

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 Exzenterorschneckenpumpen	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	II Elektrotechnik im Chemiebetrieb	154
9 Übersicht der Maschinen und Apparate	113	1 Elektrotechnische Grundlagen	154
9.1 Elektromotoren und Getriebe	113	1.1 Anwendungen der Elektrizität	154
9.2 Rührbehälter (Rührkessel)	114	1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik	155
9.3 Zerkleinerungsmaschinen	115	1.3 Elektrische Grundgrößen	156
9.4 Filterapparate	115	1.4 Ohm'sches Gesetz	157
9.5 Wärmetauscher	116	1.5 Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	158
9.6 Destillierkolonnen	116	1.6 Elektrische Schaltung von Verbrauchern	159
9.7 Mess-, steuer- und regeltechnische Anlagen (MRS-Technik)	117	1.7 Messen elektrischer Größen	160
9.8 Umwelttechnische Anlagen	117	1.8 Stromarten	161
10 Projektierung von Chemieapparaten	118	2 Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	162
11 Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	120	2.1 Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	162
11.1 Grundfließschema	120	2.2 Elektrische Installation und Anschlüsse	163
11.2 Verfahrensfließschema	121	2.3 Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	164
11.3 Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R & I-Fließbild)	123	2.4 Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	165
11.4 Beispiele von R & I-Fließschemata technischer Anlagen	124	2.5 Gefahren durch den elektrischen Strom	165
11.5 Grafische Symbole in Fließschemata verfahrenstechnischer Anlagen	126	2.6 Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	166
12 Betrieb und Instandhaltung chemischer Anlagen	130	2.7 Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	166
12.1 Betrieb einer Chemieanlage	130	3 Elektrische Antriebmaschinen in Chemieanlagen	167
12.2 Instandhaltung einer Chemieanlage	130	3.1 Arten von Elektromotoren	167
12.2.1 Wartung	130	3.1.1 Drehstrom-Kurzschlussläufertomotoren	167
12.2.2 Inspektionen	133	3.1.2 Gleichstrommotoren	170
12.2.3 Instandsetzung	134	3.1.3 Motorschutzzarten	172
12.2.4 Instandhaltungskonzepte	134	3.2 Getriebe für Elektromotoren	172
13 Sicherheit von Chemieanlagen	135	3.2.1 Keilriemengetriebe	172
13.1 Betriebssicherheitsverordnung	135	3.2.2 Zahnradgetriebe	173
13.2 Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	136	3.2.3 Kurvenscheiben-Getriebe	174
13.3 Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr in Chemieanlagen	138	3.2.4 Stufenscheibengetriebe	175
14 Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	140	3.2.5 Umschaltungsgetriebe	175
14.1 Gefährliche Arbeitsbereiche	140	4 Elektrochemische Grundlagen	176
14.2 Brand- und Explosionsschutz	142	4.1 Galvanische Elemente	176
14.2.1 Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	142	4.2 Elektrolyse	178
14.2.2 Vermeiden von Bränden und Explosionen	143	4.2.1 Elektrolyse wässriger Lösungen	178
14.2.3 Brandbekämpfung und Brandschutz	143	4.2.2 Faraday'sche Gesetze	179
14.3 Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	144	4.2.3 Technische Elektrolyse-Verfahren	179
14.4 Klassifizierung von Gefahrstoffen	144	III Bauteile in Maschinen und Apparaten	181
14.5 Gefahrstoffpiktogramme nach GHS für Gebinde und Verpackungen	145	1 Maschinenelemente für drehende Bewegungen	181
14.6 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	145	1.1 Wellen, Achsen, Bolzen	181
14.7 Betriebsanweisungen	145	1.2 Zusammenwirken mechanischer Bauteile für Chemieapparate	182
14.8 H-Sätze und P-Sätze	146		

	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 Beständigkeitserhalten 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 Chemieapparateglas	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 Strahlungspyrometer	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 Druckkarten	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	Seite		
3.2 Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten _____	258	4.2 Explosionsschutz-Warngeräte mit Wärmetönungs-Sensoren _____	294
3.3 Füllstandmessgeräte und Grenzschalter für Schüttgüter _____	259	4.3 Gasanalysegeräte mit Sensoren _____	294
3.4 Rauminhale von Behältern _____	261	4.3.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren _____	295
3.5 Gasmengenbestimmung in Tanks _____	262	4.3.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren _____	295
4 Durchflussmessung und Mengenmessung 263		4.3.3 Elektrochemische Sensoren _____	295
4.1 Durchflussmesser _____	264	4.3.4 Technische Gasanalysegeräte _____	296
4.1.1 Schwebekörper-Durchflussmesser _____	264	5 Messung von Luftbestandteilen 296	
4.1.2 Durchflussmesser mit Messblende _____	264	5.1 Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe _____	296
4.1.3 Wirbel-Durchflussmesser _____	265	5.2 Explosionsgrenzen _____	296
4.1.4 Schwingungs-Durchflussmesser _____	265	5.3 Luftfeuchtigkeitsmessung _____	297
4.1.5 Ultraschall-Durchflussmesser _____	266	5.4 Rauch- und Staubkonzentrationsmessung _____	297
4.1.6 Magnetisch-induktiver Durchflus-		6 Qualitätssicherung im Chemiebetrieb 298	
messer (MID) _____	266	6.1 Qualitätsmanagement _____	298
4.1.7 Coriolis-Massedurchflussmesser _____	267	6.2 Qualitätsmanagementsysteme _____	299
4.1.8 Thermischer Massedurchflussmesser _____	267	6.3 Werkzeuge der Qualitätssicherung _____	300
4.1.9 Turbinenrad-Durchflussmesser _____	268	6.3.1 Checklisten _____	300
