

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
Chemie und Umwelt	11	4.3.7 Einsatz von Kreiselpumpen	59
Sicherheit im Chemiebetrieb	12	4.3.8 Seitenkanalpumpe	60
Einführung in die Chemietechnik	14	4.3.9 Propellerpumpe	60
Entwicklung eines Produktionsverfahrens	17	4.4 Betriebsverhalten von Kreiselpumpen	61
I Die Chemieanlage	18	4.4.1 Förderstrom und Förderhöhe einer Kreiselpumpe	61
1 Rohrleitungen	19	4.4.2 Förderhöhe einer Anlage	61
1.1 Die Nennweite DN	19	4.4.3 Leistungsbedarf und Wirkungsgrad einer Pumpe	62
1.2 Der Nenndruck PN	20	4.4.4 Kennlinien einer Kreiselpumpe	62
1.3 Betriebstemperatur und zulässiger Betriebsüberdruck	21	4.4.5 Anlagenkennlinie	62
1.4 Größen einer Strömung in Rohren	21	4.4.6 Betriebspunkt einer Kreiselpumpe	63
1.5 Rohre und Rohrmaße für Rohrleitungen	22	4.4.7 Zusammenschalten von Pumpen	63
1.6 Rohr-Formstücke	23	4.4.8 Kennfelder von Kreiselpumpen	64
1.7 Rohrverbindungen	24	4.4.9 Kavitation bei Kreiselpumpen	64
1.8 Werkstoffe für industrielle Rohrleitungen	27	4.4.10 Berechnung der Bedingungen für kavitationsfreien Pumpenbetrieb, NPSH-Wert	65
1.9 Rohrleitungsklassen	28	4.4.11 Anfahren und Abschalten von Kreiselpumpen	67
1.10 Rohrbefestigungen	29	4.5 Hubkolbenpumpen	68
1.11 Kennzeichnung von Rohrleitungen	29	4.5.1 Aufbau und Arbeitsweise von Hubkolbenpumpen	68
1.12 Rohrdehnungsausgleich	31	4.5.2 Merkmale und Verwendung	69
1.13 Rohrisolierungen	32	4.6 Membranpumpen	69
1.14 Grafische Darstellung der Rohrleitungen	33	4.7 Umlaufkolbenpumpen	71
2 Armaturen	35	4.7.1 Schraubenspindelpumpen	71
2.1 Schieber	35	4.7.2 Exzentrerschneckenpumpen	71
2.2 Klappen und Hähne	36	4.7.3 Zahnradpumpen	71
2.3 Ventile	36	4.7.4 Drehkolbenpumpen	72
2.3.1 Absperr- und Regelventile	36	4.7.5 Schlauchpumpen	72
2.3.2 Sicherheitsventile	38	4.8 Strahlpumpe	72
2.4 Berstsicherungen	39	4.9 Übersicht: Eigenschaften und Einsatzgebiete von Pumpen	73
2.5 Rückflussverhinderer	40	4.10 Dosieren von Flüssigkeiten	74
2.6 Druckminderventile (Druckminderer)	41	4.11 Dosieren durch Molchen	74
2.7 Kondensatableiter	42	5 Fördern und Verdichten von Gasen	77
2.8 Entlüfter, Schmutzfänger	44	5.1 Gesetzmäßigkeiten bei Zustandsänderungen einer Gasportion	77
2.9 Rohrleitungs-Einbauscheiben	44	5.2 Vorgänge beim Verdichten von Gasen	79
2.10 Geregelte Ventile	45	5.3 Fördereinrichtungen und Verdichter für Gase	79
2.10.1 Darstellung der Armaturen im R & I-Fließschema	45	5.4 Hubkolbenverdichter	80
2.10.2 Stellantriebe für Armaturen	45	5.5 Rotationskolbenverdichter	82
3 Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen	47	5.6 Turboverdichter	83
3.1 Volumenstrom, Massenstrom, Strömungsgeschwindigkeit	47	5.7 Gebläse	84
3.2 Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	48	5.8 Ventilatoren	84
3.3 Druckänderung bei der Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	48	6 Erzeugung von Unterdruck (Vakuumtechnik)	86
3.4 Innere Reibung, Viskosität	49	6.1 Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen	86
3.5 Strömungsarten	50	6.2 Treibmittel-Vakuumpumpen	87
3.6 Druckverlust in Rohrleitungen	51	6.3 Kombinierte Strahlpumpensysteme	87
3.7 Rohrleitungskennlinie	52	6.4 Rotationsverdränger-Vakuumpumpen	88
3.8 Druckverlauf in Rohrleitungen	53	6.5 Diffusion-Vakuumpumpen	90
4 Fördern von Flüssigkeiten	54	6.6 Turbo-Molekular-Vakuumpumpen	90
4.1 Übersicht der Förderarten	54	6.7 Auswahl der geeigneten Vakuumpumpe	90
4.2 Fördern mit Pumpen	55	6.7.1 Abpumpen von trockenen Gasen	91
4.3 Kreiselpumpen	55	6.7.2 Abpumpen von dampfhaltigen Gasen	91
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	55	7 Fördern von Feststoffen	92
4.3.2 Pumpenlaufräder	56	7.1 Beschreibung von Schüttgütern	92
