

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
I Die Chemieanlage	18	4.4	Betriebsverhalten von Kreiselpumpen	60
1 Rohrleitungen	19	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
2 Armaturen	34	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	Exzenterorschneckenpumpen	69
2.2.3 Geregelte Ventile	38	4.7.3	Zahnradpumpen	69
2.2.4 Darstellung der Armaturen im R & I-Fließschema	38	4.7.4	Impellerpumpen	70
2.3 Rohrleitungs-Einbauscheiben	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 Druckminderventile (Druckminderer)	42	4.11	Dosieren und Reinigen durch Molchen	72
2.8 Kondensatabscheiter	43	5	Fördern und Verdichten von Gasen	75
2.9 Entlüfter	45	5.1	Gesetzmäßigkeiten bei Zustandsänderungen einer Gasportion	75
2.10 Schmutzfänger	45	5.2	Vorgänge beim Verdichten von Gasen	77
3 Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen	46	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	6	Erzeugung von Unterdruck (Vakuumtechnik)	84
3.7 Rohrleitungskennlinie	51	6.1	Flüssigkeitsringvakuumpumpen	84
3.8 Druckverlauf in Rohrleitungen	52	6.2	Treibmittelvakuumpumpen	85
4 Fördern von Flüssigkeiten	53	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
7 Fördern von Feststoffen	90	14.5.3 Atemgifte	143
7.1 Beschreibung von Schüttgütern	90	14.5.4 Erstickende Gase	143
7.2 Mechanische Schüttgutförderer	91	14.5.5 Lösemittel und giftige Flüssigkeiten	144
7.3 Pneumatische Schüttgutförderer	94	14.5.6 Feste Giftstoffe	144
7.4 Schüttgutdosierer	95	14.5.7 Langzeit-Schadstoffe	145
7.5 Förderanlagen für Stückgut	96	14.5.8 Arbeitsplatzgrenzwerte	146
7.6 Unstetigförderer	97	14.6 Vermeiden von Gesundheitsschäden durch physikalische Einwirkungen	147
7.7 Handhabung: Schüttgüter und Stückgut	98	14.6.1 Lärmschutz	147
8 Lagerung und Transport von Chemikalien	100	14.6.2 Strahlenschutz	147
8.1 Lager für Schüttgüter	100		
8.2 Stückgutlagerung	102		
8.3 Lagern von Flüssigkeiten	103		
8.4 Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten	106		
8.5 Lagerung von Gasen	107		
9 Übersicht der Maschinen und Apparate	110		
9.1 Elektromotoren und Getriebe	110		
9.2 Rührbehälter (Rührkessel)	111		
9.3 Zerkleinerungsmaschinen	112		
9.4 Filterapparate	112		
9.5 Wärmetauscher	113		
9.6 Rektifikationskolonnen	113		
10 Projektierung von Chemieapparaten	114		
11 Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	116		
11.1 Grundfließschema	116		
11.2 Verfahrensfließschema	117		
11.3 Rohrleitungs- und Instrumenten- fließschema (R&I-Fließschema)	119		
11.4 Beispiele von R&I-Fließschemata technischer Anlagen	120		
11.5 Grafische Symbole in Fließschemata	122		
12 Betrieb und Instandhaltung	126		
12.1 Betrieb einer Chemieanlage	126		
12.2 Instandhaltung einer Chemieanlage	126		
12.2.1 Wartung	126		
12.2.2 Inspektionen	129		
12.2.3 Instandsetzung	130		
13 Sicherheit von Chemieanlagen	130		
13.1 Betriebssicherheitsverordnung	131		
13.2 Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	132		
13.3 Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr	134		
14 Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	136		
13.1 Gefährliche Arbeitsbereiche	136		
14.2 Brand- und Explosionsschutz	138		
14.2.1 Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	138		
14.2.2 Vermeiden von Bränden und Explosionen	139		
14.2.3 Brandbekämpfung und Brandschutz	139		
14.3 Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	140		
14.4 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	140		
14.4.1 Gefahrstoffpiktogramme nach GHS	140		
14.4.2 H-Sätze und P-Sätze	140		
