

## Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
Chemie und Umwelt .....	11	4.3.6 Sonderbauarten von Kreiselpumpen .....	58
Sicherheit im Chemiebetrieb .....	12	4.3.7 Einsatz von Kreiselpumpen .....	58
Einführung in die Chemietechnik .....	14	4.3.8 Seitenkanalpumpe .....	59
Entwicklung eines Produktionsverfahrens .....	17	4.3.9 Propellerpumpe .....	59
<b>I Die Chemieanlage .....</b>	<b>18</b>	4.4 Betriebsverhalten von Kreiselpumpen .....	60
<b>1 Rohrleitungen .....</b>	<b>19</b>	4.4.1 Förderstrom und Förderhöhe einer Pumpe .....	60
1.1 Die Nennweite DN .....	19	4.4.2 Förderhöhe einer Anlage .....	60
1.2 Der Nenndruck PN .....	20	4.4.3 Leistungsbedarf und Wirkungsgrad einer Pumpe .....	61
1.3 Rohre und Rohrmaße für Rohrleitungen .....	21	4.4.4 Kennlinien einer Kreiselpumpe .....	61
1.4 Rohrformstücke .....	23	4.4.5 Anlagenkennlinie .....	61
1.5 Rohrverbindungen .....	23	4.4.6 Betriebspunkt einer Kreiselpumpe .....	62
1.6 Werkstoffe für Rohrleitungen .....	26	4.4.7 Zusammenschalten von Pumpen .....	62
1.7 Rohrleitungsklassen .....	27	4.4.8 Kennfelder von Kreiselpumpen .....	63
1.8 Rohrbefestigungen .....	28	4.4.9 Kavitation bei Kreiselpumpen .....	63
1.9 Kennzeichnung von Rohrleitungen .....	28	4.4.10 Berechnung des kavitationsfreien Pumpenbetriebs, NPSH-Wert .....	64
1.10 Rohrdehnungsausgleich .....	30	4.4.11 Anfahren und Abschalten von Kreiselpumpen .....	66
1.11 Rohrisolierungen .....	31	4.5 Hubkolbenpumpen .....	67
1.12 Grafische Darstellung der Rohrleitungen .....	32	4.5.1 Aufbau und Arbeitsweise von Hubkolbenpumpen .....	67
<b>2 Armaturen .....</b>	<b>34</b>	4.5.2 Merkmale und Verwendung .....	68
2.1 Schieber, Klappen, Hähne .....	34	4.6 Kolben-Membranpumpen .....	68
2.2 Ventile .....	35	4.7 Umlaufkolbenpumpen .....	69
2.2.1 Absperr- und Regelventile .....	35	4.7.1 Schraubenspindelpumpen .....	69
2.2.2 Stellantriebe für Armaturen .....	37	4.7.2 Exzentrerschneckenpumpen .....	69
2.2.3 Geregelter Ventile .....	38	4.7.3 Zahnradpumpen .....	69
2.2.4 Darstellung der Armaturen im R & I-Fließbild .....	38	4.7.4 Impellerpumpen .....	70
2.3 Rohrleitungs-Einbauschrauben .....	38	4.7.5 Schlauchpumpen .....	70
2.4 Rückflussverhinderer .....	39	4.8 Strahlpumpe .....	70
2.5 Sicherheitsventile .....	40	4.9 Übersicht: Eigenschaften und Einsatzgebiete von Pumpen .....	71
2.6 Berstsicherungen .....	41	4.10 Dosieren von Flüssigkeiten .....	72
2.7 Druckminderer (Druckminderer) .....	42	4.11 Dosieren und Reinigen durch Molchen .....	72
2.8 Kondensatableiter .....	43	<b>5 Fördern und Verdichten von Gasen .....</b>	<b>75</b>
2.9 Entlüfter .....	45	5.1 Gesetzmäßigkeiten bei Zustandsänderungen einer Gasportion .....	75
2.10 Schmutzfänger .....	45	5.2 Vorgänge beim Verdichten von Gasen .....	77
<b>3 Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen .....</b>	<b>46</b>	5.3 Fördereinrichtungen und Verdichter für Gase .....	77
3.1 Volumenstrom, Massenstrom, Strömungsgeschwindigkeit .....	46	5.4 Hubkolbenverdichter .....	78
3.2 Strömung in veränderten Rohrquerschnitten .....	47	5.5 Rotationskolbenverdichter .....	80
3.3 Druckänderung bei der Strömung in veränderten Rohrquerschnitten .....	47	5.6 Turboverdichter .....	81
3.4 Innere Reibung, Viskosität .....	48	5.7 Gebläse .....	82
3.5 Strömungsarten .....	49	5.8 Ventilatoren .....	82
3.6 Druckverlust in Rohrleitungen .....	50	<b>6 Erzeugung von Unterdruck (Vakuumentchnik) .....</b>	<b>84</b>
3.7 Rohrleitungskennlinie .....	51	6.1 Flüssigkeitsringvakuumpumpen .....	84