4.3.3 Kreiselpumpen-Bauarten	57	7.1.1 Porosität und Schüttdichte	92
4.3.4 Wellenabdichtung bei Kreiselpumpen	58	7.1.2 Verhalten und Handhabung von Schüttgütern	92
4.3.5 Kreiselpumpenanlage	58		
4.3.6 Sonderbauarten von Kreiselpumpen	59		

	Seite		Seite		
7.2	Mechanische Schüttgutförderer	93	14.9	Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	146
7.3	Pneumatische Schüttgutförderer	96	14.10	Arten von Gefahrstoffen	148
7.4	Schüttgutdosierer	97	14.10.1	Ätzende Stoffe	148
7.5	Förderanlagen für Stückgut	98	14.10.2	Ätz- und Reizgase	149
7.6	Unstetigförderer	99	14.10.3	Atemgifte	149
7.7	Handhabung von Schüttgütern und Stückgut	100	14.10.4	Erstickende Gase	149
8	Lagereinrichtungen in Chemieanlagen	102	14.10.5	Lösemittel und giftige Flüssigkeiten	150
8.1	Lager für Schüttgüter	102	14.10.6	Feste Giftstoffe	150
8.2	Stückgutlagerung	104	14.10.7	Langzeit-Schadstoffe	151
8.3	Lagern von Flüssigkeiten	105	14.10.8	Arbeitsplatzgrenzwerte der Arbeitsstoffe	152
8.4	Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten	108	14.11	Vermeiden von Gesundheitsschäden durch physikalische Einwirkungen	153
8.5	Lagerung von Gasen	109	14.11.1	Lärmschutz	153
8.5.1	Lagerung von Gasen im Gaszustand	109	14.11.2	Strahlenschutz	153
8.5.2	Erzeugung und Lagerung von verflüssigten Gasen	111			
9	Übersicht der Maschinen und Apparate	113	II	Elektrotechnik im Chemiebetrieb	154
9.1	Elektromotoren und Getriebe	113	1	Elektrotechnische Grundlagen	154
9.2	Rührbehälter (Rührkessel)	114	1.1	Anwendungen der Elektrizität	154
9.3	Zerkleinerungsmaschinen	115	1.2	Grundbegriffe der Elektrotechnik	155
9.4	Filtrierapparate	115	1.3	Elektrische Grundgrößen	156
9.5	Wärmetauscher	116	1.4	Ohm'sches Gesetz	157
9.6	Destillierkolonnen	116	1.5	Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	158
9.7	Mess-, steuer- und regeltechnische Anlagen (MRS-Technik)	117	1.6	Elektrische Schaltung von Verbrauchern	159
9.8	Umwelttechnische Anlagen	117	1.7	Messen elektrischer Größen	160
10	Projektierung von Chemieapparaten	118	1.8	Stromarten	161
11	Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	120	2	Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	162
11.1	Grundfließschema	120	2.1	Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	162
11.2	Verfahrensfließschema	121	2.2	Elektrische Installation und Anschlüsse	163
11.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R & I-Fließbild)	123	2.3	Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	164
11.4	Beispiele von R & I-Fließschemata technischer Anlagen	124	2.4	Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	165
11.5	Grafische Symbole in Fließschemata verfahrenstechnischer Anlagen	126	2.5	Gefahren durch den elektrischen Strom	165
12	Betrieb und Instandhaltung chemischer Anlagen	130	2.6	Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	166
12.1	Betrieb einer Chemieanlage	130	2.7	Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	166
12.2	Instandhaltung einer Chemieanlage	130	3	Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen	167
12.2.1	Wartung	130	3.1	Arten von Elektromotoren	167
12.2.2	Inspektionen	133	3.1.1	Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	167
12.2.3	Instandsetzung	134	3.1.2	Gleichstrommotoren	170
12.2.4	Instandhaltungskonzepte	134	3.1.3	Motorschutzarten	172
13	Sicherheit von Chemieanlagen	135	3.2	Getriebe für Elektromotoren	172
13.1	Betriebssicherheitsverordnung	135	3.2.1	Keilriemengetriebe	172
13.2	Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	136	3.2.2	Zahnradgetriebe	173
13.3	Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr in Chemieanlagen	138	3.2.3	Kurvenscheiben-Getriebe	174
