



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Chemieberufe

# CHEMIETECHNIK

von

**Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz**

**13. Auflage**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorf Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 70415**

Der Autor **Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz** studierte an der Technischen Universität Karlsruhe – heutige Bezeichnung: Karlsruher Institut für Technik (KIT) – Maschinenbau und Verfahrenstechnik. Anschließend arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Chemische Technik der Universität Karlsruhe und promovierte dort zum Dr.-Ing.

Danach war er langjährig als Studienrat an beruflichen Schulen tätig und ist Autor zahlreicher Lehrbücher für den Berufsschul- und Technikerbereich.

Entwurf der Bilder: Dr. E. Ignatowitz, zum Teil unter Einbeziehung von Firmenvorlagen.

Fotos: Bildagenturen sowie Leihgaben von Firmen und Fachinstituten  
(Auflistung Seite 628 ff.).

Diesem Buch liegen die neuesten Ausgaben der Normen und VDI-Richtlinien zugrunde. Verbindlich für die Planung und Ausschreibung sind nur die Normen und VDI-Richtlinien selbst.

Bezug der Normen und VDI-Richtlinien über: Beuth-Verlag GmbH,  
Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)

13. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-8537-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Layout: rkt, 51379 Leverkusen

Satz: Daniela Schreuer, 78256 Steißlingen

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald, unter Verwendung eines Fotos von © Rainer – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

Das vorliegende Buch **CHEMIETECHNIK** ist ein Lehr- und Lernbuch für alle, die im Entwicklungs- und Produktionsbereich der Chemischen Industrie arbeiten und ausgebildet werden, sowie für die, die in diesem Fachgebiet studieren, sich informieren und weiterbilden wollen.

Es ist für den Unterricht in Berufsschulen und Technikerschulen, für das Studium an Fachhochschulen sowie für die betriebliche Ausbildung und die persönliche Fortbildung geeignet.

Es gibt einen Überblick über den Aufbau von Chemieanlagen und die Funktion ihrer Komponenten sowie eine Einführung in die chemische Verfahrenstechnik einschließlich der Mess-, Steuer-, Regelungs- und Prozessleittechnik. Ebenso werden der Umweltschutz und die Arbeitssicherheit behandelt.

Insbesondere kann es als Lernhilfe für die Auszubildenden der **Chemieberufe** in der betrieblichen und schulischen Ausbildung eingesetzt werden. In Deutschland zum Chemikant/in, Produktionsfachkraft Chemie, Chemisch-technische(r) Assistent/in und Operateur/in – Chemische Technik. In Österreich zum Chemieverfahrenstechniker(in), in der Schweiz zum Chemietechnologen(in).

In Teilen ist es geeignet für die Ausbildung zur Fachkraft für Wasserversorgung und Abwassertechnik, zum Pharmatechnologen(in), zum Anlagenmechaniker(in), zum Rohrleitungs- und Behälterbauer(in).

Auch für die vielen in der Chemieproduktion eingesetzten Mitarbeiter/innen, die keine Berufsausbildung in Berufsbereich Chemietechnik erfahren haben, ist das Buch eine wertvolle Hilfe zur beruflichen Weiterbildung und zum beruflichen Weiterkommen.

Bestens einsetzbar ist es für die Ausbildung zum **Industriemeister/in – Fachrichtung Chemie** sowie zum **Chemotechniker** im Fach Betriebs- und Produktionstechnik.

Für Studierende des **Chemieingenieurwesens** und der **Chemie** liefert es eine umfassende Einführung in die chemische Technik.

Das Buch **CHEMIETECHNIK** ist stoffsystematisch aufgebaut und in abgeschlossene Sachgebiete gegliedert. Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine Behandlung der Sachgebiete in der Reihenfolge des Buches, aber auch in einer veränderten Abfolge oder eine getrennte Bearbeitung.

Das Buch ist in einer klaren Sprache abgefasst. Die notwendigen Fachausdrücke werden eingeführt und erläutert. Die wichtigen Fachausdrücke sind auch in Englisch angegeben.

Die einzelnen Sachgebiete werden durch Erläuterungen der physikalischen und chemischen Grundlagen eingeführt. Im Anschluss werden die Verfahren sowie die Apparate, Maschinen und Anlagen behandelt. Dadurch wird ein Verstehen und konstruktives Durchdenken der Themen ermöglicht.

Formelmäßige Gesetzmäßigkeiten werden durch Übungsbeispiele untermauert. Anschließend gestellte Fragen und Aufgaben fordern zu weiterer Vertiefung auf. Merksätze fassen die wesentlichen Erkenntnisse in Kurzform zusammen und erleichtern dem Lernenden das Speichern des Wissens.

