemente für drehende Bewegungen	171
1.1 Wellen, Achsen, Bolzen	171
1.2 Zahnräder	172
1.3 Welle-Nabe-Verbindungen	173
1.4 Wellenkupplungen	174

	Seite
2 Lager	175
2.1 Gleitlager	175
2.2 Wälzlager	175
3 Dichtungen	176
3.1 Dichtungen an nicht bewegten Flächen	176
3.2 Wellendichtungen	176
4 Fügeteile für Maschinen und Apparate	178
4.1 Schraubenverbindungen	178
4.2 Schraubenarten	179
4.3 Muttern	180
4.4 Schraubensicherungen	180
4.5 Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern	180
4.6 Stifte	180
5 Deckelverschlüsse	181
6 Schweiß- und Lötverbindungen	182
6.1 Lichtbogenhandschweißen (E-Schweißen)	182
6.2 Schutzgas-Schweißen (SG-Schweißen)	182
6.3 Gasschmelzschweißen	183
6.4 Löten	183
7 Hydrauliksysteme in Maschinen	184
8 Pneumatik im Chemiebetrieb	186

IV Werkstofftechnik für Chemieranlagen 188

1 Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe	188
2 Eigenschaften der Werkstoffe	190
2.1 Physikalische Eigenschaften	190
2.2 Mechanische Eigenschaften	191
2.3 Chemisch-technologische Eigenschaften	192
2.4 Fertigungstechnische Eigenschaften	193
2.5 Umweltverträglichkeit	193
3 Stähle	194
3.1 Baustähle für mechanische Beanspruchung	194
3.2 Baustähle für mechanische und thermische Belastung	197
3.3 Baustähle für chemische Belastung: Die nichtrostenden Stähle	198
3.4 Werkzeugstähle	200
4 Gusseisen und Stahlguss	202
4.1 Gusseisen	202
4.2 Stahlguss	203
5 Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	204
5.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	204
5.2 Kupfer und Kupferlegierungen	205
5.3 Nickel-Werkstoffe	206
5.4 Titan (Ti)	207
5.5 Blei (Pb)	207
5.6 Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	208
5.7 Zink (Zn)	208
5.8 Zinn (Sn)	208
6 Korrosion und Korrosionsschutz	209
6.1 Chemische Korrosion	209
6.2 Elektrochemische Korrosion	209
6.3 Korrosionsarten und ihr Erscheinungsbild	211

6.4	Korrosionsbeständigkeit der metallischen Werkstoffe _____	213
6.5	Auswahl geeigneter Werkstoffe _____	213
6.6	Korrosionsschutzmaßnahmen _____	216
6.6.1	Korrosionsschutzanstriche _____	216
6.6.2	Zinkbeschichtungen _____	216
6.6.3	Korrosionsschutz von Apparaten aus nichtrostenden Stählen _____	217
6.6.4	Verminderung der Aggressivität des einwirkenden Stoffes _____	217
6.6.5	Vermeidung von Korrosionsstellen _____	217
6.6.6	Katodischer Korrosionsschutz von Stahl-Bauteilen _____	218
6.6.7	Korrosionsschutz von Al-Bauteilen _____	218
7	Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb _____	219
7.1	Fehlerortung in Chemieanlagen _____	219
7.2	Korrosionsüberwachung _____	221
8	Kunststoffe _____	222
8.1	Eigenschaften und Verwendung _____	222
8.2	Technologische Einteilung _____	222
8.3	Thermoplastische Kunststoffe _____	223
8.4	Duroplastische Kunststoffe _____	224
8.5	Elastomere _____	225
8.6	Beständigkeitsverhalten und Alterung der Kunststoffe _____	226
8.7	Verarbeitung von Kunststoffen _____	226
9	Verbundwerkstoffe _____	227
10	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe _____	228
10.2	Chemieapparate-Email _____	228
10.3	Keramische Werkstoffe _____	229
10.4	Chemisch beständige Ausmauerungen _____	229
10.5	Grafit und Kohlewerkstoffe _____	229
11	Schmierstoffe _____	230
11.1	Schmieröle _____	230
11.2	Schmierfette _____	231
11.3	Feste Schmierstoffe _____	231