14	Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	140	3.2.4	Stufenscheibengetriebe	175
14.1	Gefährliche Arbeitsbereiche	140	3.2.5	Umschlingungsgetriebe	175
14.2	Brand- und Explosionsschutz	142	4	Elektrochemische Grundlagen	176
14.2.1	Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	142	4.1	Galvanische Elemente	176
14.2.2	Vermeiden von Bränden und Explosionen	143	4.2	Elektrolyse	178
14.2.3	Brandbekämpfung und Brandschutz	143	4.2.1	Elektrolyse wässriger Lösungen	178
14.3	Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	144	4.2.2	Faraday'sche Gesetze	179
14.4	Klassifizierung von Gefahrstoffen	144	4.2.3	Technische Elektrolyse-Verfahren	179
14.5	Gefahrstoffpiktogramme nach GHS für Gebinde und Verpackungen	145			
14.6	Kennzeichnung von Gefahrstoffen	145	III	Bauteile in Maschinen und Apparaten	181
14.7	Betriebsanweisungen	145	1	Maschinenelemente für drehende Bewegungen	181
14.8	H-Sätze und P-Sätze	146	1.1	Wellen, Achsen, Bolzen	181
			1.2	Zusammenwirken mechanischer Bauteile für Chemieapparate	182

	Seite		Seite		
1.3	Zahnräder	182	6.6	Korrosionsschutzmaßnahmen	226
1.4	Welle-Nabe-Verbindungen	183	6.6.1	Korrosionsschutzanstriche	226
1.5	Wellenkupplungen	184	6.6.2	Zinkbeschichtungen	226
2	Lager	185	6.6.3	Korrosionsschutz von Apparaten aus nichtrostenden Stählen	227
2.1	Gleitlager	185	6.6.4	Verminderung der Aggressivität des einwirkenden Stoffes	227
2.2	Wälzlager	185	6.6.5	Vermeidung von Korrosionsstellen	227
3	Dichtungen	186	6.6.6	Katodischer Korrosionsschutz von Stahl-Bauteilen	228
3.1	Dichtungen an nicht bewegten Flächen	186	6.6.7	Korrosionsschutz von Al-Bauteilen	228
3.2	Wellendichtungen	186	7	Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb	229
4	Fügeteile für Maschinen und Apparate	188	7.1	Fehlerortung in Chemieanlagen	229
4.1	Schraubenverbindungen	188	7.2	Korrosionsüberwachung	231
4.2	Schraubenarten	189	8	Kunststoffe	232
4.3	Muttern	190	8.1	Eigenschaften und Verwendung	232
4.4	Schraubensicherungen	190	8.2	Technologische Einteilung	232
4.5	Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern	190	8.3	Thermoplastische Kunststoffe	233
4.6	Stifte	190	8.4	Duroplastische Kunststoffe	234
5	Deckelverschlüsse	191	8.5	Elastomere	235
6	Schweiß- und Lötverbindungen	192	8.6	Beständigkeitsverhalten und Alterung der Kunststoffe	236
6.1	Lichtbogenhandschweißen	192	8.7	Verarbeitung von Kunststoffen	236
6.2	Schutzgas-Schweißen	192	9	Verbundwerkstoffe	237
6.3	Gasschmelzschweißen	193	10	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe	238
6.4	Löten	193	10.1	Chemieapparatglas	238
7	Hydrauliksysteme in Maschinen	194	10.2	Chemieapparate-Email	238
8	Pneumatik im Chemiebetrieb	196	10.3	Keramische Werkstoffe	239
IV	Werkstofftechnik für Chemieanlagen	198	10.4	Chemisch beständige Ausmauerungen	239
1	Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe	198	10.5	Grafit und Kohlewerkstoffe	239
2	Eigenschaften der Werkstoffe	200	11	Schmierstoffe	240
2.1	Physikalische Eigenschaften	200	11.1	Schmieröle	240
2.2	Mechanische Eigenschaften	201	11.2	Schmierfette	241
2.3	Chemisch-technologische Eigenschaften	202	11.3	Feste Schmierstoffe	241
2.4	Fertigungstechnische Eigenschaften	203	V	Messtechnik in Chemieanlagen	242
2.5	Umweltverträglichkeit	203	1	Temperaturmessung	244
3	Stähle	204	1.1	Temperaturskalen	244
3.1	Baustähle für mechanische Beanspruchung	204	1.2	Mechanische Temperaturmessgeräte	245
3.2	Baustähle für mechanische und thermische Belastung	207	1.3	Widerstandsthermometer	246
3.3	Baustähle für chemische Belastung: Die korrosionsbeständigen Stähle	208	1.4	Thermoelemente	247
3.4	Werkzeugstähle	210	1.5	Strahlungs-pyrometer	248