Am Ende jedes Kapitels folgen Aufgaben und Wiederholungsfragen, die sich aus dem Buchtext bearbeiten lassen. Sie dienen der weiteren Festigung des erworbenen Wissens und können dem Lehrer oder Ausbilder eine Anregung für die Bereicherung seines Unterrichts sein.

Ein ausführliches Sachwortverzeichnis am Ende des Buches ermöglicht das Auffinden von Textstellen. Das Sachwortverzeichnis enthält die englische Übersetzung der Fachausdrücke. Es kann als englisches Sachwort-Wörterbuch genutzt werden.

In der vorliegenden 13. Auflage wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. ergänzt:

Membranpumpen (Seite 69), Erzeugung und Lagerung von Industriegasen (111), Mess-, steuer- und regeltechnische Anlagen (117), Kennzeichnung von Gefahrstoffen auf Gebinden (145), Betriebsanweisung zum Umgang mit Gefahrstoffen (147), Bauformen von Rührbehältern (325), Dampferzeugeranlage (346), Schaumvermeidung bzw. Schaumzerstörung (395), Elektroentstaubung (401), Absatzweise einfache Destillation (448 bis 452), Rektifizieren (456), Reglertypen (514 bis 521), Automatisierungseinheiten (553), Industrie 4.0 (566), Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Freisetzungen (596).

Autor und Verlag freuen sich über Verbesserungsvorschläge an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

## 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
<b>I</b>	<b>Die Chemieanlage</b>	<b>18</b>		4.4.1 Förderstrom und Förderhöhe einer Kreiselpumpe	61
<b>1</b>	<b>Rohrleitungen</b>	<b>19</b>		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
<b>2</b>	<b>Armaturen</b>	<b>35</b>		4.7.1 Schraubenspindelpumpen	71
2.1	Schieber	35		4.7.2 Exzenterschneckenpumpen	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		<b>5 Fördern und Verdichten von Gasen</b>	<b>77</b>
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
<b>3</b>	<b>Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen</b>	<b>47</b>		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		<b>6 Erzeugung von Unterdruck (Vakuumentchnik)</b>	<b>86</b>
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
<b>4</b>	<b>Fördern von Flüssigkeiten</b>	<b>54</b>		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		<b>7 Fördern von Feststoffen</b>	<b>92</b>
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	
7.2	Mechanische Schüttgutförderer _____	93
7.3	Pneumatische Schüttgutförderer _____	96
7.4	Schüttgutdosierer _____	97
7.5	Förderanlagen für Stückgut _____	98
7.6	Unstetigförderer _____	99
7.7	Handhabung von Schüttgütern und Stückgut _____	100
<b>8</b>	<b>Lagereinrichtungen in Chemieanlagen _____</b>	<b>102</b>
8.1	Lager für Schüttgüter _____	102
8.2	Stückgutlagerung _____	104
8.3	Lagern von Flüssigkeiten _____	105
8.4	Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten _____	108
8.5	Lagerung von Gasen _____	109
8.5.1	Lagerung von Gasen im Gaszustand _____	109
8.5.2	Erzeugung und Lagerung von verflüssigten Gasen _____	111
<b>9</b>	<b>Übersicht der Maschinen und Apparate _____</b>	<b>113</b>
9.1	Elektromotoren und Getriebe _____	113
9.2	Rührbehälter (Rührkessel) _____	114
9.3	Zerkleinerungsmaschinen _____	115
9.4	Filtrierapparate _____	115
9.5	Wärmetauscher _____	116
9.6	Destillierkolonnen _____	116
9.7	Mess-, steuer- und regeltechnische Anlagen (MRS-Technik) _____	117
9.8	Umwelttechnische Anlagen _____	117
<b>10</b>	<b>Projektierung von Chemieapparaten _____</b>	<b>118</b>
<b>11</b>	<b>Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage _____</b>	<b>120</b>
11.1	Grundfließschema _____	120
11.2	Verfahrensfließschema _____	121
11.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R & I-Fließbild) _____	123
11.4	Beispiele von R & I-Fließschemata technischer Anlagen _____	124
11.5	Grafische Symbole in Fließschemata verfahrenstechnischer Anlagen _____	126
<b>12</b>	<b>Betrieb und Instandhaltung chemischer Anlagen _____</b>	<b>130</b>
12.1	Betrieb einer Chemieanlage _____	130
12.2	Instandhaltung einer Chemieanlage _____	130
12.2.1	Wartung _____	130
12.2.2	Inspektionen _____	133
12.2.3	Instandsetzung _____	134
12.2.4	Instandhaltungskonzepte _____	134
<b>13</b>	<b>Sicherheit von Chemieanlagen _____</b>	<b>135</b>
13.1	Betriebssicherheitsverordnung _____	135
13.2	Sicherheitskonzept einer Chemieanlage _____	136
13.3	Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr in Chemieanlagen _____	138
<b>14</b>	<b>Unfallverhütung und Arbeitssicherheit _____</b>	<b>140</b>
14.1	Gefährliche Arbeitsbereiche _____	140
14.2	Brand- und Explosionsschutz _____	142
14.2.1	Brand- und explosionsgefährliche Stoffe _____	142
14.2.2	Vermeiden von Bränden und Explosionen _____	143
14.2.3	Brandbekämpfung und Brandschutz _____	143
14.3	Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen _____	144
14.4	Klassifizierung von Gefahrstoffen _____	144
14.5	Gefahrstoffpiktogramme nach GHS für Gebinde und Verpackungen _____	145
14.6	Kennzeichnung von Gefahrstoffen _____	145
14.7	Betriebsanweisungen _____	145
14.8	H-Sätze und P-Sätze _____	146