4.1.10 Flügelrad-Durchflussmesser _____	268	6.3.2 Fehlersammelkarte und Datensammelkarte _____	300
4.2 Mengenmesser für strömende Fluide _____	268	6.3.3 Histogramme _____	301
4.3 Strömungsanzeiger und Durchflusswächter _____	270	6.3.4 Verteilungsdichtekurve und statistische Kennwerte _____	301
5 Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige 271		6.3.5 Vorberechnungen für die Datensammelkarte _____	302
5.1 Messwerterfassung _____	271	6.3.6 Pareto-Analyse (ABC-Analyse) _____	302
5.2 Messwertverarbeitung und Übertragung _____	271	6.3.7 Ischikawa-Diagramm _____	303
5.3 Messwertanzeige _____	272	6.3.8 Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte _____	304
5.4 Herkömmliche Messwertausgeber _____	273	6.3.9 Übersicht der Qualitätswerkzeuge _____	306
6 Darstellung und Benennung von Messstellen 274		VII Aufbereitungstechnik 307	
VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften 275		1 Beschreibung von Schüttgütern 308	
1 Probenahme 275		1.1 Größe von Partikeln in einem Schüttgut _____	308
1.1 Probenahme von Flüssigkeiten _____	276	1.2 Oberflächen von Schüttgütern _____	308
1.2 Probenahme von Feststoffen _____	276	1.3 Charakterisierung eines Schüttguts aus unterschiedlich großen Partikeln _____	309
2 Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen 277		1.4 Verteilungsdichtekurven von Schüttgütern _____	310
2.1 Bestimmen der Masse _____	277	2 Zerkleinern von Feststoffen 311	
2.2 Bestimmen der Dichte von Feststoffen _____	279	2.1 Physikalische Grundlagen _____	311
2.3 Bestimmen der Feuchtigkeit von Feststoffen _____	280	2.2 Zerkleinerungsverfahren _____	312
2.4 Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern _____	281	2.3 Brecher _____	313
2.4.1 Probenahme zur Siebanalyse _____	281	2.4 Mühlen _____	314
2.4.2 Siebanalyse _____	282	2.5 Schniedmühlen, Granulatoren _____	316
2.4.3 Auswertung der Siebanalyse _____	283	2.6 Zerkleinerungsanlagen _____	316
2.4.4 RRSB-Körnungsnetz (DIN 66 145) _____	285	3 Flüssigkeitszerteilung 317	
3 Messung der Eigenschaften und Bestandteile von Flüssigkeiten 287		3.1 Berieseln, Versprühen _____	318
3.1 Messung der Dichte von Flüssigkeiten _____	287	3.2 Zerstäuben, Verdüsen _____	318
3.2 Viskositätsmessung _____	288	4 Agglomerieren (Zusammenfügen) 319	
3.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit _____	289	4.1 Aufbaugranulieren (Pelletieren) _____	319
3.4 Messung des pH-Werts _____	289	4.2 Formpressen _____	321
3.5 Messung des Redox-Potentials _____	290	4.3 Sintern _____	322
3.6 Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung _____	291	5 Mischen (Stoffvereinigen) 323	
3.7 Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser _____	292	5.1 Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten _____	324
3.8 Messung der Trübung in Flüssigkeiten _____	292	5.1.1 Rührbehälter _____	324
4 Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten 293		5.1.2 Rührbehälteranbauten _____	326
4.1 Chromatografische Analysegeräte _____	293	5.1.3 Rührwerk _____	327

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

	Seite		Seite
3 Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen	444	2 Flüssig/Flüssig-Extraktion	486
3.1 Physikalische Grundlagen	444	2.1 Physikalische Grundlagen	486
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	444	2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	487
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeitsgemischen	444	2.3 Kontinuierliche Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	488
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	445	2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen	490
3.1.4 Siedediagramm (Phasendiagramm)	447	3 Ionenaustausch-Verfahren	491
3.1.5 Gleichgewichtsdiagramm	447	3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	491
3.2 Destillieren	448	3.2 Wasser-Vollentsalzung	492
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation	448	3.3 Wasserenthärtung	493
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	450	3.4 Abwasserentgiftung	493
3.2.3 Absatzweise einfache Destillation einer Maische (Ethanol/Wasser-Gemisch)	451	3.5 Ionenaustauscheranlagen	493
3.2.4 Absatzweise fraktionierte Destillation	452	4 Membran-Trenntechnologie	495
3.2.5 Kontinuierliche einfache Destillation	453	4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	495
3.2.6 Überlegungen zur mehrfachen Destillation	454	4.2 Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	496
3.2.7 Wasserdampfdestillation	454	4.2.1 Umkehrsmose (Reversosmose)	496
3.3 Rektifizieren in einer Glockenbodenkolonne	456	4.2.2 Nanofiltration	496
3.3.1 Aufbau einer Rektifikationsanlage	456	4.2.3 Ultrafiltration	497
3.3.2 Vorgänge in der Rektifikationskolonne	456	4.2.4 Mikrofiltration	497
3.3.3 Verlauf der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	458	4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	497
3.3.4 Kenngrößen der Rektifikation	459	4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	499
3.3.5 Austauschböden für Rektifikationskolonnen	460	4.5 Pervaporation	500
3.4 Rektifikationsverfahren	461	4.6 Dampfpermeation	501
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	461	XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik	502
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	462	1 Übersicht und Begriffe	502
3.4.3 Berechnung einer kontinuierlichen Rektifikation	463	2 Regelungstechnik	504
3.4.4 Arten des Gemischzulaufs	464	2.1 Grundlagen	504