14.4.3 Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	140		
14.5 Arten von Gefahrstoffen	142		
14.5.1 Ätzende Stoffe	142		
14.5.2 Ätz- und Reizgase	143		
II Elektrotechnik im Chemiebetrieb	148		
1 Elektrotechnische Grundlagen	148		
1.1 Anwendungen der Elektrizität	148		
1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik	149		
1.3 Elektrische Grundgrößen	150		
1.4 Ohm'sches Gesetz	151		
1.5 Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	152		
1.6 Elektrische Schaltung von Verbrauchern	153		
1.7 Messen elektrischer Größen	154		
1.8 Stromarten	155		
2 Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	156		
2.1 Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	156		
2.2 Elektrische Installation und Anschlüsse	157		
2.3 Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	158		
2.4 Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	159		
2.5 Gefahren durch den elektrischen Strom	159		
2.6 Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	160		
2.7 Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	160		
3 Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen	161		
3.1 Elektromotoren	161		
3.1.1 Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	161		
3.1.2 Gleichstrommotoren	164		
3.1.3 Motorschutzarten	166		
3.2 Getriebe für Elektromotoren	166		
3.2.1 Keilriemengetriebe	166		
3.2.2 Zahnradgetriebe	167		
3.2.3 Kurvenscheiben-Getriebe	168		
3.2.4 Stufenscheibengetriebe	169		
3.2.5 Umschaltungsgetriebe	169		
4 Elektrochemische Grundlagen	170		
4.1 Galvanische Elemente	170		
4.2 Elektrolyse	172		
4.2.1 Elektrolyse wässriger Lösungen	172		
4.2.2 Faraday'sche Gesetze	173		
4.2.3 Technische Elektrolyse-Verfahren	173		
III Bauteile in Maschinen und Apparaten	175		
1 Elemente für drehende Bewegungen	175		
1.1 Wellen, Achsen, Bolzen	175		
1.2 Zahnräder	176		
1.3 Welle-Nabe-Verbindungen	177		
1.4 Wellenkupplungen	178		

	Seite		Seite		
2	Lager	179	6.6	Korrosionsschutzmaßnahmen	220
2.1	Gleitlager	179	6.6.1	Korrosionsschutzanstriche	220
2.2	Wälzlager	179	6.6.2	Zinkbeschichtungen	220
3	Dichtungen	180	6.6.3	Korrosionsschutz von Apparaten aus nichtrostenden Stählen	221
3.1	Dichtungen an nicht bewegten Flächen	180	6.6.4	Verminderung der Aggressivität des einwirkenden Stoffes	221
3.2	Wellendichtungen	180	6.6.5	Vermeidung von Korrosionsstellen	221
4	Fügeteile für Maschinen und Apparate	182	6.6.6	Katodischer Korrosionsschutz	222
4.1	Schraubenverbindungen	182	6.6.7	Korrosionsschutz von Al-Bauteilen	222
4.2	Schraubenarten	183	7	Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb	223
4.3	Muttern	184	7.1	Fehlerortung in Chemieanlagen	223
4.4	Schraubensicherungen	184	7.2	Korrosionsüberwachung	225
4.5	Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern	184	8	Kunststoffe	226
4.6	Stifte	184	8.1	Eigenschaften und Verwendung	226
5	Deckelverschlüsse	185	8.2	Technologische Einteilung	226
6	Schweiß- und Lötverbindungen	186	8.3	Thermoplastische Kunststoffe	227
6.1	Lichtbogenhandschweißen	186	8.4	Duroplastische Kunststoffe	228
6.2	Schutzgas-Schweißen (SG-Schweißen)	186	8.5	Elastomere	229
6.3	Gasschmelzschweißen	187	8.6	Beständigkeitsverhalten und Alterung	230
6.4	Löten	187	8.7	Verarbeitung von Kunststoffen	230
7	Hydrauliksysteme in Maschinen	188	9	Verbundwerkstoffe	231
8	Pneumatik im Chemiebetrieb	190	10	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe	232
IV Werkstofftechnik für Chemieanlagen				192	
1	Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe	192	10.1	Chemieapparateglas	232
