

Inhalt

Vorwort	5	2.4 Fehlerfortpflanzung	32
		2.4.1 Methode der oberen und unteren Grenze	32
		2.4.2 GAUSSsche Fehlerfortpflanzung	33
		2.4.3 Lineare Fehlerfortpflanzung .	33
VTG – Verfahrenstechnische Grundlagen ..	13	2.5 Grafische Auswertung von Messdaten ...	34
1 Physikalische Größen und Einheitensysteme	14	2.5.1 Lineare und nichtlineare Skalen	34
1.1 Größen und Größenarten	14	2.5.2 Anfertigung einer grafischen Darstellung	35
1.2 Größen- und Zahlenwertgleichungen	16	2.5.3 Grafische Auswertung linearer Zusammenhänge	36
1.3 Zustandsgrößen und Prozessgrößen	17		
1.4 Zustandsfunktionen	18	3 Aggregatzustände und Phasenlehre .	38
1.5 Gehalts- und Konzentrationsangaben ...	19	3.1 Gasförmiger Zustand	38
1.5.1 Massenanteil	20	3.1.1 Ideales Gas	38
1.5.2 Stoffmengenanteil	20	3.1.2 Gasgemische	40
1.5.3 Volumenanteil	21	3.1.3 Reale Gase	42
1.5.4 Massenkonzentration	21	3.2 Flüssiger Zustand	45
1.5.5 Stoffmengenkonzentration ...	21	3.2.1 Dichte und Volumen- ausdehnung	45
1.5.6 Volumenkonzentration	21	3.2.2 Viskosität von Flüssigkeiten .	47
1.5.7 Molalität	22	3.2.3 Oberflächenspannung	48
1.5.8 Aktivität	22	3.3 Fester Zustand	49
1.6 Umrechnungen und Mischungsrechnung	22	3.3.1 Kristallgitter und Kristallsysteme	49
		3.3.2 Methoden zur Ermittlung der Festkörperstruktur	51
2 Statistische Grundlagen	25	3.4 Phasenumwandlung von Reinstoffen ...	52
2.1 Fehlerarten	25	3.4.1 Druck-Temperatur-Phasendiagramm	52
2.1.1 Grobe Abweichung von Messwerten	25	3.4.2 CLAUDIUS-CLAPEYRON-Gleichung	54
2.1.2 Systematische Abweichung von Messwerten	25	3.4.3 Regel von TROUTON	55
2.1.3 Zufällige Abweichung von Messwerten	26	3.5 Binäre Phasengleichgewichte	55
2.2 Darstellung von Messreihen	26	3.6 Ternäre Phasengleichgewichte	59
2.3 Erfassung der Messwertabweichung	29		
2.3.1 Normalverteilung nach GAUSS	30		
2.3.2 Standardabweichung	30		
2.3.3 Vertrauensbereich	31		

3.7	<i>Verdünnte Lösungen</i>	60	6.2.2	Erster Hauptsatz	92
3.7.1	Kolligative Eigenschaften	60	6.2.3	Standardenthalpien	93
3.7.2	Löslichkeit	62	6.2.4	Zweiter Hauptsatz	94
			6.2.5	Chemisches Gleichgewicht ..	96
4	Strömungstechnische Grundbegriffe	65	6.3	<i>Stoff- und Wärmebilanzen</i>	98
4.1	<i>Allgemeine Grundlagen</i>	65	6.3.1	Transportprozesse	99
4.2	<i>Kontinuitätsgleichung</i>	66	6.3.2	Erhaltungssätze	100
4.3	<i>Strömung ohne Reibung</i>	67	7	Kinetik chemischer Reaktionen	102
4.3.1	Gleichung von BERNOULLI	67	7.1	<i>Reaktionsgeschwindigkeit</i>	102
4.3.2	Gleichung von TORRICELLI ...	69	7.2	<i>Gesetze der Reaktionskinetik</i>	103
4.4	<i>Strömung mit Reibung</i>	70	7.2.1	Differenzialgleichungen	104
4.4.1	Viskosität	70	7.2.2	Reaktionen nullter Ordnung .	105
4.4.2	Widerstandsbeiwert	71	7.2.3	Reaktionen erster Ordnung ..	105
4.5	<i>Rohrströmung mit Reibung</i>	72	7.2.4	Reaktionen zweiter Ordnung	107
