

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 Exzentrerschneckenpumpen	69
2.2.3 Geregelter 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-Einbauschleiben	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 Kondensatabeiter	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	II Elektrotechnik im Chemiebetrieb	148
8.3 Lagern von Flüssigkeiten	103	1 Elektrotechnische Grundlagen	148
8.4 Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten	106	1.1 Anwendungen der Elektrizität	148
8.5 Lagerung von Gasen	107	1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik	149
9 Übersicht der Maschinen und Apparate	110	1.3 Elektrische Grundgrößen	150
9.1 Elektromotoren und Getriebe	110	1.4 Ohm'sches Gesetz	151
9.2 Rührbehälter (Rührkessel)	111	1.5 Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	152
9.3 Zerkleinerungsmaschinen	112	1.6 Elektrische Schaltung von Verbrauchern	153
9.4 Filtrierapparate	112	1.7 Messen elektrischer Größen	154
9.5 Wärmetauscher	113	1.8 Stromarten	155
9.6 Rektifikationskolonnen	113	2 Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	156
10 Projektierung von Chemieapparaten	114	2.1 Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	156
11 Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	116	2.2 Elektrische Installation und Anschlüsse	157
11.1 Grundfließschema	116	2.3 Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	158
11.2 Verfahrensfließschema	117	2.4 Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	159
11.3 Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R&I-Fließschema)	119	2.5 Gefahren durch den elektrischen Strom	159
11.4 Beispiele von R&I-Fließschemata technischer Anlagen	120	2.6 Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	160
11.5 Grafische Symbole in Fließschemata	122	2.7 Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	160
12 Betrieb und Instandhaltung	126	3 Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen	161
12.1 Betrieb einer Chemieanlage	126	3.1 Elektromotoren	161
12.2 Instandhaltung einer Chemieanlage	126	3.1.1 Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	161
12.2.1 Wartung	126	3.1.2 Gleichstrommotoren	164
12.2.2 Inspektionen	129	3.1.3 Motorschutzarten	166
12.2.3 Instandsetzung	130	3.2 Getriebe für Elektromotoren	166
13 Sicherheit von Chemieanlagen	130	3.2.1 Keilriemengetriebe	166
13.1 Betriebssicherheitsverordnung	131	3.2.2 Zahnradgetriebe	167
13.2 Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	132	3.2.3 Kurvenscheiben-Getriebe	168
13.3 Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr	134	3.2.4 Stufenscheibengetriebe	169
14 Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	136	3.2.5 Umschlingungsgetriebe	169
14.1 Gefährliche Arbeitsbereiche	136	4 Elektrochemische Grundlagen	170
14.2 Brand- und Explosionsschutz	138	4.1 Galvanische Elemente	170
14.2.1 Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	138	4.2 Elektrolyse	172