4	Gusseisen und Stahlguss	212	1.6	Übersicht: Einsatzbereiche der Temperatur-Messgeräte	248
4.1	Gusseisen	212	2	Druckmessung	249
4.2	Stahlguss	213	2.1	Definition, Einheiten, Umrechnung	249
5	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	214	2.2	Druckarten	249
5.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen	214	2.3	U-Rohr-Manometer	249
5.2	Kupfer und Kupferlegierungen	215	2.4	Federmanometer	250
5.3	Nickel-Werkstoffe	216	2.5	Drucksensoren	251
5.4	Titan (Ti)	217	2.6	Übersicht: Größte und kleinste Messbereiche der Druckmessgeräte	251
5.5	Blei (Pb)	217	2.7	Druckdifferenzmessung	252
5.6	Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	218	2.8	Druckmittler, Druckwächter	252
5.7	Zink (Zn)	218	2.9	Besonderheiten der Druckmessung	253
5.8	Zinn (Sn)	218	3	Füllstandmessung	255
6	Korrosion und Korrosionsschutz	219	3.1	Füllstandmessgeräte für Flüssigkeiten	255
6.1	Chemische Korrosion	219	3.1.1	Mechanische Füllstandmessgeräte	255
6.2	Elektrochemische Korrosion	219	3.1.2	Hydrostatische Füllstandmessung	256
6.3	Erscheinungsformen der elektrochemischen Korrosion	221	3.1.3	Ultraschall-Füllstandmessung	257
6.4	Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe	223	3.1.4	Kapazitive Füllstandmessung	257
6.5	Auswahl geeigneter Werkstoffe	223	3.1.5	Füllstandmessung mit Radar	258

	Seite
3.2 Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten	258
3.3 Füllstandmessgeräte und Grenzscharter für Schüttgüter	259
3.4 Rauminhalte von Behältern	261
3.5 Gasmengenbestimmung in Tanks	262
4 Durchflussmessung und Mengennmessung	263
4.1 Durchflussmesser	264
4.1.1 Schwebekörper-Durchflussmesser	264
4.1.2 Durchflussmesser mit Messblende	264
4.1.3 Wirbel-Durchflussmesser	265
4.1.4 Schwingungs-Durchflussmesser	265
4.1.5 Ultraschall-Durchflussmesser	266
4.1.6 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser (MID)	266
4.1.7 Coriolis-Massedurchflussmesser	267
4.1.8 Thermischer Massedurchflussmesser	267
4.1.9 Turbinenrad-Durchflussmesser	268
4.1.10 Flügelrad-Durchflussmesser	268
4.2 Mengennmesser für strömende Fluide	268
4.3 Strömungsanzeiger und Durchflusswächter	270
5 Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige	271
5.1 Messwerterfassung	271
5.2 Messwertverarbeitung und Übertragung	271
5.3 Messwertanzeige	272
5.4 Herkömmliche Messwertausgeber	273
6 Darstellung und Benennung von Messstellen	274
 VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften	 275
1 Probenahme	275
1.1 Probenahme von Flüssigkeiten	276
1.2 Probenahme von Feststoffen	276
2 Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	277
2.1 Bestimmen der Masse	277
2.2 Bestimmen der Dichte von Feststoffen	279
2.3 Bestimmen der Feuchtigkeit von Feststoffen	280
2.4 Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	281
2.4.1 Probenahme zur Siebanalyse	281
2.4.2 Siebanalyse	282
2.4.3 Auswertung der Siebanalyse	283
2.4.4 RRSB-Körnungsnetz (DIN 66 145)	285
3 Messung der Eigenschaften und Bestandteile von Flüssigkeiten	287
3.1 Messung der Dichte von Flüssigkeiten	287
3.2 Viskositätsmessung	288
3.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit	289
3.4 Messung des pH-Werts	289
3.5 Messung des Redox-Potentials	290
3.6 Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	291
3.7 Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	292
3.8 Messung der Trübung in Flüssigkeiten	292
4 Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	293
4.1 Chromatografische Analysegeräte	293

	Seite
4.2 Explosionsschutz-Warngeräte mit Wärmetönungs-Sensoren	294
4.3 Gasanalysegeräte mit Sensoren	294
4.3.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren	295
4.3.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	295