4.5.1	Laminare Strömung	72	7.2.5	Reaktionen dritter Ordnung ..	108
4.5.2	Turbulente Strömung	73	7.2.6	Molekularität einer Reaktion	109
4.5.3	Druckverlust in Rohrleitungen	73	7.3	<i>Bestimmung von Reaktionsordnungen</i> ..	109
4.5.4	Druckverlust in Formstücken und Armaturen	75	7.3.1	Differenzialmethode	110
			7.3.2	Methode der Anfangs- geschwindigkeiten	110
5	Produktionstechnische Grundbegriffe	76	7.3.3	Integrationsmethode	111
5.1	<i>Verfahrensentwicklung</i>	76	7.3.4	Halbwertszeitmethode	111
5.2	<i>Verfahrensinformationen</i>	77	7.3.5	Konzentrationsabhängige Messgrößen	111
5.3	<i>Fließschemata von Anlagen</i>	78	7.3.6	Experimentelle Bestimmungs- methoden	112
5.3.1	Grundfließschema	79	7.4	<i>Kinetik komplexer Reaktionen</i>	113
5.3.2	Verfahrensfließschema	79	7.4.1	Gleichgewichtsreaktionen ...	114
5.3.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema ...	80	7.4.2	Parallelreaktionen	115
5.3.4	Mess- und Regelschema	82	7.4.3	Folgereaktionen	116
5.4	<i>Stoffdaten und Verfahrensablauf</i>	82	7.5	<i>Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit</i> ..	117
5.4.1	Stoffdaten	82	7.5.1	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit ...	118
5.4.2	Sicherheitstechnische Daten .	83	7.5.2	Theorie des aktivierten Komplexes	120
5.4.3	Toxikologische Daten	84			
5.5	<i>Scale-up - Probleme</i>	84			
CRT - Chemische Reaktionstechnik	87	8	8	Aktivierung von Reaktionen und Katalyse	122
6	Grundlagen der Reaktionstechnik ...	88	8.1	<i>Aktivierung von Reaktionsprozessen</i>	123
6.1	<i>Einführung und Grundbegriffe</i>	88	8.1.1	Thermische Aktivierung	123
6.1.1	Klassifizierung chemischer Reaktionen	88	8.1.2	Katalytische Aktivierung	124
6.1.2	Beurteilungsgrößen und Definitionen	89	8.1.3	Aktivierung durch Initiator- zerfall	126
6.2	<i>Chemische Thermodynamik</i>	92	8.1.4	Biokatalytische Aktivierung .	126
6.2.1	Systeme und Zustandsgrößen	92	8.1.5	Fotochemische Aktivierung ..	128
			8.2	<i>Homogene und heterogene Systeme</i>	128

<p>8.3 <i>Heterogene Katalyse</i> 128</p> <p>8.3.1 Heterogene Reaktionen mit Feststoffen 128</p> <p>8.3.2 Heterogene Reaktionen mit Fluiden 134</p> <p>8.3.3 Reaktionsablauf 135</p> <p>8.4 <i>Homogene Katalyse</i> 136</p> <p>8.4.1 Einphasige Reaktionssysteme 137</p> <p>8.4.2 Säure- und Basenkatalyse ... 138</p> <p>8.4.3 Enzymkatalytische Reaktionen 140</p> <p>8.4.4 Reversible Hemmung von Enzymen 143</p> <p>9 Ideale Reaktoren 146</p> <p>9.1 <i>Klassifizierung von Reaktoren</i> 146</p> <p>9.1.1 Allgemeine Betriebsformen .. 146</p> <p>9.1.2 Vermischung im Reaktor 147</p> <p>9.1.3 Wärmetechnische Betriebsformen 148</p> <p>9.1.4 Grundtypen chemischer Reaktoren 150</p> <p>9.1.5 Stoff- und Wärmebilanzen ... 