V Messtechnik in Chemieanlagen 232

1	Temperaturmessung _____	234
1.1	Temperaturskalen _____	234
1.2	Mechanische Temperaturmessgeräte _____	235
1.3	Temperaturmessgeräte mit elektrischem Ausgangssignal _____	236
2	Druckmessung _____	238
2.1	Definition, Einheiten, Umrechnung _____	238
2.2	Druckarten _____	238
2.3	U-Rohr-Manometer _____	239
2.4	Federmanometer _____	239
2.5	Drucksensoren _____	240
2.6	Druckdifferenzmessung _____	241
2.7	Druckmittler, Druckwächter _____	241
2.8	Besonderheiten der Druckmessung _____	242
3	Füllstandsmessung _____	244
3.1	Füllstandsmessgeräte für Flüssigkeiten _____	244
3.1.1	Mechanische Füllstandsmessgeräte _____	244
3.1.2	Hydrostatische Füllstandsmessung _____	245
3.1.3	Ultraschall-Füllstandsmessung _____	246
3.1.4	Kapazitive Füllstandsmessung _____	246

Inhaltsverzeichnis

	Seite
3.1.5 Füllstandsmessung mit Radar _____	247
3.2 Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten _____	247
3.3 Füllstandsmessgeräte und Grenzscharter für Schüttgüter _____	248
3.4 Rauminhalte von Behältern _____	250
3.5 Gasmengenbestimmung in Tanks _____	251
4 Durchflussmessung und Mengenmessung _____	252
4.1 Durchflussmesser _____	253
4.1.1 Schwebekörper-Durchflussmesser _____	253
4.1.2 Durchflussmesser mit Messblende _____	253
4.1.3 Wirbel-Durchflussmesser _____	254
4.1.4 Schwingungs-Durchflussmesser _____	254
4.1.5 Ultraschall-Durchflussmesser _____	255
4.1.6 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser _____	255
4.1.7 Coriolis-Massedurchflussmesser _____	256
4.1.8 Thermischer Durchflussmesser _____	256
4.1.9 Turbinenrad-Durchflussmesser _____	257
4.1.10 Flügelrad-Durchflussmesser _____	257
4.2 Mengenmesser für strömende Fluide _____	257
4.3 Strömungsanzeiger und Durchflusswächter _____	259
5 Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige _____	260
6 Darstellung und Benennung von Messstellen _____	263

VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften 264

1 Probenahme _____	264
1.1 Probenahme von Flüssigkeiten _____	265
2.1 Probenahme von Feststoffen _____	265
2 Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen _____	266
2.1 Bestimmen der Masse _____	266
2.2 Bestimmender Dichte _____	268
2.3 Bestimmen der Feuchtigkeit _____	269
2.4 Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern _____	270
2.4.1 Probenahme _____	270
2.4.2 Siebanalyse _____	271
2.4.3 Auswertung der Siebanalyse _____	272
2.4.4 RRSB-Körnungsnetz _____	274
3 Messung der Eigenschaften und Bestandteilen von Flüssigkeiten _____	276
3.1 Messung der Dichte von Flüssigkeiten _____	276
3.2 Viskositätsmessung _____	277
3.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit _____	278
3.4 Messung des pH-Werts _____	278
3.5 Messung des Redox-Potentials _____	279
3.6 Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung _____	280
3.6 Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser _____	281
3.7 Messung der Trübung in Flüssigkeiten _____	281
4 Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten _____	282
4.1 Chromatografische Analyse _____	282

	Seite
4.2 Analyse mit Sensoren	283
4.2.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren	283
4.2.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	284
4.2.3 Katalytische Wärmetönungs-Sensoren	284
4.2.4 Elektrochemische Sensoren	284
4.2.5 Technische Gasanalysegeräte	285
5 Messung von Luftbestandteilen	285
5.1 Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe	285
5.2 Explosionsgrenzen	285
5.3 Luftfeuchtigkeitsmessung	286
5.4 Rauch- und Staubkonzentrations- messung	286
6 Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	287
6.1 Qualitätsmanagement	287
6.2 Qualitätsmanagementsysteme	287
6.3 Werkzeuge der Qualitätssicherung	289
6.3.1 Checklisten	289
6.3.2 Histogramme	289
6.3.3 Verteilungskurve und statistische Kennwerte	290
6.3.4 Ishikawa-Diagramm	291
6.3.5 Fehlersammelkarte	291
6.3.6 Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	292
6.3.7 Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	292