14.2.2 Vermeiden von Bränden und Explosionen	139	4.2.1 Elektrolyse wässriger Lösungen	172
14.2.3 Brandbekämpfung und Brandschutz	139	4.2.2 Faraday'sche Gesetze	173
14.3 Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	140	4.2.3 Technische Elektrolyse-Verfahren	173
14.4 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	140		
14.4.1 Gefahrstoffpiktogramme nach GHS	140	III Bauteile in Maschinen und Apparaten	175
14.4.2 H-Sätze und P-Sätze	140	1 Elemente für drehende Bewegungen	175
14.4.3 Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	140	1.1 Wellen, Achsen, Bolzen	175
14.5 Arten von Gefahrstoffen	142	1.2 Zahnräder	176
14.5.1 Ätzende Stoffe	142	1.3 Welle-Nabe-Verbindungen	177
14.5.2 Ätz- und Reizgase	143	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	10.1 Chemieapparateglas	232
1 Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe	192	10.2 Chemieapparate-Email	232
2 Eigenschaften der Werkstoffe	194	10.3 Keramische Werkstoffe	233
2.1 Physikalische Eigenschaften	194	10.4 Chemisch beständige Ausmauerungen	233
2.2 Mechanische Eigenschaften	195	10.5 Grafit und Kohlewerkstoffe	233
2.3 Chemisch-technologische Eigenschaften	196	11 Schmierstoffe	234
2.4 Fertigungstechnische Eigenschaften	197	11.1 Schmieröle	234
2.5 Umweltverträglichkeit	197	11.2 Schmierfette	235
3 Stähle	198	11.3 Feste Schmierstoffe	235
3.1 Baustähle für mechanische Beanspruchung	198	V Messtechnik in Chemieanlagen	236
3.2 Baustähle für mechanische und thermische Belastung	201	1 Temperaturmessung	238
3.3 Baustähle für chemische Belastung: Die nichtrostenden Stähle	202	1.1 Temperaturskalen	238
3.4 Werkzeugstähle	204	1.2 Mechanische Temperaturmessgeräte	239
4 Gusseisen und Stahlguss	206	1.3 Widerstandsthermometer	240
4.1 Gusseisen	206	1.4 Thermoelemente	241
4.2 Stahlguss	207	1.5 Strahlungs-pyrometer	242
5 Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	208	1.6 Übersicht: Einsatzbereiche der Temperatur-Messgeräte	242
5.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	208	2 Druckmessung	243
5.2 Kupfer und Kupferlegierungen	209	2.1 Definition, Einheiten, Umrechnung	243
5.3 Nickel-Werkstoffe	210	2.2 Druckarten	243
5.4 Titan (Ti)	211	2.3 U-Rohr-Manometer	244
5.5 Blei (Pb)	211	2.4 Federmanometer	244
5.6 Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	212	2.5 Drucksensoren	245
5.7 Zink (Zn)	212	2.6 Druckdifferenzmessung	246
5.8 Zinn (Sn)	212	2.7 Druckmittler, Druckwächter	246
6 Korrosion und Korrosionsschutz	213	2.8 Besonderheiten der Druckmessung	247
6.1 Chemische Korrosion	213	3 Füllstandsmessung	249
6.2 Elektrochemische Korrosion	213	3.1 Füllstandsmessgeräte für Flüssigkeiten	249
6.3 Korrosionsarten und Erscheinungsbild	215	3.1.1 Mechanische Füllstandsmessgeräte	249
6.4 Korrosionsbeständigkeit der metallischen Werkstoffe	217	3.1.2 Hydrostatische Füllstandsmessung	250
6.5 Auswahl geeigneter Werkstoffe	217	3.1.3 Ultraschall-Füllstandsmessung	251
		3.1.4 Kapazitive Füllstandsmessung	251
		3.1.5 Füllstandsmessung mit Radar	252