2	Eigenschaften der Werkstoffe	194	10.2	Chemieapparate-Email	232
2.1	Physikalische Eigenschaften	194	10.3	Keramische Werkstoffe	233
2.2	Mechanische Eigenschaften	195	10.4	Chemisch beständige Ausmauerungen	233
2.3	Chemisch-technologische Eigenschaften	196	10.5	Grafit und Kohlewerkstoffe	233
2.4	Fertigungstechnische Eigenschaften	197	11	Schmierstoffe	234
2.5	Umweltverträglichkeit	197	11.1	Schmieröle	234
3	Stähle	198	11.2	Schmierfette	235
3.1	Baustähle für mechanische Beanspruchung	198	11.3	Feste Schmierstoffe	235
3.2	Baustähle für mechanische und thermische Belastung	201	V	Messtechnik in Chemieanlagen	236
3.3	Baustähle für chemische Belastung: Die nichtrostenden Stähle	202	1	Temperaturmessung	238
3.4	Werkzeugstähle	204	1.1	Temperaturskalen	238
4	Gusseisen und Stahlguss	206	1.2	Mechanische Temperaturmessgeräte	239
4.1	Gusseisen	206	1.3	Widerstandsthermometer	240
4.2	Stahlguss	207	1.4	Thermoelemente	241
5	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	208	1.5	Strahlungspyrometer	242
5.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen	208	1.6	Übersicht: Einsatzbereiche der Temperatur-Messgeräte	242
5.2	Kupfer und Kupferlegierungen	209	2	Druckmessung	243
5.3	Nickel-Werkstoffe	210	2.1	Definition, Einheiten, Umrechnung	243
5.4	Titan (Ti)	211	2.2	Druckarten	243
5.5	Blei (Pb)	211	2.3	U-Rohr-Manometer	244
5.6	Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	212	2.4	Federmanometer	244
5.7	Zink (Zn)	212	2.5	Drucksensoren	245
5.8	Zinn (Sn)	212	2.6	Druckdifferenzmessung	246
6	Korrosion und Korrosionsschutz	213	2.7	Druckmittler, Druckwächter	246
6.1	Chemische Korrosion	213	2.8	Besonderheiten der Druckmessung	247
6.2	Elektrochemische Korrosion	213	3	Füllstandsmessung	249
6.3	Korrosionsarten und Erscheinungsbild	215	3.1	Füllstandsmessgeräte für Flüssigkeiten	249
6.4	Korrosionsbeständigkeit der metallischen Werkstoffe	217	3.1.1	Mechanische Füllstandsmessgeräte	249
6.5	Auswahl geeigneter Werkstoffe	217	3.1.2	Hydrostatische Füllstandsmessung	250

	Seite		Seite
3.2 Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten	252	4.2.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	289
3.3 Füllstandsmessgeräte und Grenzschalter für Schüttgüter	253	4.2.3 Katalytische Wärmetönungs-Sensoren	289
3.4 Rauminhalte von Behältern	255	4.2.4 Elektrochemische Sensoren	289
3.5 Gasmengenbestimmung in Tanks	256	4.2.5 Technische Gasanalysegeräte	290
4 Durchflussmessung und Mengenmessung	257	5 Messung von Luftbestandteilen	290
4.1 Durchflussmesser	258	5.1 Sauerstoffgehalt und Luftschatdstoffe	290
4.1.1 Schwebekörper-Durchflussmesser	258	5.2 Explosionsgrenzen	290
4.1.2 Durchflussmesser mit Messblende	258	5.3 Luftfeuchtigkeitsmessung	291
4.1.3 Wirbel-Durchflussmesser	259	5.4 Rauch- und Staubkonzentrationsmessung	291
4.1.4 Schwingungs-Durchflussmesser	259	6 Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	292
4.1.5 Ultraschall-Durchflussmesser	260	6.1 Qualitätsmanagement	292
4.1.6 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	260	6.2 Qualitätsmanagementsysteme	292
4.1.7 Coriolis-Massedurchflussmesser	261	6.3 Werkzeuge der Qualitätssicherung	294
4.1.8 Thermischer Durchflussmesser	261	6.3.1 Checklisten	294
4.1.9 Turbinenrad-Durchflussmesser	262	6.3.2 Fehlersammelkarte und Datensammelkarte	294
4.1.10 Flügelrad-Durchflussmesser	262	6.3.3 Histogramme	295
4.2 Mengenmesser für strömende Fluide	262	6.3.4 Verteilungskurve und statistische Kennwerte	295
4.3 Strömungsanzeiger, Durchflusswächter	264	6.3.5 Vorberechnungen für die Datensammelkarte	296