4.3.3 Elektrochemische Sensoren	295
4.3.4 Technische Gasanalysegeräte	296
5 Messung von Luftbestandteilen	296
5.1 Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe	296
5.2 Explosionsgrenzen	296
5.3 Luftfeuchtigkeitsmessung	297
5.4 Rauch- und Staubkonzentrationsmessung	297
6 Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	298
6.1 Qualitätsmanagement	298
6.2 Qualitätsmanagementsysteme	299
6.3 Werkzeuge der Qualitätssicherung	300
6.3.1 Checklisten	300
6.3.2 Fehlersammelkarte und Datensammelkarte	300
6.3.3 Histogramme	301
6.3.4 Verteilungsdichtekurve und statistische Kennwerte	301
6.3.5 Vorberechnungen für die Datensammelkarte	302
6.3.6 Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	302
6.3.7 Ischikawa-Diagramm	303
6.3.8 Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	304
6.3.9 Übersicht der Qualitätswerkzeuge	306
 VII Aufbereitungstechnik	 307
1 Beschreibung von Schüttgütern	308
1.1 Größe von Partikeln in einem Schüttgut	308
1.2 Oberflächen von Schüttgütern	308
1.3 Charakterisierung eines Schüttguts aus unterschiedlich großen Partikeln	309
1.4 Verteilungsdichtekurven von Schüttgütern	310
2 Zerkleinern von Feststoffen	311
2.1 Physikalische Grundlagen	311
2.2 Zerkleinerungsverfahren	312
2.3 Brecher	313
2.4 Mühlen	314
2.5 Schneidmühlen, Granulatoren	316
2.6 Zerkleinerungsanlagen	316
3 Flüssigkeitserteilung	317
3.1 Berieseln, Versprühen	318
3.2 Zerstäuben, Verdüsen	318
4 Agglomerieren (Zusammenfügen)	319
4.1 Aufbaugranulieren (Pelletieren)	319
4.2 Formpressen	321
4.3 Sintern	322
5 Mischen (Stoffvereinigen)	323
5.1 Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	324
5.1.1 Rührbehälter	324
5.1.2 Rührbehälteranbauten	326
5.1.3 Rührwerk	327
5.1.4 Rührer	328
5.1.5 Strömungsvorgänge im Rührbehälter	330
5.1.6 Verfahrenstechnische Operationen durch Rühren	331
5.2 Pneumatisches Rühren	333
5.3 Strömungsmischer	333
5.4 Kneten, Anteigen	335
5.5 Mischen von Feststoffschüttungen	337

	Seite		Seite
VIII Heiz- und Kühltechnik	339		
1 Wärme – eine Energieart	339	2.2.3	Kontinuierlich arbeitende Filterapparate 384
1.1 Wärmeeinheiten	339	2.3	Auspressen 386
1.2 Wärmemengen	339	2.4	Zentrifugieren 387
1.3 Umwandlungswärmen	340	2.4.1	Wirkprinzip 387
1.4 Gesamtwärmemenge bei Aggregatzustandsänderungen	341	2.4.2	Absatzweise arbeitende Filtrierzentrifugen 388
1.5 Temperaturen von Mischungen	342	2.4.3	Kontinuierlich arbeitende Filtrierzentrifugen 389
2 Energieträger im Chemiebetrieb	343	2.4.4	Sedimentierzentrifugen 389
2.1 Brennstoffe	343	2.4.5	Industrielle Zentrifugieranlage 392
2.2 Elektrischer Strom	344	3 Mechanische Trennung von Emulsionen	393
2.3 Wasserdampf	345	3.1	Dekantieren 393
2.4 Dampferzeugeranlage	346	3.2	Zentrifugieren 393
2.5 Heizen mit Wasserdampf	347	3.3	Ultrafiltration 394
2.6 Heizen mit Heizflüssigkeiten	348	4 Schaumvermeidung bzw. Schaumzerstörung (foam breaking)	395
2.7 Gasförmige und feste Wärmeträger	348		
2.8 Kühl- und Kältemittel	348	X Entstaubung und Abgasreinigung	396
2.9 Druckluft und Vakuum	349	1 Entstaubung	396
3 Wärmeübertragung	350	1.1	Grundlagen der Entstaubung 396
3.1 Physikalische Grundlagen	350	1.2	Schwerkraftabscheidung 398
3.2 Wärmeübertragung in der Chemietechnik	351	1.3	Fliehkraftabscheidung im Zyklon 399
3.3 Wärmeleitung	351	1.4	Filtrationsentstaubung 400
3.4 Wärmeübergang	352	1.5	Elektroentstaubung 401
3.5 Wärmedurchgang	353	1.6	Entstaubungsanlage 402
3.6 Wärmestrahlung	354	1.7	Nass-Entstaubung 402
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	355	2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeitströpfchen	404
4 Wärmeaustauscher	357	3 Abscheidung von Fremdgasen aus einem Abgasstrom	405