	Seite
3.2 Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten	252
3.3 Füllstandsmessgeräte und Grenzscharter für Schüttgüter	253
3.4 Rauminhalte von Behältern	255
3.5 Gasmengenbestimmung in Tanks	256
4 Durchflussmessung und Mengenmessung	257
4.1 Durchflussmesser	258
4.1.1 Schwebekörper-Durchflussmesser	258
4.1.2 Durchflussmesser mit Messblende	258
4.1.3 Wirbel-Durchflussmesser	259
4.1.4 Schwingungs-Durchflussmesser	259
4.1.5 Ultraschall-Durchflussmesser	260
4.1.6 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	260
4.1.7 Coriolis-Massedurchflussmesser	261
4.1.8 Thermischer Durchflussmesser	261
4.1.9 Turbinenrad-Durchflussmesser	262
4.1.10 Flügelrad-Durchflussmesser	262
4.2 Mengemesser für strömende Fluide	262
4.3 Strömungsanzeiger, Durchflusswächter	264
5 Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige	265
6 Darstellung und Benennung von Messstellen	268

VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften 269

1 Probenahme	269
1.1 Probenahme von Flüssigkeiten	270
2.1 Probenahme von Feststoffen	270
2 Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	271
2.1 Bestimmen der Masse	271
2.2 Bestimmen der Dichte	273
2.3 Bestimmen der Feuchtigkeit	274
2.4 Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	272
2.4.1 Probenahme zur Siebanalyse	275
2.4.2 Siebanalyse	276
2.4.3 Auswertung der Siebanalyse	277
2.4.4 RRSB-Körnungsnetz	279
3 Messung der Eigenschaften und Bestandteilen von Flüssigkeiten	281
3.1 Messung der Dichte von Flüssigkeiten	281
3.2 Viskositätsmessung	282
3.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit	283
3.4 Messung des pH-Werts	283
3.5 Messung des Redox-Potentials	284
3.6 Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	285
3.7 Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	286
3.8 Messung der Trübung in Flüssigkeiten	286
4 Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	287
4.1 Chromatografische Analyse	287
4.2 Analyse mit Sensoren	288
4.2.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren	288

4.2.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	289
4.2.3 Katalytische Wärmetönungs-Sensoren	289
4.2.4 Elektrochemische Sensoren	289
4.2.5 Technische Gasanalysegeräte	290
5 Messung von Luftbestandteilen	290
5.1 Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe	290
5.2 Explosionsgrenzen	290
5.3 Luftfeuchtigkeitsmessung	291
5.4 Rauch- und Staubkonzentrationsmessung	291
6 Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	292
6.1 Qualitätsmanagement	292
6.2 Qualitätsmanagementsysteme	292
6.3 Werkzeuge der Qualitätssicherung	294
6.3.1 Checklisten	294
6.3.2 Fehlersammelkarte und Datensammelkarte	294
6.3.3 Histogramme	295
6.3.4 Verteilungskurve und statistische Kennwerte	295
6.3.5 Vorberechnungen für die Datensammelkarte	296
6.3.6 Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	296
6.3.7 Ischikawa-Diagramm	297
6.3.8 Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	298
6.3.9 Übersicht der Qualitätswerkzeuge	300