151</p> <p>9.2 <i>Diskontinuierlich betriebener Rührkessel</i> 152</p> <p>9.2.1 Isotherm betriebener Rührkessel 153</p> <p>9.2.2 Adiabatisch betriebener Rührkessel 154</p> <p>9.2.3 Polytrop betriebener Rührkessel 155</p> <p>9.3 <i>Kontinuierliche Betriebsführung ohne Rückvermischung der Reaktionsmasse</i> .. 156</p> <p>9.4 <i>Kontinuierliche Betriebsführung mit Rückvermischung der Reaktionsmasse</i> .. 159</p> <p>9.5 <i>Rührkesselkaskade</i> 161</p> <p>9.5.1 Gestaltung und stoffliche Bilanzierung 162</p> <p>9.5.2 Berechnung von Rührkesselkaskaden 163</p> <p>9.6 <i>Vergleichende Betrachtung der Reaktoren</i> 165</p> <p>10 Reale Reaktoren und Verweilzeitverteilungen 168</p> <p>10.1 <i>Abweichungen vom idealen Verhalten</i> ... 168</p> <p>10.2 <i>Verweilzeituntersuchungen zur Charakterisierung des Vermischungsverhaltens</i> 169</p>	<p>10.2.1 Verweilzeitspektrum und Verweilzeit-Summenfunktion 170</p> <p>10.2.2 Messung der Verweilzeitverteilungen 171</p> <p>10.3 <i>Berechnung und Auswertung von Verweilzeitverteilungen</i> 172</p> <p>10.3.1 Idealer kontinuierlicher Rührreaktor 172</p> <p>10.3.2 Kaskade von kontinuierlich betriebenen idealen Rührreaktoren 173</p> <p>10.3.3 Laminar durchströmter Rohrreaktor 174</p> <p>10.4 <i>Reaktoren mit realem Verhalten</i> 175</p> <p>10.4.1 Dispersionsmodell 175</p> <p>10.4.2 Kaskadenmodell 178</p> <p>10.4.3 Berechnungsbeispiele 179</p> <p>MVT – Mechanische Verfahrenstechnik – Grundoperationen 183</p> <p>11 Charakterisierung von Partikeln und dispersen Systemen 184</p> <p>11.1 <i>Grundlagen</i> 184</p> <p>11.2 <i>Partikelgrößen und Merkmale</i> 185</p> <p>11.3 <i>Kenngrößen einer Verteilung</i> 187</p> <p>11.3.1 Verteilungssumme 187</p> <p>11.3.2 Verteilungsdichte 188</p> <p>11.4 <i>Verteilungsgesetze</i> 190</p> <p>11.4.1 Potenzverteilung nach GATES-GAUDIN-SCHUMANN 191</p> <p>11.4.2 GAUSSSCHE Normalverteilungsfunktion 191</p> <p>11.4.3 Logarithmische Normalverteilung 192</p> <p>11.4.4 RRSB-Verteilung 192</p> <p>11.4.5 Vergleich der Verteilungen und Kennwerte 193</p> <p>11.5 <i>Messen einer Partikelgrößenverteilung</i> .. 195</p> <p>12 Zerteilung von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen 198</p> <p>12.1 <i>Grundlagen</i> 198</p> <p>12.2 <i>Zerkleinerung</i> 198</p> <p>12.2.1 Näherungsformeln 200</p> <p>12.2.2 Zerkleinerungsgrad 201</p>
--	--

12.2.3	Bruchvorgang	201	16.2	Transport von Flüssigkeiten	260
12.2.4	Zerkleinerungsmaschinen	202	16.2.1	Verdrängungspumpen	261
12.3	Flüssigkeitszerteilung	204	16.2.2	Zentrifugalpumpen	262
12.3.1	Berieselung	204	16.2.3	Strahlpumpen	263
12.3.2	Zerstäubung	204	16.2.4	Berechnungen	264
12.3.3	Zerspritzung	208	16.3	Transport von Gasen	268
12.4	Begasung	208	16.3.1	Lüfter und Gebläse	268
13	Trennen disperser Systeme	211	16.3.2	Verdichter	271
13.1	Grundlagen	211	16.4	Feststoffförderung	274
13.2	Absetzprozesse	211	16.4.1	Gurt-, Gliederbandförderer und Becherwerke	274