VII Aufbereitungstechnik 295

1 Zerkleinern von Feststoffen	296
1.1 Physikalische Grundlagen	296
1.2 Zerkleinerungsverfahren	297
1.3 Brecher	298
1.4 Mühlen	299
1.5 Schneidmühlen, Granulatoren	201
1.6 Zerkleinerungsanlagen	301
2 Flüssigkeitszerteilung	302
2.1 Berieseln, Versprühen	303
2.2 Zerstäuben, Verdüsen	303
3 Agglomerieren (Zusammenfügen)	304
3.1 Aufbaugranulieren (Pelletieren)	304
3.2 Formpressen	306
3.3 Sintern	307
4 Mischen (Stoffvereinigen)	308
4.1 Mechanisches Rühren	309
4.1.1 Rührbehälter	309
4.1.2 Rührwerk	311
4.1.3 Rührer	312
4.1.4 Strömungsverhältnisse im Rührbehälter	313
4.1.5 Verfahrenstechnische Operationen durch Rühren	314
4.2 Pneumatisches Rühren	316
4.3 Strömungsmischer	316
4.4 Kneten, Anteigen	318
4.5 Mischen von Feststoffschüttungen	320

1 Wärme – eine Energieart	322
1.1 Wärmeeinheiten	322
1.2 Wärmemengen	322

	Seite
1.3	Umwandlungswärmen _____ 323
1.4	Gesamtwärmemenge _____ 324
1.5	Temperaturen von Mischungen _____ 325
2	Energieträger im Chemiebetrieb _____ 326
2.1	Brennstoffe _____ 326
2.2	Elektrischer Strom _____ 327
2.3	Wasserdampf _____ 328
2.4	Heizflüssigkeiten _____ 330
2.5	Gasförmige und feste Wärmeträger _____ 330
2.6	Kühl- und Kältemittel _____ 330
2.7	Druckluft und Vakuum _____ 331
3	Wärmeübertragung _____ 332
3.1	Physikalische Grundlagen _____ 332
3.2	Wärmeübertragung in der Chemietechnik _____ 333
3.3	Wärmeleitung _____ 333
3.4	Wärmeübergang _____ 334
3.5	Wärmedurchgang _____ 335
3.6	Wärmestrahlung _____ 336
3.7	Stoffführung in Wärmetauschern _____ 337
4	Wärmetauscher _____ 339
4.1	Rohrbündel-Wärmetauscher _____ 339
4.2	Rohrschlangen-Wärmetauscher _____ 340
4.3	Doppelrohr-Wärmetauscher _____ 341
4.4	Spiral-Wärmetauscher _____ 341
4.5	Platten-Wärmetauscher _____ 341
5	Kondensatoren _____ 342
5.1	Oberflächenkondensatoren _____ 342
5.2	Mischkondensatoren _____ 343
6	Heizen und Kühlen von Rührbehältern _____ 344
6.1	Indirekte Wärmeübertragung _____ 344
6.2	Direkte Wärmeübertragung _____ 344
6.3	Heiz-/Kühl-Systeme bei Rührbehältern _____ 345
7	Energieeinsparung bei Wärmeaustausch- verfahren _____ 346
8	Kühlen mit Luft und Rieselwasser _____ 347

IX Mechanische Trennverfahren 350

1	Mechanische Trennverfahren für Feststoff-Gemische _____ 350
1.1	Sortieren _____ 351
1.1.1	Dichtesortieren _____ 351
1.1.2	Flotieren _____ 352
1.1.3	Magnetsortieren _____ 353
1.2	Klassieren _____ 354
1.2.1	Sieben _____ 354
1.2.2	Sichten (Windsichten) _____ 356
1.2.3	Stromklassieren (Hydroklassieren) _____ 358
2	Mechanische Trennverfahren für Feststoff/Flüssigkeits-Gemische _____ 359
2.1	Absetzen, Sedimentieren, Ausflocken _____ 359
2.2	Filtrieren _____ 362
2.2.1	Wirkprinzip _____ 362
2.2.2	Absatzweise betriebene Filterapparate _____ 363
2.2.3	Kontinuierlich arbeitende Filterapparate _____ 365
2.3	Auspressen _____ 367
2.4	Zentrifugieren _____ 368
2.4.1	Wirkprinzip _____ 368
2.4.2	Absatzweise arbeitende Filtrier- zentrifugen _____ 369

	Seite
2.4.3 Kontinuierlich arbeitende Filtrier- zentrifugen	370
2.4.4 Sedimentierzentrifugen	370
2.4.5 Industrielle Zentrifugieranlage	373
3 Mechanische Trennung von Emulsionen	374
3.1 Dekantieren	374
3.2 Zentrifugieren	374
3.3 Ultrafiltration	375