4.1 Rohrbündel-Wärmeaustauscher	357	3.1	Fremdgasabscheidung durch Kondensation 406
4.2 Rohrschlangen-Wärmeaustauscher	358	3.2	Gasreinigung durch Absorption 407
4.3 Doppelrohr-Wärmeaustauscher	359	3.3	Gasreinigung durch Adsorption 411
4.4 Spiral-Wärmeaustauscher	359	3.4	Gasreinigung durch Dampfpermeation 414
4.5 Platten-Wärmeaustauscher	359	3.5	Katalytische Gasreinigung 415
5 Kondensatoren	360	XI Thermische Trennverfahren	416
5.1 Oberflächenkondensatoren	360	1 Trocknen	417
5.2 Mischkondensatoren	361	1.1	Physikalische Grundlagen 417
6 Heizen und Kühlen von Ruhrbehältern	362	1.2	h - X -Diagramm der Trocknung 420
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	362	1.3	Trocknungsverfahren 422
6.2 Direkte Wärmeübertragung	362	1.4	Trockner für Feststoffschüttungen 423
6.3 Heiz-/Kühl - Systeme bei Ruhrbehältern	363	1.5	Trockner für Flüssigkeiten und Suspensionen 425
7 Energieeinsparung bei Wärmeaustauschverfahren	364	1.6	Vakuumgefriertrocknung 427
8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser	365	1.7	Industrielle Zentrifugier- und Trocknungsanlage 428
IX Mechanische Trennverfahren	368	2 Thermische Trennung von Lösungen	430
1 Mechanische Trennverfahren für Feststoff-Gemische	368	2.1	Verdampfen 430
1.1 Sortieren	369	2.1.1	Verdampfen reiner Lösemittel 430
1.1.1 Dichtesortieren	369	2.1.2	Eindampfen von Lösungen 431
1.1.2 Flotieren	370	2.1.3	Aufbau und Vorgänge im Verdampfer 431
1.1.3 Magnetsortieren	371	2.1.4	Absatzweise und kontinuierliche Eindampfung 432
1.2 Klassieren	372	2.1.5	Verdampferbauarten 433
1.2.1 Sieben	372	2.1.6	Verdampferanlagen 435
1.2.2 Windsichten	374	2.2	Auskristallisieren aus Lösungen 437
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	376	2.2.1	Physikalische Grundlagen 437
1.3 Beschreibung des Trennprozesses beim Klassieren mit der Verteilungsdichte	377	2.2.2	Kristallisationsverfahren 438
2 Mechanische Trennverfahren für Feststoff/Flüssigkeits-Gemische	378	2.2.3	Kristallisationsapparate 439
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	378	2.3	Spezialkristallisationsverfahren: Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen 442
2.2 Filtrieren	381	2.4	Ausfrieren (Kaltkonzentrieren) 442
2.2.1 Wirkprinzip	381		
2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	382		

	Seite
3 Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen	444
3.1 Physikalische Grundlagen	444
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	444
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeitsgemischen	444
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	445
3.1.4 Siedediagramm (Phasendiagramm)	447
3.1.5 Gleichgewichtsdiagramm	447
3.2 Destillieren	448
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation	448
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	450
3.2.3 Absatzweise einfache Destillation einer Maische (Ethanol/Wasser-Gemisch)	451
3.2.4 Absatzweise fraktionierte Destillation	452
3.2.5 Kontinuierliche einfache Destillation	453
3.2.6 Überlegungen zur mehrfachen Destillation	454
3.2.7 Wasserdampfdestillation	454
3.3 Rektifizieren in einer Glockenbodenkolonne	456
3.3.1 Aufbau einer Rektifikationsanlage	456
3.3.2 Vorgänge in der Rektifikationskolonne	456
3.3.3 Verlauf der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	458
3.3.4 Kenngrößen der Rektifikation	459
3.3.5 Austauschböden für Rektifikationskolonnen	460
3.4 Rektifikationsverfahren	461
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	461
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	462
3.4.3 Berechnung einer kontinuierlichen Rektifikation	463
3.4.4 Arten des Gemischzulaufs	464