3.8 Druckverlauf in Rohrleitungen .....	52	6.2 Treibmittelvakuumpumpen .....	85
<b>4 Fördern von Flüssigkeiten .....</b>	<b>53</b>	6.3 Kombinierte Strahlpumpensysteme .....	85
4.1 Übersicht der Förderarten .....	53	6.4 Rotationsverdränger-Vakuumpumpen .....	86
4.2 Fördern mit Pumpen .....	54	6.5 Diffusionsvakuumpumpen .....	88
4.3 Kreiselpumpen .....	54	6.6 Turbo-Molekularpumpen .....	88
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise .....	54	6.7 Einsatz der geeigneten Vakuumpumpe .....	88
4.3.2 Pumpenlaufräder .....	55	6.7.1 Abpumpen von trockenen Gasen .....	89
4.3.3 Kreiselpumpen-Bauarten .....	56	6.7.2 Abpumpen von dampfhaltigen Gasen .....	89
4.3.4 Wellenabdichtung bei Kreiselpumpen .....	57		
4.3.5 Kreiselpumpenanlage .....	57		

	Seite		Seite
<b>7 Fördern von Feststoffen</b>	90	13.5.4 Erstickende Gase	141
7.1 Beschreibung von Schüttgütern	90	13.5.5 Lösemittel und giftige Flüssigkeiten	142
7.2 Mechanische Schüttgutförderer	91	13.5.6 Feste Giftstoffe	142
7.3 Pneumatische Schüttgutförderer	94	13.5.7 Langzeit-Schadstoffe	143
7.4 Schüttgutdosierer	95	13.5.8 Arbeitsplatzgrenzwerte	144
7.5 Förderanlagen für Stückgut	96	13.6 Vermeiden von Gesundheitsschäden	
7.6 Unstetigförderer	97	durch physikalische Einwirkungen	145
7.7 Handhabung: Schüttgüter und Stückgut	98	13.6.1 Lärmschutz	145
<b>8 Lagerung und Transport von</b>		13.6.2 Strahlenschutz	145
<b>Chemikalien</b>	100	<b>II Elektrotechnik im Chemiebetrieb</b>	<b>146</b>
8.1 Lager für Schüttgüter	100	<b>1 Elektrotechnische Grundlagen</b>	146
8.2 Stückgutlagerung	102	1.1 Anwendungen der Elektrizität	146
8.3 Lagern von Flüssigkeiten	103	1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik	147
8.4 Handhabung und Transport brennbarer		1.3 Elektrische Grundgrößen	148
und giftiger Flüssigkeiten	106	1.4 Ohm'sches Gesetz	149
8.5 Lagerung von Gasen	107	1.5 Elektrische Leistung, Arbeit,	
<b>9 Übersicht der Maschinen und Apparate</b>	110	Wirkungsgrad	150
9.1 Elektromotoren und Getriebe	110	1.6 Elektrische Schaltung von Verbrauchern	151
9.2 Rührbehälter (Rührkessel)	111	1.7 Messen elektrischer Größen	152
9.3 Zerkleinerungsmaschinen	112	1.8 Stromarten	153
9.4 Filtrierapparate	112	<b>2 Stromversorgung und sicherer</b>	
9.5 Wärmetauscher	113	<b>Umgang mit der Elektrizität</b>	154
9.6 Rektifikationskolonnen	113	2.1 Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	154
<b>10 Zeichnerische Darstellung der</b>		2.2 Elektrische Installation und Anschlüsse	155
<b>Chemieanlage</b>	114	2.3 Schutzmaßnahmen für elektrische	
10.1 Grundfließbild	114	Betriebsmittel	156
10.2 Verfahrensließbild	115	2.4 Mögliche Fehler an stromführenden	
10.3 Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild		Geräten	157
(R&I - Fließbild)	117	2.5 Gefahren durch den elektrischen Strom	157
10.4 Beispiele von R&I - Fließbildern		2.6 Sicherer Umgang mit stromführenden	
technischer Anlagen	118	Leitungen und Maschinen	158
10.5 Grafische Symbole in Fließbildern	120	2.7 Bildzeichen auf elektrischen Geräten	
<b>11 Betrieb und Instandhaltung</b>	124	und Maschinen	158
11.1 Betrieb einer Chemieanlage	124	<b>3 Elektrische Antriebsmaschinen in</b>	
11.2 Instandhaltung einer Chemieanlage	124	<b>Chemieanlagen</b>	159
11.2.1 Wartung	124	3.1 Elektromotoren	159
11.2.2 Inspektionen	127	3.1.1 Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	159
11.2.3 Instandsetzung	128	3.1.2 Gleichstrommotoren	162
<b>12 Sicherheit von Chemieanlagen</b>	129	3.1.3 Motorschutzarten	164
12.1 Betriebssicherheitsverordnung	129	3.2 Getriebe für Elektromotoren	164