	Seite	
14.9	Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung _____	146
14.10	Arten von Gefahrstoffen _____	148
14.10.1	Ätzende Stoffe _____	148
14.10.2	Ätz- und Reizgase _____	149
14.10.3	Atemgifte _____	149
14.10.4	Erstickende Gase _____	149
14.10.5	Lösemittel und giftige Flüssigkeiten _____	150
14.10.6	Feste Giftstoffe _____	150
14.10.7	Langzeit-Schadstoffe _____	151
14.10.8	Arbeitsplatzgrenzwerte der Arbeitsstoffe _____	152
14.11	Vermeiden von Gesundheitsschäden durch physikalische Einwirkungen _____	153
14.11.1	Lärmschutz _____	153
14.11.2	Strahlenschutz _____	153

**II Elektrotechnik im Chemiebetrieb 154**

<b>1</b>	<b>Elektrotechnische Grundlagen _____</b>	<b>154</b>
1.1	Anwendungen der Elektrizität _____	154
1.2	Grundbegriffe der Elektrotechnik _____	155
1.3	Elektrische Grundgrößen _____	156
1.4	Ohm'sches Gesetz _____	157
1.5	Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad _____	158
1.6	Elektrische Schaltung von Verbrauchern _____	159
1.7	Messen elektrischer Größen _____	160
1.8	Stromarten _____	161
<b>2</b>	<b>Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität _____</b>	<b>162</b>
2.1	Leitungsnetz und elektrischer Anschluss _____	162
2.2	Elektrische Installation und Anschlüsse _____	163
2.3	Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel _____	164
2.4	Mögliche Fehler an stromführenden Geräten _____	165
2.5	Gefahren durch den elektrischen Strom _____	165
2.6	Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen _____	166
2.7	Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen _____	166
<b>3</b>	<b>Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen _____</b>	<b>167</b>
3.1	Arten von Elektromotoren _____	167
3.1.1	Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren _____	167
3.1.2	Gleichstrommotoren _____	170
3.1.3	Motorschutzarten _____	172
3.2	Getriebe für Elektromotoren _____	172
3.2.1	Keilriemengetriebe _____	172
3.2.2	Zahnradgetriebe _____	173
3.2.3	Kurvenscheiben-Getriebe _____	174
3.2.4	Stufenscheibenge triebe _____	175
3.2.5	Umschlingunggetriebe _____	175
<b>4</b>	<b>Elektrochemische Grundlagen _____</b>	<b>176</b>
4.1	Galvanische Elemente _____	176
4.2	Elektrolyse _____	178
4.2.1	Elektrolyse wässriger Lösungen _____	178
4.2.2	Faraday'sche Gesetze _____	179
4.2.3	Technische Elektrolyse-Verfahren _____	179

**III Bauteile in Maschinen und Apparaten 181**

<b>1</b>	<b>Maschinenelemente für drehende Bewegungen _____</b>	<b>181</b>
1.1	Wellen, Achsen, Bolzen _____	181
1.2	Zusammenwirken mechanischer Bauteile für Chemieapparate _____	182