5 Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige	265	6.3.6 Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	296
6 Darstellung und Benennung von Messstellen	268	6.3.7 Ischikawa-Diagramm	297
VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften	269	6.3.8 Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	298
1 Probenahme	269	6.3.9 Übersicht der Qualitätswerzeuge	300
1.1 Probenahme von Flüssigkeiten	270	VII Aufbereitungstechnik	301
2.1 Probenahme von Feststoffen	270	1 Beschreibung von Schüttgütern	302
2 Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	271	1.1 Größe von Partikeln in Schüttgut	302
2.1 Bestimmen der Masse	271	1.2 Oberflächen von Schüttgütern	302
2.2 Bestimmen der Dichte	273	1.3 Charakterisierung eines Schüttguts	303
2.3 Bestimmen der Feuchtigkeit	274	1.4 Verteilungsdichtekurven von Schüttgütern	304
2.4 Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	272	2 Zerkleinern von Feststoffen	305
2.4.1 Probenahme zur Siebanalyse	275	2.1 Physikalische Grundlagen	305
2.4.2 Siebanalyse	276	2.2 Zerkleinerungsverfahren	306
2.4.3 Auswertung der Siebanalyse	277	2.3 Brecher	306
2.4.4 RRSB-Körnungsnetz	279	2.4 Mühlen	308
3 Messung der Eigenschaften und Bestandteilen von Flüssigkeiten	281	2.5 Schneidmühlen, Granulatoren	310
3.1 Messung der Dichte von Flüssigkeiten	281	2.6 Zerkleinerungsanlagen	310
3.2 Viskositätsmessung	282	3 Flüssigkeitszerteilung	311
3.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit	283	3.1 Berieseln, Versprühen	312
3.4 Messung des pH-Werts	283	3.2 Zerstäuben, Verdüsen	312
3.5 Messung des Redox-Potentials	284	4 Agglomrieren (Zusammenfügen)	313
3.6 Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	285	4.1 Aufbaugranulieren (Pelletieren)	313
3.7 Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	286	4.2 Formpressen	315
3.8 Messung der Trübung in Flüssigkeiten	286	4.3 Sintern	316
4 Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	287	5 Mischen (Stoffvereinigen)	317
4.1 Chromatografische Analyse	287	5.1 Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	318
4.2 Analyse mit Sensoren	288	5.1.1 Rührbehälter	318
4.2.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren	288	5.1.2 Rührwerk	320
		5.1.3 Rührer	321
		5.1.4 Strömungsvorgänge im Rührbehälter	322
		5.1.5 Verfahrenstechnische Operationen durch Rühren	323
		5.2 Pneumatisches Rühren	325
		5.3 Strömungsmischer	325
		5.4 Kneten, Anteigen	327
		5.5 Mischen von Feststoffschüttungen	329

	Seite		Seite
VIII Heiz- und Kühltechnik	331		
1 Wärme – eine Energieart	331	2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	373
1.1 Wärmeeinheiten	331	2.2.3 Kontinuierlich arbeitende Filterapparate	375
1.2 Wärmemengen	331	2.3 Auspressen	377
1.3 Umwandlungswärmen	332	2.4 Zentrifugieren	378
1.4 Gesamtwärmemenge	333	2.4.1 Wirkprinzip	378
1.5 Temperaturen von Mischungen	334	2.4.2 Absatzweise Filtrierzentrifugen	379
2 Energieträger im Chemiebetrieb	335	2.4.3 Kontinuierliche Filtrierzentrifugen	380
2.1 Brennstoffe	335	2.4.4 Sedimentierzentrifugen	380
2.2 Elektrischer Strom	336	2.4.5 Industrielle Zentrifugieranlage	383
2.3 Wasserdampf	337		
2.4 Heizflüssigkeiten	339	3 Mechanische Trennung von Emulsionen	384
2.5 Gasförmige und feste Wärmeträger	339	3.1 Dekantieren	384
2.6 Kühl- und Kältemittel	339	3.2 Zentrifugieren	384
2.7 Druckluft und Vakuum	340	3.3 Ultrafiltration	385
3 Wärmeübertragung	341		
3.1 Physikalische Grundlagen	341		
3.2 Wärmeübertragung in der Chemietechnik	342		
3.3 Wärmeleitung	342		
3.4 Wärmeübergang	343		