12.2 Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	130	3.2.1 Keilriemengetriebe	164
12.3 Schutzmaßnahmen gegen		3.2.2 Zahnradgetriebe	165
Explosionsgefahr	132	3.2.3 Kurvenscheiben-Getriebe	166
<b>13 Unfallverhütung und Arbeitssicherheit</b>	134	3.2.4 Stufenscheibengetriebe	167
13.1 Gefährliche Arbeitsbereiche	134	3.2.5 Umschlingungsgetriebe	167
13.2 Brand- und Explosionsschutz	136	<b>4 Elektrochemische Grundlagen</b>	168
13.2.1 Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	136	4.1 Galvanische Elemente	168
13.2.2 Vermeiden von Bränden und		4.2 Elektrolyse	170
Explosionen	137	4.2.1 Elektrolyse wässriger Lösungen	170
13.2.3 Brandbekämpfung und Brandschutz	137	4.2.2 Faraday'sche Gesetze	171
13.3 Umgang mit gesundheitsschädlichen		4.2.3 Technische Elektrolyse-Verfahren	171
Stoffen	138	<b>III Bauteile in Maschinen und Apparaten</b>	<b>173</b>
13.4 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	138	<b>1 Elemente für drehende Bewegungen</b>	173
13.4.1 Gefahrstoffpiktogramme nach GHS	138	1.1 Wellen, Achsen, Bolzen	173
13.4.2 H-Sätze und P-Sätze	139	1.2 Zahnräder	174
13.4.3 Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	138	1.3 Welle-Nabe-Verbindungen	175
13.5 Arten von Gefahrstoffen	149	1.4 Wellenkupplungen	176
13.5.1 Ätzende Stoffe	140		
13.5.2 Ätz- und Reizgase	141		
13.5.3 Atemgifte	141		

	Seite		Seite
<b>2 Lager</b>	177	<b>6.5 Auswahl geeigneter Werkstoffe</b>	215
2.1 Gleitlager	177	<b>6.6 Korrosionsschutzmaßnahmen</b>	218
2.2 Wälzlager	177	6.6.1 Korrosionsschutzanstriche	218
<b>3 Dichtungen</b>	178	6.6.2 Zinkbeschichtungen	218
3.1 Dichtungen an nicht bewegten Flächen	178	6.6.3 Korrosionsschutz von Apparaten aus nichtrostenden Stählen	219
3.2 Wellendichtungen	178	6.6.4 Verminderung der Aggressivität des einwirkenden Stoffes	219
<b>4 Fügeteile für Maschinen und Apparate</b>	180	6.6.5 Vermeidung von Korrosionsstellen	219
4.1 Schraubenverbindungen	180	6.6.6 Katodischer Korrosionsschutz	220
4.2 Schraubenarten	181	6.6.7 Korrosionsschutz von Al-Bauteilen	220
4.3 Muttern	182	<b>7 Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb</b>	221
4.4 Schraubensicherungen	182	7.1 Fehlerortung in Chemieanlagen	221
4.5 Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern	182	7.2 Korrosionsüberwachung	223
4.6 Stifte	182	<b>8 Kunststoffe</b>	224
<b>5 Deckelverschlüsse</b>	183	8.1 Eigenschaften und Verwendung	224
<b>6 Schweiß- und Lötverbindungen</b>	184	8.2 Technologische Einteilung	224
6.1 Lichtbogenhandschweißen	184	8.3 Thermoplastische Kunststoffe	225
6.2 Schutzgas-Schweißen (SG-Schweißen)	184	8.4 Duroplastische Kunststoffe	226
6.3 Gasschmelzschweißen	185	8.5 Elastomere	227
6.4 Löten	185	8.6 Beständigkeitsverhalten und Alterung	228
<b>7 Hydrauliksysteme in Maschinen</b>	186	8.7 Verarbeitung von Kunststoffen	228
<b>8 Pneumatik im Chemiebetrieb</b>	188	<b>9 Verbundwerkstoffe</b>	229
<b>IV Werkstofftechnik für Chemieanlagen</b>	<b>190</b>	<b>10 Nichtmetallische anorganische Werkstoffe</b>	230
<b>1 Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe</b>	190	10.1 Chemieapparateglas	230
<b>2 Eigenschaften der Werkstoffe</b>	192	10.2 Chemieapparate-Email	230
2.1 Physikalische Eigenschaften	192	10.3 Keramische Werkstoffe	231
2.2 Mechanische Eigenschaften	193	10.4 Chemisch beständige Ausmauerungen	231
2.3 Chemisch-technologische Eigenschaften	194	10.5 Grafit und Kohlewerkstoffe	231
2.4 Fertigungstechnische Eigenschaften	195	<b>11 Schmierstoffe</b>	232
2.5 Umweltverträglichkeit	195	11.1 Schmieröle	232