VII Aufbereitungstechnik 301

1 Beschreibung von Schüttgütern	302
1.1 Größe von Partikeln in Schüttgut	302
1.2 Oberflächen von Schüttgütern	302
1.3 Charakterisierung eines Schüttguts	303
1.4 Verteilungsdichtekurven von Schüttgütern	304
2 Zerkleinern von Feststoffen	305
2.1 Physikalische Grundlagen	305
2.2 Zerkleinerungsverfahren	306
2.3 Brecher	306
2.4 Mühlen	308
2.5 Schneidmühlen, Granulatoren	310
2.6 Zerkleinerungsanlagen	310
3 Flüssigkeitszerteilung	311
3.1 Berieseln, Versprühen	312
3.2 Zerstäuben, Verdüsen	312
4 Agglomerieren (Zusammenfügen)	313
4.1 Aufbauagranulieren (Pelletieren)	313
4.2 Formpressen	315
4.3 Sintern	316
5 Mischen (Stoffvereinigen)	317
5.1 Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	318
5.1.1 Rührbehälter	318
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	2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	373
1 Wärme – eine Energieart	331	2.2.3 Kontinuierlich arbeitende Filterapparate	375
1.1 Wärmeeinheiten	331	2.3 Auspressen	377
1.2 Wärmemengen	331	2.4 Zentrifugieren	378
1.3 Umwandlungswärmen	332	2.4.1 Wirkprinzip	378
1.4 Gesamtwärmemenge	333	2.4.2 Absatzweise Filtrierzentrifugen	379
1.5 Temperaturen von Mischungen	334	2.4.3 Kontinuierliche Filtrierzentrifugen	380
2 Energieträger im Chemiebetrieb	335	2.4.4 Sedimentierzentrifugen	380
2.1 Brennstoffe	335	2.4.5 Industrielle Zentrifugieranlage	383
2.2 Elektrischer Strom	336	3 Mechanische Trennung von	
2.3 Wasserdampf	337	Emulsionen	384
2.4 Heizflüssigkeiten	339	3.1 Dekantieren	384
2.5 Gasförmige und feste Wärmeträger	339	3.2 Zentrifugieren	384
2.6 Kühl- und Kältemittel	339	3.3 Ultrafiltration	385
2.7 Druckluft und Vakuum	340		
3 Wärmeübertragung	341	X Entstaubung und Abgasreinigung	386
3.1 Physikalische Grundlagen	341	1 Entstaubung	387
3.2 Wärmeübertragung in der		1.1 Mechanische Entstaubung	388
Chemietechnik	342	1.2 Nassentstaubung	391
3.3 Wärmeleitung	342	1.3 Filtrationsentstaubung	391
3.4 Wärmeübergang	343	1.4 Elektroentstaubung	392
3.5 Wärmedurchgang	344	1.5 Entstaubungsanlage	393
3.6 Wärmestrahlung	345	2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeits-	
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	346	tröpfchen	394
4 Wärmetauscher	348	3 Abscheidung von Fremdgasen	395
4.1 Rohrbündel-Wärmetauscher	348	3.1 Fremdgasabscheidung durch	
4.2 Rohrschlangen-Wärmetauscher	349	Kondensation	395
4.3 Doppelrohr-Wärmetauscher	350	3.2 Gasreinigung durch Absorption	396
4.4 Spiral-Wärmetauscher	350	3.3 Gasreinigung durch Adsorption	400
4.5 Platten-Wärmetauscher	350	3.4 Gasreinigung durch Dampfermeation	399
5 Kondensatoren	351	3.5 Katalytische Gasreinigung	404
5.1 Oberflächenkondensatoren	351	3.6 Abluftreinigung durch Verbrennung	405
5.2 Mischkondensatoren	352		
6 Heizen und Kühlen von Rührbehältern	353	XI Thermische Trennverfahren	406
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	353	1 Trocknen	407
6.2 Direkte Wärmeübertragung	353	1.1 Physikalische Grundlagen	407
6.3 Heiz-/Kühl-Systeme bei Rührbehältern	354	1.2 <i>h</i> - <i>X</i> -Diagramm der Trocknung	410
7 Energieeinsparung bei Wärmeaustausch-		1.3 Trocknungsverfahren	412
verfahren	355	1.4 Trockner für Feststoffschüttungen	413
8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser	356	1.5 Trockner für Flüssigkeiten und	
		Suspensionen	415
		1.6 Vakuumgefriertrocknung	417
		1.7 Industrielle Trocknungsanlage	418
IX Mechanische Trennverfahren	359	2 Thermische Trennung von Lösungen	420
1 Mechanische Trennverfahren für		2.1 Verdampfen	420
Feststoff-Gemische	359	2.1.1 Verdampfen reiner Lösemittel	420
1.1 Sortieren	361	2.1.2 Eindampfen von Lösungen	421
1.1.1 Dichtesortieren	361	2.1.3 Vorgänge im Verdampfer	421
1.1.2 Flotieren	362	2.1.4 Absatzweise und kontinuierliche	
1.1.3 Magnetsortieren	363	Eindampfung	422
1.2 Klassieren	364	2.1.5 Verdampferbauarten	423
1.2.1 Sieben	364	2.1.6 Verdampferanlagen	425
1.2.2 Sichten (Windsichten)	366	2.2 Kristallisieren aus Lösungen	427
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	368	2.2.1 Physikalische Grundlagen	427
2 Mechanische Trennverfahren für		2.2.2 Kristallisationsverfahren	428
Feststoff/Flüssigkeits-Gemische	369	2.2.3 Kristallisationsapparate	429
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	369	2.3 Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen	432
2.2 Filtrieren	372	2.4 Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)	432
2.2.1 Wirkprinzip	372		