3.5 Wärmedurchgang	344		
3.6 Wärmestrahlung	345		
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	346		
4 Wärmetauscher	348		
4.1 Rohrbündel-Wärmetauscher	348		
4.2 Rohrschlangen-Wärmetauscher	349		
4.3 Doppelrohr-Wärmetauscher	350		
4.4 Spiral-Wärmetauscher	350		
4.5 Platten-Wärmetauscher	350		
5 Kondensatoren	351		
5.1 Oberflächenkondensatoren	351		
5.2 Mischkondensatoren	352		
6 Heizen und Kühlen von Rührbehältern	353		
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	353		
6.2 Direkte Wärmeübertragung	353		
6.3 Heiz-/Kühl-Systeme bei Rührbehältern	354		
7 Energieeinsparung bei Wärmeaustauschverfahren	355		
8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser	356		
IX Mechanische Trennverfahren	359		
1 Mechanische Trennverfahren für Feststoff-Gemische	359	X Entstaubung und Abgasreinigung	386
1.1 Sortieren	361	1 Entstaubung	387
1.1.1 Dichtesortieren	361	1.1 Mechanische Entstaubung	388
1.1.2 Flotieren	362	1.2 Nassentstaubung	391
1.1.3 Magnetsortieren	363	1.3 Filtrationsentstaubung	391
1.2 Klassieren	364	1.4 Elektroentstaubung	392
1.2.1 Sieben	364	1.5 Entstaubungsanlage	393
1.2.2 Sichten (Windsichten)	366		
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	368		
2 Mechanische Trennverfahren für Feststoff/Flüssigkeits-Gemische	369	2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeitströpfchen	394
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	369	3 Abscheidung von Fremdgasen	395
2.2 Filtrieren	372	3.1 Fremdgasabscheidung durch Kondensation	395
2.2.1 Wirkprinzip	372	3.2 Gasreinigung durch Absorption	396
		3.3 Gasreinigung durch Adsorption	400
		3.4 Gasreinigung durch Dampfpermeation	399
		3.5 Katalytische Gasreinigung	404
		3.6 Abluftreinigung durch Verbrennung	405
		XI Thermische Trennverfahren	406
		1 Trocknen	407
		1.1 Physikalische Grundlagen	407
		1.2 h-X-Diagramm der Trocknung	410
		1.3 Trocknungsverfahren	412
		1.4 Trockner für Feststoffschüttungen	413
		1.5 Trockner für Flüssigkeiten und Suspensionen	415
		1.6 Vakuumgefriertrocknung	417
		1.7 Industrielle Trocknungsanlage	418
		2 Thermische Trennung von Lösungen	420
		2.1 Verdampfen	420
		2.1.1 Verdampfen reiner Lösemittel	420
		2.1.2 Eindampfen von Lösungen	421
		2.1.3 Vorgänge im Verdampfer	421
		2.1.4 Absatzweise und kontinuierliche Eindampfung	422
		2.1.5 Verdampferbauarten	423
		2.1.6 Verdampferanlagen	425
		2.2 Kristallisieren aus Lösungen	427
		2.2.1 Physikalische Grundlagen	427
		2.2.2 Kristallisationsverfahren	428
		2.2.3 Kristallisationsapparate	429
		2.3 Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen	432
		2.4 Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)	432

	Seite		Seite
III Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen	434	2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	475
3.1 Physikalische Grundlagen	434	2.3 Kontinuierliche Flüssig-Flüssig-Extraktionsanlagen	476
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	434	2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen	478
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeitsgemischen	434	3 Ionenaustausch-Verfahren	479
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	435	3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	479
3.1.4 Siedediagramm	437	3.2 Wasser-Vollentsalzung	480
3.1.5 Gleichgewichtsdiagramm	437	3.3 Wasserenthärtung	481
3.2 Destillieren	438	3.4 Abwasserentgiftung	481
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation	438	3.5 Ionenaustauscheranlagen	481