<b>3 Stähle</b>	196	11.2 Schmierfette	233
3.1 Baustähle für mechanische Beanspruchung	196	11.3 Feste Schmierstoffe	233
3.2 Baustähle für mechanische und thermische Belastung	199	<b>V Messtechnik in Chemieanlagen</b>	<b>234</b>
3.3 Baustähle für chemische Belastung: Die nichtrostenden Stähle	200	<b>1 Temperaturmessung</b>	236
3.4 Werkzeugstähle	202	1.1 Temperaturskalen	236
<b>4 Gusseisen und Stahlguss</b>	204	1.2 Mechanische Temperaturmessgeräte	237
4.1 Gusseisen	204	1.3 Temperaturmessgeräte mit elektrischem Ausgangssignal	238
4.2 Stahlguss	205	<b>2 Druckmessung</b>	240
<b>5 Nichteisenmetalle (NE-Metalle)</b>	206	2.1 Definition, Einheiten, Umrechnung	240
5.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	206	2.2 Druckarten	240
5.2 Kupfer und Kupferlegierungen	207	2.3 U-Rohr-Manometer	241
5.3 Nickel-Werkstoffe	208	2.4 Federmanometer	241
5.4 Titan (Ti)	209	2.5 Drucksensoren	242
5.5 Blei (Pb)	209	2.6 Druckdifferenzmessung	243
5.6 Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	210	2.7 Druckmittler, Druckwächter	243
5.7 Zink (Zn)	210	2.8 Besonderheiten der Druckmessung	244
5.8 Zinn (Sn)	210	<b>3 Füllstandsmessung</b>	246
<b>6 Korrosion und Korrosionsschutz</b>	211	3.1 Füllstandsmessgeräte für Flüssigkeiten	246
6.1 Chemische Korrosion	211	3.1.1 Mechanische Füllstandsmessgeräte	246
6.2 Elektrochemische Korrosion	211	3.1.2 Hydrostatische Füllstandsmessung	247
6.3 Korrosionsarten und Erscheinungsbild	213	3.1.3 Ultraschall-Füllstandsmessung	248
6.4 Korrosionsbeständigkeit der metallischen Werkstoffe	215	3.1.4 Kapazitive Füllstandsmessung	248
		3.1.5 Füllstandsmessung mit Radar	249

	Seite		Seite		
3.2	Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten	249	4.2.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren	285	
3.3	Füllstandsmessgeräte und Grenzschnalter für Schüttgüter	250	4.2.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	286	
3.4	Rauminhalte von Behältern	252	4.2.3 Katalytische Wärmetönungs-Sensoren	286	
3.5	Gasmengenbestimmung in Tanks	253	4.2.4 Elektrochemische Sensoren	286	
4	Durchflussmessung und Mengenmessung	254	4.2.5 Technische Gasanalysegeräte	287	
4.1	Durchflussmesser	255	5	Messung von Luftbestandteilen	287
4.1.1	Schwebekörper-Durchflussmesser	255	5.1	Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe	287
4.1.2	Durchflussmesser mit Messblende	255	5.2	Explosionsgrenzen	287
4.1.3	Wirbel-Durchflussmesser	256	5.3	Luftfeuchtigkeitsmessung	288
4.1.4	Schwingungs-Durchflussmesser	256	5.4	Rauch- und Staubkonzentrationsmessung	288
4.1.5	Ultraschall-Durchflussmesser	257	6	Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	289
4.1.6	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	257	6.1	Qualitätsmanagement	289
4.1.7	Coriolis-Massedurchflussmesser	258	6.2	Qualitätsmanagementsysteme	289
4.1.8	Thermischer Durchflussmesser	258	6.3	Werkzeuge der Qualitätssicherung	291
4.1.9	Turbinenrad-Durchflussmesser	259	6.3.1	Checklisten	291
4.1.10	Flügelrad-Durchflussmesser	259	6.3.2	Histogramme	291
4.2	Mengenmesser für strömende Fluide	259	6.3.3	Verteilungskurve und statistische Kennwerte	292
4.3	Strömungsanzeiger, Durchflusswächter	261	6.3.4	Ischikawa-Diagramm	293
5	Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige	262	6.3.5	Fehlersammelkarte	293
6	Darstellung und Benennung von Messstellen	265	6.3.6	Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	294
			6.3.7	Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	294
VI	Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften	266	VII	Aufbereitungstechnik	297