X Entstaubung und Abgasreinigung 376

1 Entstaubung	377
1.1 Mechanische Entstaubung	378
1.2 Nassentstaubung	380
1.3 Filtrationsentstaubung	381
1.4 Elektroentstaubung	382
1.5 Entstaubungsanlage	383
2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeits- tröpfchen	384
3 Abscheidung von Fremdgasen	385
3.1 Fremdgasabscheidung durch Kondensation	385
3.2 Gasreinigung durch Absorption	386
3.3 Gasreinigung durch Adsorption	390
3.4 Gasreinigung durch Dampfpermeation	393
3.5 Katalytische Gasreinigung	394
3.6 Abluftreinigung durch Verbrennung	395

XI Thermische Trennverfahren 396

1 Trocknen	397
1.1 Physikalische Grundlagen	397
1.2 h - X -Diagramm der Trocknung	400
1.3 Trocknungsverfahren	402
1.4 Trockner für Feststoffschüttungen	403
1.5 Trockner für Flüssigkeiten	405
1.6 Vakuumgefriertrocknung	407
1.7 Industrielle Trocknungsanlage	408
2 Thermische Trennung von Lösungen	410
2.1 Verdampfen	410
2.1.1 Physikalische Grundlagen	410
2.1.2 Vorgänge im Verdampfer	411
2.1.3 Verdampferbauarten	412
2.1.4 Verdampferanlagen	414
2.2 Kristallisieren	416
2.2.1 Physikalische Grundlagen	416
2.2.2 Kristallisationsverfahren	417
2.2.3 Kristallisationsapparate	418
2.3 Aussalzen, Ausfällen und Verdünnen	421
2.4 Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)	421
3 Thermische Trennung von Flüssigkeits- gemischen	423
3.1 Physikalische Grundlagen	423
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	423
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeits- gemischen	423
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeits- gemischen	424
3.1.4 Siedediagramm	426
3.1.5 Gleichgewichtsdiagramm	426

Inhaltsverzeichnis

	Seite
3.2 Destillieren _____	427
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation _____	427
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische _____	428
3.2.3 Absatzweise fraktionierte Destillation _____	429
3.2.4 Kontinuierliche einfache Destillation _____	429
3.2.5 Wasserdampfdestillation _____	430
3.3 Rektifizieren _____	431
3.3.1 Vorgänge beim Rektifizieren _____	431
3.3.2 Rektifikationskolonnen mit Austauschböden _____	433
3.3.3 Änderung der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne _____	434
3.3.4 Theoretische Trennstufenzahl _____	435
3.3.5 Bodenwirkungsgrad und erforderliche Anzahl der Austauschböden _____	435
3.3.6 Rücklaufverhältnis _____	436
3.3.7 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen _____	436
3.4 Rektifikationsverfahren _____	438
3.4.1 Absatzweise Rektifikation _____	438
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation _____	439
3.4.3 Arten des Gemischzulaufs _____	440
3.4.4 Bestimmung der Trennstufenzahl in kontinuierlichen Rektifikationskolonnen _____	441
3.5 Rektifizieren von Mehrstoff- und Vielstoffgemischen _____	442
3.6 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische _____	443
3.7 Raffinierung des Erdöls _____	444
3.8 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische _____	446
3.8.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische _____	446
3.8.2 Zweidruck-Rektifikationsverfahren _____	447
3.8.3 Azeotrop-Rektifikation _____	448
3.8.4 Extraktiv-Rektifikation _____	449
3.9 Kombinierte Rektifikationsverfahren _____	450
3.10 Wärmeenergieeinsparung beim Betrieb von Rektifikationsanlagen _____	451
3.11 Regelung von Rektifikationsanlagen _____	451

XII Physikalisch-chemische Trennverfahren

452

1 Feststoffextraktion _____	453
1.1 Vorgänge und Begriffe _____	453
1.2 Industrieller Extraktionsprozess _____	453
1.3 Lösemittel für die Extraktion _____	454
1.4 Physikalische Grundlagen _____	454
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren _____	455
1.6 Absatzweise arbeitende Feststoff- Extraktoren _____	456
1.7 Kontinuierlich arbeitende Feststoff- Extraktoren _____	458
2 Flüssig/Flüssig-Extraktion _____	460
2.1 Physikalische Grundlagen _____	460
2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig- Extraktionsanlagen _____	461
2.3 Kontinuierliche Flüssig-Flüssig- Extraktionsanlagen _____	462
2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen _____	464

	Seite
3 Ionenaustausch-Verfahren	465
3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	465
3.2 Wasser-Vollentsalzung	466
3.3 Wasserenthärtung	467
3.4 Abwasserentgiftung	467
3.5 Ionenaustauscheranlagen	467
4 Membran-Trenntechnologie	469
4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	469
4.2 Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	470
4.2.1 Umkehrosmose	470
4.2.2 Nanofiltration	470
4.2.3 Ultrafiltration	471
4.2.4 Mikrofiltration	471
4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	471
4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	473
4.5 Pervaporation	474
4.6 Dampfpermeation	475

XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik 476

1 Übersicht und Begriffe	476
2 Regelungstechnik	478
2.1 Grundlagen	478
2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	480
2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	482
2.4 Regelstrecken	484
2.4.1 Statisches Verhalten	484
2.4.2 Dynamisches Verhalten	485
2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	486
2.6 Regler	488
2.6.1 Zeitverhalten stetiger Reglertypen	488
2.6.2 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	490
2.6.3 Unstetige Regler	491
2.6.4 Regelgeräte	492
2.6.5 Regler ohne Hilfsenergie	493
2.7 Regelaufgaben in Chemieanlagen	494
2.7.1 Temperaturregelungen	494
2.7.2 Druckregelungen	495
2.7.3 Durchflussregelungen	497
2.7.4 Mengenregelung	497
2.7.5 Füllstandsregelungen	498
2.7.6 Regelung von Analysewerten	498
2.7.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	499
2.8 Regelkreisverhalten und Reglereinstellung	500
3 Steuerungstechnik	501
3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	501
3.2 Steuerungsarten	502
3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	503
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	503
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	503

3.3.3	Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	504
3.3.4	Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	504
3.4	Grundfunktionen der binären Signalverarbeitung	506
3.5	Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	508
3.5.1	Ablaufsteuerung einer Mischanlage	510
3.5.2	Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	511
3.5.3	Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	513
3.6	Technische Ausführung von Steuerungen	514
3.6.1	Mechanische Steuerungen	514
3.6.2	Elektrische Steuerungen	514
3.6.3	Elektronische Steuerungen	515
3.6.4	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	515
4	Prozessleittechnik	518
4.1	Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	518
4.2	Aufbau von Prozessleitsystemen	520
4.2.1	Komponenten eines Prozessleitsystems	520
4.2.2	Prozessleitsystem einer großen Chemieranlage	521
4.2.3	Automatisierungseinheiten	522
4.2.4	Eingabe/Ausgabe-Einheiten	522
4.2.5	Beobachtungs- und Bedienstationen	523
4.2.6	Bussysteme	523
4.2.7	Managementstation	523
4.3	Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	524
4.3.1	Fließbilddarstellungen	524
4.3.2	Konfektionierte Bilder	525
4.3.3	Kurvenbilder	526
4.3.4	Einblendbilder (Windows)	526
4.4	Bedienung eines Prozessleitsystems	527
4.5	Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	528
4.5.1	Messwertaufbereitungsfunktionen	528
4.5.2	Regelfunktionen	528
4.5.3	Steuerungsfunktionen	529
4.5.4	Rezeptursteuerung von Chargenprozessen	530
4.5.5	Steuerung von Rohrleitungsnetzen	532
4.5.6	Überwachungsfunktionen	532
4.5.7	Instandhaltungs-Management	533

XIV Chemische Reaktionstechnik 534

1	Reaktionsverfahren	535
2	Einflussgrößen auf die Reaktion	535
3	Chargenbetrieb	536
3.1	Reaktionsbehälter	536
3.2	Charakteristisches des Chargenbetriebs	537
4	Fließbetrieb	538
4.1	Reaktionsapparate für Fließbetrieb	538

	Seite
4.2 Charakteristisches des Fließbetriebs	538
4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	539
5 Reaktorkombinationen	540
6 Hochdruck-Reaktionsapparate	540
7 Reaktionsöfen	542
8 Elektrolyseapparate	543

XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb 544

1 Chemieproduktion und Umweltbelastung	545
2 Umweltschutzbereich Wasser	547
2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	547
2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	548
2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	552
2.4 Anlage zur Reinigung von Chemie-abwasser	553
2.5 Mechanisch-biologische Abwasser-reinigung in einer kommunalen Kläranlage	554
2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	556
3 Umweltschutzbereich Luft	557
3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abgasen	557
3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	557
3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	558
3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	559
4 Beseitigung von Chemieabfällen	560
4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	560
4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	560
4.3 Entsorgung der Abfälle eines Chemie-betriebs	561
4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	562
4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	563
5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	564

Zuordnung der Buchinhalte zu den Lernfeldern des KMK-Lehrplans für Chemikanten 567

Sachwortverzeichnis (mit englischer Übersetzung) 570

Verzeichnis der Druckfehler 571