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	439	4 Membran-Trenntechnologie	483
3.2.3 Absatzweise fraktionierte Destillation	440	4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	483
3.2.4 Kontinuierliche einfache Destillation	440	4.2 Umkehrosmose	484
3.2.5 Wasserdampfdestillation	441	4.2.1 Nanofiltration	484
3.3 Rektifizieren	443	4.2.3 Ultrafiltration	485
3.3.1 Vorgänge beim Rektifizieren	443	4.2.4 Mikrofiltration	485
3.3.2 Rektifikationskolonnen mit Austauschböden	445	4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	485
3.3.3 Änderung der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	446	4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	487
3.3.4 Theoretische Trennstufenzahl	447	4.5 Pervaporation	488
3.3.5 Bodenwerkungsgrad und erforderliche Anzahl der Austauschböden	447	4.6 Dampfpermeation	489
3.3.6 Rücklaufverhältnis	448	XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik	490
3.3.7 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	448	1 Übersicht und Begriffe	490
3.4 Rektifikationsverfahren	450	2 Regelungstechnik	492
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	450	2.1 Grundlagen	492
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	451	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	494
3.4.3 Arten des Gemischzulaufs	452	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	496
3.4.4 Bestimmung der Trennstufenzahl	453	2.4 Regelstrecken	498
3.4.5 Einfluss der Höhe des Gemischzulaufs	455	2.4.1 Statisches Verhalten	498
3.5 Rektifizieren von Mehrstoffgemischen	456	2.4.2 Dynamisches Verhalten	499
3.6 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	457	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	500
3.7 Raffinierung des Erdöls	458	2.6 Regler	502
3.8 Rektifizierung azeotroper und eng siedender Gemische	460	2.6.1 Zeitverhalten stetiger Reglertypen	502
3.8.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	460	2.6.2 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	504
3.8.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikation	461	2.6.3 Unstetige Regler	505
3.8.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	462	2.6.4 Regelgeräte	506
3.8.4 Extraktiv-Rektifikation	463	2.6.5 Regler ohne Hilfsenergie	507
3.9 Kombinierte Rektifikationsverfahren	465	2.7 Regelaufgaben in Chemieanlagen	508
3.10 Wärmeenergieeinsparung beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	465	2.7.1 Temperaturregelungen	508
3.11 Regelung von Rektifikationsanlagen	465	2.7.2 Druckregelungen	509
XII Physikalisch-chemische Trennverfahren	466	2.7.3 Durchflussregelungen	511
1 Feststoffextraktion	467	2.7.4 Mengenregelung	511
1.1 Vorgänge und Begriffe	467	2.7.5 Füllstandsregelungen	512
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	467	2.7.6 Regelung von Analysewerten	512
1.3 Lösemittel für die Extraktion	468	2.7.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	513
1.4 Physikalische Grundlagen	468	2.8 Regelkreisverhalten und Regler-einstellung	514
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	469	3 Steuerungstechnik	515
1.6 Absatzweise Feststoff-Extraktoren	470	3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	515
1.7 Kontinuierliche Feststoff-Extraktoren	472	3.2 Steuerungsarten	516
2 Flüssig/Flüssig-Extraktion	474	3.3 Beschreibungsarten für Steuerungs-vorgänge	517
2.1 Physikalische Grundlagen	474		

	Seite		Seite
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	517	4.2 Charakteristisches des Fließbetriebs	552
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	517	4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	553