1	Probenahme	266	1	Beschreibung von Schüttgütern	298
1.1	Probenahme von Flüssigkeiten	267	1.1	Größe von Partikeln in Schüttgut	298
2.1	Probenahme von Feststoffen	267	1.2	Oberflächen von Schüttgütern	298
2	Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	268	1.3	Charakterisierung eines Schüttguts	299
2.1	Bestimmen der Masse	268	1.4	Verteilungsdichtekurven von Schüttgütern	300
2.2	Bestimmen der Dichte	270	2	Zerkleinern von Feststoffen	301
2.3	Bestimmen der Feuchtigkeit	271	2.1	Physikalische Grundlagen	301
2.4	Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	272	2.2	Zerkleinerungsverfahren	302
2.4.1	Probenahme zur Siebanalyse	272	2.3	Brecher	302
2.4.2	Siebanalyse	273	2.4	Mühlen	304
2.4.3	Auswertung der Siebanalyse	274	2.5	Schneidmühlen, Granulatoren	306
2.4.4	RRSB-Körnungsnetz	276	2.6	Zerkleinerungsanlagen	306
3	Messung der Eigenschaften und Bestandteilen von Flüssigkeiten	278	3	Flüssigkeitszerteilung	307
3.1	Messung der Dichte von Flüssigkeiten	278	3.1	Berieseln, Versprühen	308
3.2	Viskositätsmessung	279	3.2	Zerstäuben, Verdüsen	308
3.3	Messung der elektrischen Leitfähigkeit	280	4	Agglomerieren (Zusammenfügen)	309
3.4	Messung des pH-Werts	280	4.1	Aufbaugranulieren (Pelletieren)	309
3.5	Messung des Redox-Potentials	281	4.2	Formpressen	311
3.6	Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	282	4.3	Sintern	312
3.7	Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	283	5	Mischen (Stoffvereinigen)	313
3.8	Messung der Trübung in Flüssigkeiten	283	5.1	Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	314
4	Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	284	5.1.1	Rührbehälter	314
4.1	Chromatografische Analyse	284	5.1.2	Rührwerk	316
4.2	Analyse mit Sensoren	285	5.1.3	Rührer	317
			5.1.4	Strömungsvorgänge im Rührbehälter	318
			5.1.5	Verfahrenstechnische Operationen durch Rühren	319
			5.2	Pneumatisches Rühren	321
			5.3	Strömungsmischer	321
			5.4	Kneten, Anteigen	323
			5.5	Mischen von Feststoffschüttungen	325

	Seite		Seite
<b>VIII Heiz- und Kühltechnik</b>	<b>327</b>		
<b>1 Wärme – eine Energieart</b>	<b>327</b>	2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	369
1.1 Wärmeeinheiten	327	2.2.3 Kontinuierlich arbeitende Filterapparate	371
1.2 Wärmemengen	327	2.3 Auspressen	373
1.3 Umwandlungswärmen	328	2.4 Zentrifugieren	374
1.4 Gesamtwärmemenge	329	2.4.1 Wirkprinzip	374
1.5 Temperaturen von Mischungen	330	2.4.2 Absatzweise Filtrierzentrifugen	375
<b>2 Energieträger im Chemiebetrieb</b>	<b>331</b>	2.4.3 Kontinuierliche Filtrierzentrifugen	376
2.1 Brennstoffe	331	2.4.4 Sedimentierzentrifugen	376
2.2 Elektrischer Strom	332	2.4.5 Industrielle Zentrifugieranlage	379
2.3 Wasserdampf	333	<b>3 Mechanische Trennung von Emulsionen</b>	<b>380</b>
2.4 Heizflüssigkeiten	335	3.1 Dekantieren	380
2.5 Gasförmige und feste Wärmeträger	335	3.2 Zentrifugieren	380
2.6 Kühl- und Kältemittel	335	3.3 Ultrafiltration	381
2.7 Druckluft und Vakuum	336		
<b>3 Wärmeübertragung</b>	<b>337</b>	<b>X Entstaubung und Abgasreinigung</b>	<b>382</b>
3.1 Physikalische Grundlagen	337	<b>1 Entstaubung</b>	<b>383</b>
3.2 Wärmeübertragung in der		1.1 Mechanische Entstaubung	384
Chemietechnik	338	1.2 Nassentstaubung	387
3.3 Wärmeleitung	338	1.3 Filtrationsentstaubung	387
3.4 Wärmeübergang	339	1.4 Elektroentstaubung	388
3.5 Wärmedurchgang	340	1.5 Entstaubungsanlage	389
3.6 Wärmestrahlung	341	<b>2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeits-</b>	<b>tröpfchen</b>
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	342		390