3.4.5 Bestimmung der Trennstufenzahl bei verschiedenen Gemischzulaufen	465
3.5 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	466
3.6 Rektifizieren von Mehrstoff- und Vielstoffgemischen	468
3.7 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	469
3.8 Raffinierung des Erdöls	470
3.9 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	472
3.9.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	472
3.9.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikationsverfahren	473
3.9.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	474
3.9.4 Extraktiv-Rektifikation	475
3.10 Kombinierte Rektifikationsverfahren	476
3.11 Einsparung von Wärmeenergie beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	477
3.12 Regelung von Rektifikationsanlagen	477
XII Physikalisch-chemische Trennverfahren	478
1 Feststoffextraktion	479
1.1 Vorgänge und Begriffe	479
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	479
1.3 Lösemittel für die Feststoff-Extraktion	480
1.4 Physikalische Grundlagen	480
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	481
1.6 Absatzweise arbeitende Feststoff-Extraktoren	482
1.7 Kontinuierlich arbeitende Feststoff-Extraktoren	484

	Seite
2 Flüssig/Flüssig-Extraktion	486
2.1 Physikalische Grundlagen	486
2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	487
2.3 Kontinuierliche Flüssig-Flüssig-Extraktionsanlagen	488
2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen	490
3 Ionenaustausch-Verfahren	491
3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	491
3.2 Wasser-Vollentsalzung	492
3.3 Wasserenthärtung	493
3.4 Abwasserentgiftung	493
3.5 Ionenaustauscheranlagen	493
4 Membran-Trenntechnologie	495
4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	495
4.2 Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	496
4.2.1 Umkehrosmose (Reversosmose)	496
4.2.2 Nanofiltration	496
4.2.3 Ultrafiltration	497
4.2.4 Mikrofiltration	497
4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	497
4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	499
4.5 Pervaporation	500
4.6 Dampfpermeation	501
XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik	502
1 Übersicht und Begriffe	502
2 Regelungstechnik	504
2.1 Grundlagen	504
2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	506
2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	508
2.4 Regelstrecken	510
2.4.1 Statisches Verhalten von Regelstrecken	510
2.4.2 Dynamisches Verhalten von Regelstrecken	511
2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	512
2.6 Reglertypen	514
2.6.1 Proportionalregler	514
2.6.2 Integralregler	515
2.6.3 Differentialregler	515
2.6.4 Proportional-Integral-Regler	516
2.6.5 Proportional-Differential-Regler (PD-Regler)	516
2.6.6 Proportional-Integral-Differential-Regler (PID-Regler)	517
2.7 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	518
2.8 Regelkreisverhalten und Reglereinstellung	519
2.9 Digitale Regelgeräte	520
2.10 Unstetige Regler	522
2.11 Regler ohne Hilfsenergie	523
2.12 Regelaufgaben in Chemieanlagen	524
2.12.1 Temperaturregelungen	524
2.12.2 Druckregelungen	525
2.12.3 Durchflussregelungen	527
2.12.4 Mengenregelung	527
2.12.5 Füllstandsregelungen	528
2.12.6 Regelung von Analysewerten	528
2.12.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	529
3 Steuerungstechnik	530
3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	530
3.2 Steuerungsarten	531

	Seite
3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	532
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	532
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	532
3.3.3 Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	533