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

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

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

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

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

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

	Seite		Seite
3.3	Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge _____	532	
3.3.1	Beschreibung mit Text und Skizze _____	532	
3.3.2	Darstellung von Verknüpfungen _____	532	
3.3.3	Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm _____	533	
3.3.4	Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm _____	534	
3.4	Verknüpfungssteuerungen _____	535	
3.4.1	Logische Grundfunktionen _____	535	
3.4.2	Beispiel einer Sicherheits-Verknüpfungssteuerung _____	537	
3.5	Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET _____	538	
3.5.1	Ablaufsteuerung einer Mischanlage _____	540	
3.5.2	Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage _____	541	
3.5.3	Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage _____	543	
3.6	Technische Ausführung von Steuerungen _____	544	
3.6.1	Mechanische Steuerungen _____	544	
3.6.2	Elektrische Steuerungen _____	544	
3.6.3	Elektronische Steuerungen _____	545	
3.6.4	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS _____	545	
<b>4</b>	<b>Prozessleittechnik _____</b>	<b>548</b>	
4.1	Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik _____	548	
4.2	Aufbau von Prozessleitsystemen _____	550	
4.2.1	Komponenten des PLS einer kleinen Chemieanlage _____	550	
4.2.2	Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage _____	552	
4.2.3	Automatisierungseinheiten _____	553	
4.2.4	Bussysteme _____	554	
4.2.5	Beobachtungs- und Bedienstationen _____	554	
4.2.6	Prozesskonfiguration _____	555	
4.2.7	Managementstation _____	555	
4.3	Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm _____	556	
4.3.1	Fließbilddarstellungen _____	556	
4.3.2	Konfektionierte Bilder _____	557	
4.3.3	Kurvenbilder _____	558	
4.3.4	Einblendbilder _____	558	
4.4	Bedienung eines Prozessleitsystems _____	559	
4.5	Funktionsumfang eines Prozessleitsystems _____	560	
4.5.1	Messwert-Aufbereitungsfunktionen _____	560	
4.5.2	Regelfunktionen _____	560	
4.5.3	Steuerungsfunktionen _____	561	
4.5.4	Rezeptursteuerung von Chargenprozessen _____	562	
4.5.5	Steuerung von Rohrleitungsnetzen _____	564	
4.5.6	Überwachungsfunktionen _____	564	
4.5.7	Instandhaltungs-Management _____	565	
4.6	Industrie 4.0 in der Chemieindustrie – Smart Factory _____	566	
4.6.1	Komponenten einer Smart Factory _____	566	
4.6.2	Arbeitsweise einer Smart Factory _____	566	
<b>XIV</b>	<b>Chemische Reaktionstechnik _____</b>	<b>568</b>	
<b>1</b>	<b>Reaktionsverfahren _____</b>	<b>568</b>	
<b>2</b>	<b>Einflussgrößen auf die Reaktion _____</b>	<b>569</b>	
<b>3</b>	<b>Chargenbetrieb _____</b>	<b>570</b>	
3.1	Reaktionsbehälter _____	570	
3.2	Charakteristisches des Chargenbetriebs _____	571	
<b>4</b>	<b>Fließbetrieb _____</b>	<b>572</b>	
4.1	Reaktionsapparate für den Fließbetrieb _____	572	
4.2	Charakteristisches des Fließbetriebs _____	572	
4.3	Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor _____	573	
<b>5</b>	<b>Reaktorkombinationen _____</b>	<b>574</b>	
<b>6</b>	<b>Hochdruck-Reaktionsapparate _____</b>	<b>574</b>	
<b>7</b>	<b>Reaktionsöfen _____</b>	<b>576</b>	
<b>8</b>	<b>Elektrolyseapparate _____</b>	<b>577</b>	
<b>9</b>	<b>Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse _____</b>	<b>578</b>	
<b>XV</b>	<b>Umwelttechnik im Chemiebetrieb _____</b>	<b>580</b>	
<b>1</b>	<b>Chemieproduktion und Umweltschutz _____</b>	<b>581</b>	
<b>2</b>	<b>Umweltschutzbereich Gewässer _____</b>	<b>583</b>	
2.1	Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser _____	583	
2.2	Reinigungsverfahren für Abwasser _____	584	
2.3	Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens _____	588	
2.4	Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser _____	589	
2.5	Mechanisch-biologische Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage _____	590	
2.6	Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren _____	592	
<b>3</b>	<b>Umweltschutzbereich Atmosphäre _____</b>	<b>593</b>	
3.1	Gesetzliche Bestimmungen zu Abluft und Abgasen _____	593	
3.2	Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung _____	593	
3.3	Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung _____	594	
3.4	Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken _____	595	
3.5	Technologien zur Vermeidung von CO <sub>2</sub> -Freisetzungen _____	596	
<b>4</b>	<b>Beseitigung von Chemieabfällen _____</b>	<b>597</b>	
4.1	Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung _____	597	
4.2	Behandlungsverfahren für Abfälle _____	597	
4.3	Anlage zur Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs _____	598	
4.4	Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle _____	599	
4.5	Ablagerung auf Sondermülldeponien _____	600	
<b>5</b>	<b>Produktionsintegrierter Umweltschutz _____</b>	<b>601</b>	
	<b>Sachwortverzeichnis _____</b>	<b>604</b>	
	<b>Danksagung _____</b>	<b>628</b>	
	<b>Firmen- und Bildquellenverzeichnis _____</b>	<b>628</b>	