<b>4 Wärmetauscher</b>	<b>344</b>	<b>3 Abscheidung von Fremdgasen</b>	<b>391</b>
4.1 Rohrbündel-Wärmetauscher	344	3.1 Fremdgasabscheidung durch	
4.2 Rohrschlangen-Wärmetauscher	345	Kondensation	391
4.3 Doppelrohr-Wärmetauscher	346	3.2 Gasreinigung durch Absorption	392
4.4 Spiral-Wärmetauscher	346	3.3 Gasreinigung durch Adsorption	396
4.5 Platten-Wärmetauscher	346	3.4 Gasreinigung durch Dampfpermeation	399
<b>5 Kondensatoren</b>	<b>347</b>	3.5 Katalytische Gasreinigung	400
5.1 Oberflächenkondensatoren	347	3.6 Abluftreinigung durch Verbrennung	401
5.2 Mischkondensatoren	348		
<b>6 Heizen und Kühlen von Rührbehältern</b>	<b>349</b>	<b>XI Thermische Trennverfahren</b>	<b>402</b>
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	349	<b>1 Trocknen</b>	<b>403</b>
6.2 Direkte Wärmeübertragung	349	1.1 Physikalische Grundlagen	403
6.3 Heiz-/Kühl-Systeme bei Rührbehältern	350	1.2 $h$ - $X$ -Diagramm der Trocknung	406
<b>7 Energieeinsparung bei Wärmeaustausch-</b>	<b>verfahren</b>	1.3 Trocknungsverfahren	408
	351	1.4 Trockner für Feststoffschüttungen	409
<b>8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser</b>	<b>352</b>	1.5 Trockner für Flüssigkeiten und	
		Suspensionen	411
<b>IX Mechanische Trennverfahren</b>	<b>355</b>	1.6 Vakuumgefrier Trocknung	413
<b>1 Mechanische Trennverfahren für</b>	<b>Feststoff-Gemische</b>	1.7 Industrielle Trocknungsanlage	414
	355	<b>2 Thermische Trennung von Lösungen</b>	<b>416</b>
1.1 Sortieren	357	2.1 Verdampfen	416
1.1.1 Dichtesortieren	357	2.1.1 Verdampfen reiner Lösemittel	416
1.1.2 Flotieren	358	2.1.2 Eindampfen von Lösungen	417
1.1.3 Magnetsortieren	359	2.1.3 Vorgänge im Verdampfer	417
1.2 Klassieren	360	2.1.4 Absatzweise und kontinuierliche	
1.2.1 Sieben	360	Eindampfung	418
1.2.2 Sichten (Windsichten)	362	2.1.5 Verdampferbauarten	419
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	364	2.1.6 Verdampferanlagen	421
<b>2 Mechanische Trennverfahren für</b>	<b>Feststoff/Flüssigkeits-Gemische</b>	2.2 Kristallisieren aus Lösungen	423
	365	2.2.1 Physikalische Grundlagen	423
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	365	2.2.2 Kristallisationsverfahren	424
2.2 Filtrieren	368	2.2.3 Kristallisationsapparate	425
2.2.1 Wirkprinzip	368	2.3 Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen	428
		2.4 Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)	428

	Seite		Seite
<b>3 Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen</b>	<b>430</b>	<b>2 Flüssig/Flüssig-Extraktion</b>	<b>468</b>
3.1 Physikalische Grundlagen	430	2.1 Physikalische Grundlagen	468
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	430	2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	469
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeitsgemischen	430	2.3 Kontinuierliche Flüssig-Flüssig-Extraktionsanlagen	470
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	431	2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen	472
3.1.4 Siedediagramm	433	<b>3 Ionenaustausch-Verfahren</b>	<b>473</b>
3.1.5 Gleichgewichtsdiagramm	433	3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	473
3.2 Destillieren	434	3.2 Wasser-Vollentsalzung	474
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation	434	3.3 Wasserenthärtung	475
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	435	3.4 Abwasserentgiftung	475
3.2.3 Absatzweise fraktionierte Destillation	436	3.5 Ionenaustauscheranlagen	475
3.2.4 Kontinuierliche einfache Destillation	436	<b>4 Membran-Trenntechnologie</b>	<b>477</b>