13.2.1	Sedimenter	215	16.4.2	Schnecken- und Spiralförderer	275
13.2.2	Trennschärfe und Abscheidegrad	217	16.4.3	Pneumatische Förderung	275
13.2.3	Zentrifuge	219			
13.2.4	Zyklone	224	TVT – Thermische Verfahrenstechnik –		
13.2.5	Koagulation und Flokkulation	227	Grundoperationen	279	
13.2.6	Flotation	227	17	Verdampfen und Kondensieren	280
13.3	Filtrationsprozesse	228	17.1	Grundlagen	280
13.3.1	Kuchenfiltration	229	17.1.1	Dampf	282
13.3.2	Querstromfiltration	233	17.1.2	Wärmeübertragung	283
13.3.3	Tiefenfiltration	235	17.1.3	Wärmeaustauscher	286
14	Mischen	238	17.2	Verdampfen und Eindampfen	288
14.1	Grundlagen	238	18	Kristallisation	290
14.2	Mischen von Feststoffen	240	18.1	Grundlagen	290
14.3	Statisches Mischen von Fluiden	243	18.2	Berechnungen zur Kristallisation	291
14.4	Dynamisches Mischen von Flüssigkeiten	245	18.3	Technische Anwendung	294
14.4.1	Laminarer Bereich	248	19	Trocknen	295
14.4.2	Turbulenter Bereich	249	19.1	Grundlagen	295
14.4.3	Übergangsbereich	249	19.2	Trocknungsarten und Trocknungs- kurven	299
14.4.4	Rühren von nicht-NEWTON- schen Flüssigkeiten	250	19.3	Bauarten von Trocknern	301
14.4.5	Scale-up - Maßstabs- übertragung	250	20	Destillation und Rektifikation	302
14.4.6	Weitere Anwendungsgebiete	251	20.1	Grundlagen	302
15	Agglomerieren	254	20.1.1	Ideales Zweistoffgemisch	302
15.1	Grundlagen	254	20.1.2	Reales Zweistoffgemisch	308
15.2	Einteilung der Agglomeration	255	20.1.3	Mischungslücken	310
15.2.1	Aufbauagglomeration (Pelletieren)	255	20.2	Destillation	312
15.2.2	Pressagglomeration (Formpressen)	257	20.2.1	Absatzweise (einfache) Destillation	312
16	Transport von Stoffen	260	20.2.2	Fraktionierte Destillation	316
16.1	Arten der Förderung	260	20.2.3	Kontinuierliche Destillation	317

	20.2.4	Trägerdampfdestillation	318		21.1.5	Wärmebilanz bei der Absorption	358
	20.2.5	Vakuumdestillation	319		21.1.6	Anwendung der Absorption ..	360
20.3		Rektifikation	319	21.2		Adsorption	362
	20.3.1	Grundlagen der Rektifikation	320	21.2.1		Grundlagen der Adsorption ..	362
	20.3.2	Bilanzen an einer Rekti- fikationskolonne	323	21.2.2		Adsorptionsmittel	364
	20.3.3	Wärmebedarf und Heiz- leistung	334	21.2.3		Beispiele einiger Adsorptions- mittel	365
	20.3.4	Füllkörper- und Packungs- kolonnen	336	21.2.4		Mechanismen der Adsorption	367
	20.3.5	Rektifikationsverfahren	338	21.2.5		Bilanzierung von Adsorbern .	375
21		Sorption	342	21.2.6		Wärmebilanz an einem Festbettadsorber	378
21.1		Absorption	342	21.2.7		Technische Anwendungen und Bauformen	379
	21.1.1	Grundlagen der Absorption ..	342				
	21.1.2	Bilanzierung und Berechnung	347				
	21.1.3	<i>NTU/HTU</i> -Konzept für die Absorption	353				
	21.1.4	Kenngrößen eines Absorbers	357				
						Hinweise zum Zusatzmaterial	381
						Sachwortverzeichnis	382