	Seite		Seite
3 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 Ionenaustauschanlagen	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 Flüssig-/Flüssig-Membran-Trennverfahren	484
3.2.5 Wasserdampfdestillation	441	4.2.1 Umkehrosmose	484
3.3 Rektifizieren	443	4.2.2 Nanofiltration	484
3.3.1 Vorgänge beim Rektifizieren	443	4.2.3 Ultrafiltration	485
3.3.2 Rektifikationskolonnen mit Austauschböden	445	4.2.4 Mikrofiltration	485
3.3.3 Änderung der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	446	4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	485
3.3.4 Theoretische Trennstufenzahl	447	4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	487
3.3.5 Bodenwirkungsgrad und erforderliche Anzahl der Austauschböden	447	4.5 Pervaporation	488
3.3.6 Rücklaufverhältnis	448	4.6 Dampfermeation	489
3.3.7 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	448	XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik	490
3.4 Rektifikationsverfahren	450	1 Übersicht und Begriffe	490
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	450	2 Regelungstechnik	492
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	451	2.1 Grundlagen	492
3.4.3 Arten des Gemischzulaufs	452	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	494
3.4.4 Bestimmung der Trennstufenzahl	453	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	496
3.4.5 Einfluss der Höhe des Gemischzulaufs	455	2.4 Regelstrecken	498
3.5 Rektifizieren von Mehrstoffgemischen	456	2.4.1 Statisches Verhalten	498
3.6 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	457	2.4.2 Dynamisches Verhalten	499
3.7 Raffinierung des Erdöls	458	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	500
3.8 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	460	2.6 Regler	502
3.8.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	460	2.6.1 Zeitverhalten stetiger Reglertypen	502
3.8.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikation	461	2.6.2 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	504
3.8.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	462	2.6.3 Unstetige Regler	505
3.8.4 Extraktiv-Rektifikation	463	2.6.4 Regelgeräte	506
3.9 Kombinierte Rektifikationsverfahren	465	2.6.5 Regler ohne Hilfsenergie	507
3.10 Wärmeenergieeinsparung beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	465	2.7 Regelaufgaben in Chemieanlagen	508
3.11 Regelung von Rektifikationsanlagen	465	2.7.1 Temperaturregelungen	508
XII Physikalisch-chemische Trennverfahren	466	2.7.2 Druckregelungen	509
1 Feststoffextraktion	467	2.7.3 Durchflussregelungen	511
1.1 Vorgänge und Begriffe	467	2.7.4 Mengenregelung	511
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	467	2.7.5 Füllstandsregelungen	512
1.3 Lösemittel für die Extraktion	468	2.7.6 Regelung von Analysewerten	512
1.4 Physikalische Grundlagen	468	2.7.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	513
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	469	2.8 Regelkreisverhalten und Reglereinstellung	514
1.6 Absatzweise Feststoff-Extraktoren	470	3 Steuerungstechnik	515
1.7 Kontinuierliche Feststoff-Extraktoren	472	3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	515
2 Flüssig-/Flüssig-Extraktion	474	3.2 Steuerungsarten	516
2.1 Physikalische Grundlagen	474	3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	517

	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	XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb	560
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	527	1 Chemieproduktion und Umweltschutz	561
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	528	2 Umweltschutzbereich Wasser	563
3.6.1 Mechanische Steuerungen	528	2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	563
3.6.2 Elektrische Steuerungen	528	2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	564
3.6.3 Elektronische Steuerungen	531	2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	568
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	531	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser	569
4 Prozessleittechnik	532	2.5 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage	570
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	532	2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	572
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	534	3 Umweltschutzbereich Luft	573
4.2.1 Komponenten eines Prozessleitsystems	534	3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abgasen	573
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	535	3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	573
4.2.3 Automatisierungseinheiten	536	3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	574
4.2.4 Eingabe/Ausgabe-Einheiten	536	3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	575
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	537	4 Beseitigung von Chemieabfällen	576
4.2.6 Bussysteme	537	4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	576
4.2.7 Managementstation	537	4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	570
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	538	4.3 Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	577
4.3.1 Fließbilddarstellungen	538	4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	578
4.3.2 Konfektionierte Bilder	539	4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	579
4.3.3 Kurvenbilder	540	5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	580
4.3.4 Einblendbilder (Windows)	540		
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 Rezeptursteuerung 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		
		Lemfelder des KMK-Lehrplans für Chemikanten und Zuordnung der Buchinhalte	582
		Sachwortverzeichnis (mit englischer Übersetzung)	587
		Bildnachweise und Quellenverzeichnis	614