3.2.5 Wasserdampfdestillation	437	4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	477
3.3 Rektifizieren	439	4.2 Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	478
3.3.1 Vorgänge beim Rektifizieren	439	4.2.1 Umkehrosmose	478
3.3.2 Rektifikationskolonnen mit Austauschböden	441	4.2.2 Nanofiltration	478
3.3.3 Änderung der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	442	4.2.3 Ultrafiltration	479
3.3.4 Theoretische Trennstufenzahl	443	4.2.4 Mikrofiltration	479
3.3.5 Bodenwirkungsgrad und erforderliche Anzahl der Austauschböden	443	4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	479
3.3.6 Rücklaufverhältnis	444	4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	481
3.3.7 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	444	4.5 Pervaporation	482
3.4 Rektifikationsverfahren	446	4.6 Dampfpermeation	483
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	446	<b>XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik</b>	<b>484</b>
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	447	<b>1 Übersicht und Begriffe</b>	<b>484</b>
3.4.3 Arten des Gemischzulaufs	448	<b>2 Regelungstechnik</b>	<b>486</b>
3.4.4 Bestimmung der Trennstufenzahl in kontinuierlichen Rektifikationskolonnen	449	2.1 Grundlagen	486
3.5 Rektifizieren von Mehrstoffgemischen	450	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	488
3.6 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	451	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	490
3.7 Raffinierung des Erdöls	452	2.4 Regelstrecken	492
3.8 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	454	2.4.1 Statisches Verhalten	492
3.8.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	454	2.4.2 Dynamisches Verhalten	493
3.8.2 Zweidruck-Rektifikationsverfahren	455	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	494
3.8.3 Azeotrop-Rektifikation	456	2.6 Regler	496
3.8.4 Extraktiv-Rektifikation	457	2.6.1 Zeitverhalten stetiger Reglertypen	496
3.9 Kombinierte Rektifikationsverfahren	458	2.6.2 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	498
3.10 Wärmeenergieeinsparung beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	459	2.6.3 Unstetige Regler	499
3.11 Regelung von Rektifikationsanlagen	459	2.6.4 Regelgeräte	500
<b>XII Physikalisch-chemische Trennverfahren</b>	<b>460</b>	2.6.5 Regler ohne Hilfsenergie	501
<b>1 Feststoffextraktion</b>	<b>461</b>	2.7 Regelaufgaben in Chemieanlagen	502
1.1 Vorgänge und Begriffe	461	2.7.1 Temperaturregelungen	502
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	461	2.7.2 Druckregelungen	503
1.3 Lösemittel für die Extraktion	462	2.7.3 Durchflussregelungen	505
1.4 Physikalische Grundlagen	462	2.7.4 Mengenregelung	505
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	463	2.7.5 Füllstandsregelungen	506
1.6 Absatzweise Feststoff-Extraktoren	464	2.7.6 Regelung von Analysewerten	506
1.7 Kontinuierliche Feststoff-Extraktoren	466	2.7.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	507
		2.8 Regelkreisverhalten und Reglereinstellung	508

	Seite		Seite
<b>3 Steuerungstechnik</b>	509	<b>3 Chargenbetrieb</b>	544
3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	509	3.1 Reaktionsbehälter	544
3.2 Steuerungsarten	510	3.2 Charakteristisches des Chargenbetriebs	545
3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	511	<b>4 Fließbetrieb</b>	546
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	511	4.1 Reaktionsapparate für Fließbetrieb	546
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	511	4.2 Charakteristisches des Fließbetriebs	546