3.3.3 Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	518	5 Reaktorkombinationen	554
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	518	6 Hochdruck-Reaktionsapparate	554
3.4 Grundfunktionen der binären Signalverarbeitung	520	7 Reaktionsöfen	556
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	522	8 Elektrolyseapparate	557
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	524	9 Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse	558
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	525		
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	527	XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb	560
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	528	1 Chemieproduktion und Umweltschutz	561
3.6.1 Mechanische Steuerungen	528	2 Umweltschutzbereich Wasser	563
3.6.2 Elektrische Steuerungen	528	2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	563
3.6.3 Elektronische Steuerungen	531	2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	564
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	531	2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	568
4 Prozessleittechnik	532	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemie-abwasser	569
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	532	2.5 Mechanisch-biologische Abwasser-reinigung in einer kommunalen Kläranlage	570
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	534	2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	572
4.2.1 Komponenten eines Prozessleitsystems	534	3 Umweltschutzbereich Luft	573
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	535	3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abgasen	573
4.2.3 Automatisierungseinheiten	536	3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	573
4.2.4 Eingabe/Ausgabe-Einheiten	536	3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	574
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	537	3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	575
4.2.6 Bussysteme	537	4 Beseitigung von Chemieabfällen	576
4.2.7 Managementstation	537	4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	576
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	538	4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	570
4.3.1 Fließbilddarstellungen	538	4.3 Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	577
4.3.2 Konfektionierte Bilder	539	4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	578
4.3.3 Kurvenbilder	540	4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	579
4.3.4 Einblendbilder (Windows)	540	5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	580
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	541		
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	542		
4.5.1 Messwertaufbereitungsfunktionen	542		
4.5.2 Regelfunktionen	542		
4.5.3 Steuerungsfunktionen	543		
4.5.4 Rezeptursteuering von Chargenprozessen	544		
4.5.5 Steuerung von Rohrleitungsnetzen	546		
4.5.6 Überwachungsfunktionen	546		
4.5.7 Instandhaltungs-Management	547		
XIV Chemische Reaktionstechnik	548		
1 Reaktionsverfahren	549		
2 Einflussgrößen auf die Reaktion	549		
3 Chargenbetrieb	550		
3.1 Reaktionsbehälter	550		
3.2 Charakteristisches des Chargenbetriebs	551		
4 Fließbetrieb	552		
4.1 Reaktionsapparate für Fließbetrieb	552		
		Lernfelder des KMK-Lehrplans für Chemikanten und Zuordnung der Buchinhalte	582
		Sachwortverzeichnis (mit englischer Übersetzung)	587
		Bildnachweise und Quellenverzeichnis	614