3.4.5 Bestimmung der Trennstufenzahl bei verschiedenen Gemischzulaufen	465	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	506
3.5 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	466	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	508
3.6 Rektifizieren von Mehrstoff- und Vielstoffgemischen	468	2.4 Regelstrecken	510
3.7 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	469	2.4.1 Statisches Verhalten von Regelstrecken	510
3.8 Raffinierung des Erdöls	470	2.4.2 Dynamisches Verhalten von Regelstrecken	511
3.9 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	472	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	512
3.9.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	472	2.6 Reglertypen	514
3.9.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikationsverfahren	473	2.6.1 Proportionalregler	514
3.9.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	474	2.6.2 Integralregler	515
3.9.4 Extraktiv-Rektifikation	475	2.6.3 Differentialregler	515
3.10 Kombinierte Rektifikationsverfahren	476	2.6.4 Proportional-Integral-Regler	516
3.11 Einsparung von Wärmeenergie beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	477	2.6.5 Proportional-Differential-Regler (PD-Regler)	516
3.12 Regelung von Rektifikationsanlagen	477	2.6.6 Proportional-Integral-Differential-Regler (PID-Regler)	517
XII Physikalisch-chemische Trennverfahren	478	2.7 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	518
1 Feststoffextraktion	479	2.8 Regelkreisverhalten und Reglereinstellung	519
1.1 Vorgänge und Begriffe	479	2.9 Digitale Regelgeräte	520
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	479	2.10 Unstetige Regler	522
1.3 Lösemittel für die Feststoff-Extraktion	480	2.11 Regler ohne Hilfsenergie	523
1.4 Physikalische Grundlagen	480	2.12 Regelauflagen in Chemieanlagen	524
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	481	2.12.1 Temperaturregelungen	524
1.6 Absatzweise arbeitende Feststoff-Extraktoren	482	2.12.2 Druckregelungen	525
1.7 Kontinuierlich arbeitende Feststoff-Extraktoren	484	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		Seite
3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	532	4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	573
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	532	5 Reaktorkombinationen	574
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	532	6 Hochdruck-Reaktionsapparate	574
3.3.3 Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	533	7 Reaktionsöfen	576
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	534	8 Elektrolyseapparate	577
3.4 Verknüpfungssteuerungen	535	9 Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse	578
3.4.1 Logische Grundfunktionen	535		
3.4.2 Beispiel einer Sicherheits-Verknüpfungssteuerung	537		
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	538	XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb	580
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	540	1 Chemieproduktion und Umweltschutz	581
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	541	2 Umweltschutzbereich Gewässer	583
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	543	2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	583
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	544	2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	584
3.6.1 Mechanische Steuerungen	544	2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	588
3.6.2 Elektrische Steuerungen	544	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser	589
3.6.3 Elektronische Steuerungen	545	2.5 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage	590
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	545	2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	592
4 Prozessleittechnik	548	3 Umweltschutzbereich Atmosphäre	593
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	548	3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abluft und Abgasen	593
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	550	3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	593
4.2.1 Komponenten des PLS einer kleinen Chemieanlage	550	3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	594
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	552	3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	595
4.2.3 Automatisierungseinheiten	553	3.5 Technologien zur Vermeidung von CO₂-Freisetzen	596
4.2.4 Bussysteme	554	4 Beseitigung von Chemieabfällen	597
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	554	4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	597
4.2.6 Prozesskonfiguration	555	4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	597
4.2.7 Managementstation	555	4.3 Anlage zur Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	598
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	556	4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	599
4.3.1 Fließbilddarstellungen	556	4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	600
4.3.2 Konfektionierte Bilder	557	5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	601
4.3.3 Kurvenbilder	558		
4.3.4 Einblendbilder	558	Sachwortverzeichnis	604
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	559	Danksagung	628
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	560	Firmen- und Bildquellenverzeichnis	628
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	566		
– 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		