3.3.3 Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	512	4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	547
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	512	<b>5 Reaktorkombinationen</b>	548
3.4 Grundfunktionen der binären Signalverarbeitung	514	<b>6 Hochdruck-Reaktionsapparate</b>	548
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	516	<b>7 Reaktionsöfen</b>	550
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	518	<b>8 Elektrolyseapparate</b>	551
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	519	<b>9 Beurteilungsgrößen für Reaktoren</b>	551
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	521	<b>XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb</b>	<b>554</b>
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	522	<b>1 Chemieproduktion und Umweltschutz</b>	555
3.6.1 Mechanische Steuerungen	522	<b>2 Umweltschutzbereich Wasser</b>	557
3.6.2 Elektrische Steuerungen	522	2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	557
3.6.3 Elektronische Steuerungen	525	2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	558
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	525	2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	562
<b>4 Prozessleittechnik</b>	526	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser	563
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	526	2.5 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage	564
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	528	2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	566
4.2.1 Komponenten eines Prozessleitsystems	528	<b>3 Umweltschutzbereich Luft</b>	567
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	529	3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abgasen	567
4.2.3 Automatisierungseinheiten	530	3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	567
4.2.4 Eingabe/Ausgabe-Einheiten	530	3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	568
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	531	3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	569
4.2.6 Bussysteme	531	<b>4 Beseitigung von Chemieabfällen</b>	570
4.2.7 Managementstation	531	4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	570
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	532	4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	570
4.3.1 Fließbilddarstellungen	532	4.3 Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	571
4.3.2 Konfektionierte Bilder	533	4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	572
4.3.3 Kurvenbilder	534	4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	573
4.3.4 Einblendbilder (Windows)	534	<b>5 Produktionsintegrierter Umweltschutz</b>	574
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	535	<b>Lernfelder des KMK-Lehrplans für Chemikanten und Zuordnung der Buchinhalte</b>	<b>576</b>
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	536	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>581</b>
4.5.1 Messwertaufbereitungsfunktionen	536	(mit englischer Übersetzung)	
4.5.2 Regelfunktionen	536	<b>Bildnachweise und Quellenverzeichnis</b>	<b>607</b>
4.5.3 Steuerungsfunktionen	537		
4.5.4 Rezeptursteuerung von Chargenprozessen	538		
4.5.5 Steuerung von Rohrleitungsnetzen	540		
4.5.6 Überwachungsfunktionen	540		
4.5.7 Instandhaltungs-Management	541		
<b>XIV Chemische Reaktionstechnik</b>	<b>542</b>		
<b>1 Reaktionsverfahren</b>	543		
<b>2 Einflussgrößen auf die Reaktion</b>	543		