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	534
3.4 Verknüpfungssteuerungen	535
3.4.1 Logische Grundfunktionen	535
3.4.2 Beispiel einer Sicherheits-Verknüpfungssteuerung	537
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	538
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	540
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	541
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	543
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	544
3.6.1 Mechanische Steuerungen	544
3.6.2 Elektrische Steuerungen	544
3.6.3 Elektronische Steuerungen	545
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	545
4 Prozessleittechnik	548
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	548
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	550
4.2.1 Komponenten des PLS einer kleinen Chemieanlage	550
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	552
4.2.3 Automatisierungseinheiten	553
4.2.4 Bussysteme	554
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	554
4.2.6 Prozesskonfiguration	555
4.2.7 Managementstation	555
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	556
4.3.1 Fließbilddarstellungen	556
4.3.2 Konfektionierte Bilder	557
4.3.3 Kurvenbilder	558
4.3.4 Einblendbilder	558
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	559
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	560
4.5.1 Messwert-Aufbereitungsfunktionen	560
4.5.2 Regelfunktionen	560
4.5.3 Steuerungsfunktionen	561
4.5.4 Rezeptursteuerung von Chargenprozessen	562
4.5.5 Steuerung von Rohrleitungsnetzen	564
4.5.6 Überwachungsfunktionen	564
4.5.7 Instandhaltungs-Management	565
4.6 Industrie 4.0 in der Chemieindustrie – Smart Factory	566
4.6.1 Komponenten einer Smart Factory	566
4.6.2 Arbeitsweise einer Smart Factory	566
XIV Chemische Reaktionstechnik	568
1 Reaktionsverfahren	568
2 Einflussgrößen auf die Reaktion	569
3 Chargenbetrieb	570
3.1 Reaktionsbehälter	570
3.2 Charakteristisches des Chargenbetriebs	571
4 Fließbetrieb	572
4.1 Reaktionsapparate für den Fließbetrieb	572
4.2 Charakteristisches des Fließbetriebs	572

	Seite
4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	573
5 Reaktorkombinationen	574
6 Hochdruck-Reaktionsapparate	574
7 Reaktionsöfen	576
8 Elektrolyseapparate	577
9 Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse	578
XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb	580
1 Chemieproduktion und Umweltschutz	581
2 Umweltschutzbereich Gewässer	583
2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	583
2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	584
2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	588
2.4 Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser	589
2.5 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage	590
2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	592
3 Umweltschutzbereich Atmosphäre	593
3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abluft und Abgasen	593
3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	593
3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	594
3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	595
3.5 Technologien zur Vermeidung von CO ₂ -Freisetzungen	596
4 Beseitigung von Chemieabfällen	597
4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	597
4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	597
4.3 Anlage zur Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	598
4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	599
4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	600
5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	601
Sachwortverzeichnis	604
Danksagung	628
Firmen- und Bildquellenverzeichnis	628