

Inhalt

Vorwort	5	2.4 Fehlerfortpflanzung	32
		2.4.1 Methode der oberen und unteren Grenze	32
VTG – Verfahrenstechnische Grundlagen ..	13	2.4.2 GAUSSsche Fehlerfortpflanzung	33
1 Physikalische Größen und Einheitensysteme	14	2.4.3 Lineare Fehlerfortpflanzung .	33
1.1 Größen und Größenarten	14	2.5 Grafische Auswertung von Messdaten ...	34
1.2 Größen- und Zahlenwertgleichungen	16	2.5.1 Lineare und nichtlineare Skalen	34
1.3 Zustandsgrößen und Prozessgrößen	17	2.5.2 Anfertigung einer grafischen Darstellung	35
1.4 Zustandsfunktionen	18	2.5.3 Grafische Auswertung linearer Zusammenhänge	36
1.5 Gehalts- und Konzentrationsangaben ...	19		
1.5.1 Massenanteil	20	3 Aggregatzustände und Phasenlehre .	38
1.5.2 Stoffmengenanteil	20	3.1 Gasförmiger Zustand	38
1.5.3 Volumenanteil	21	3.1.1 Ideales Gas	38
1.5.4 Massenkonzentration	21	3.1.2 Gasmischungen	40
1.5.5 Stoffmengenkonzentration ...	21	3.1.3 Reale Gase	42
1.5.6 Volumenkonzentration	21	3.2 Flüssiger Zustand	45
1.5.7 Molalität	22	3.2.1 Dichte und Volumenausdehnung	45
1.5.8 Aktivität	22	3.2.2 Viskosität von Flüssigkeiten .	47
1.6 Umrechnungen und Mischungsrechnung	22	3.2.3 Oberflächenspannung	48
2 Statistische Grundlagen	25	3.3 Fester Zustand	49
2.1 Fehlerarten	25	3.3.1 Kristallgitter und Kristallsysteme	49
2.1.1 Grobe Abweichung von Messwerten	25	3.3.2 Methoden zur Ermittlung der Festkörperstruktur	51
2.1.2 Systematische Abweichung von Messwerten	25	3.4 Phasenumwandlung von Reinstoffen ...	52
2.1.3 Zufällige Abweichung von Messwerten	26	3.4.1 Druck-Temperatur-Phasendiagramm	52
2.2 Darstellung von Messreihen	26	3.4.2 CLAUDIUS-CLAPEYRON-Gleichung	54
2.3 Erfassung der Messwertabweichung	29	3.4.3 Regel von TROUTON	55
2.3.1 Normalverteilung nach GAUSS	30	3.5 Binäre Phasengleichgewichte	55
2.3.2 Standardabweichung	30	3.6 Ternäre Phasengleichgewichte	59
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
4	Strömungstechnische Grundbegriffe	65	6.2.5	Chemisches Gleichgewicht ..	96
4.1	<i>Allgemeine Grundlagen</i>	65	6.3	<i>Stoff- und Wärmebilanzen</i>	98
4.2	<i>Kontinuitätsgleichung</i>	66	6.3.1	Transportprozesse	99
4.3	<i>Strömung ohne Reibung</i>	67	6.3.2	Erhaltungssätze	100
4.3.1	Gleichung von BERNOULLI	67	7	Kinetik chemischer Reaktionen	102
4.3.2	Gleichung von TORRICELLI ...	69	7.1	<i>Reaktionsgeschwindigkeit</i>	102
4.4	<i>Strömung mit Reibung</i>	70	7.2	<i>Gesetze der Reaktionskinetik</i>	103
4.4.1	Viskosität	70	7.2.1	Differenzialgleichungen	104
4.4.2	Widerstandsbeiwert	71	7.2.2	Reaktionen nullter Ordnung	105
4.5	<i>Rohrströmung mit Reibung</i>	72	7.2.3	Reaktionen erster Ordnung ..	105
4.5.1	Laminare Strömung	72	7.2.4	Reaktionen zweiter Ordnung	107
4.5.2	Turbulente Strömung	73	7.2.5	Reaktionen dritter Ordnung ..	108
4.5.3	Druckverlust in Rohrleitungen	73	7.2.6	Molekularität einer Reaktion	109
4.5.4	Druckverlust in Formstücken und Armaturen	75	7.3	<i>Bestimmung von Reaktionsordnungen</i> ..	109
5	Produktionstechnische Grundbegriffe	76	7.3.1	Differenzialmethode	110
5.1	<i>Verfahrensentwicklung</i>	76	7.3.2	Methode der Anfangs- geschwindigkeiten	110
5.2	<i>Verfahrensinformationen</i>	77	7.3.3	Integrationsmethode	111
5.3	<i>Fliebschemata von Anlagen</i>	78	7.3.4	Halbwertszeitmethode	111
5.3.1	Grundfliebschema	79	7.3.5	Konzentrationsabhängige Messgrößen	111
5.3.2	Verfahrensfliebschema	79	7.3.6	Experimentelle Bestimmungs- methoden	112
5.3.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfliebschema ...	80	7.4	<i>Kinetik komplexer Reaktionen</i>	113
5.3.4	Mess- und Regelschema	82	7.4.1	Gleichgewichtsreaktionen ...	114
5.4	<i>Stoffdaten und Verfahrensablauf</i>	82	7.4.2	Parallelreaktionen	115
5.4.1	Stoffdaten	82	7.4.3	Folgereaktionen	116
5.4.2	Sicherheitstechnische Daten .	83	7.5	<i>Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit</i> ..	117
5.4.3	Toxikologische Daten	84	7.5.1	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit ...	118
5.5	<i>Scale-up - Probleme</i>	84	7.5.2	Theorie des aktivierten Komplexes	120
CRT - Chemische Reaktionstechnik	87	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

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

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

	20.2.4	Trägerdampfdestillation	318		21.2.4	Mechanismen der Adsorption	367
	20.2.5	Vakuumdestillation	319		21.2.5	Bilanzierung von Adsorbenten	375
20.3	<i>Rektifikation</i>		319		21.2.6	Wärmebilanz an einem Festbettadsorber	378
	20.3.1	Grundlagen der Rektifikation	320		21.2.7	Technische Anwendungen und Bauformen	379
	20.3.2	Bilanzen an einer Rektifikationskolonne	323				
	20.3.3	Wärmebedarf und Heizleistung	334	22	Extraktion		381
	20.3.4	Füllkörper- und Packungskolonnen	336	22.1	<i>Flüssig-Flüssig-Extraktion</i>		381
	20.3.5	Rektifikationsverfahren	338	22.1.1	Schwerlösliche Flüssigkeiten		382
21	Sorption		342	22.1.2	Bilanzierung (schwerlösliche Flüssigkeiten)		383
21.1	<i>Absorption</i>		342	22.1.3	Teilweise lösliche Flüssigkeiten		384
	21.1.1	Grundlagen der Absorption ..	342	22.1.4	Bilanzierung von Prozessen mit teilweiser Löslichkeit der Flüssigkeiten		389
	21.1.2	Bilanzierung und Berechnung	347	22.2	<i>Fest-Flüssig-Extraktion</i>		393
	21.1.3	<i>NTU/HTU</i> -Konzept für die Absorption	353	22.3	<i>Kontinuierlich arbeitende Extraktionsapparate</i>		396
	21.1.4	Kenngrößen eines Absorbers	357				
	21.1.5	Wärmebilanz bei der Absorption	358		Hinweise zum Zusatzmaterial		399
	21.1.6	Anwendung der Absorption ..	360				
21.2	<i>Adsorption</i>		362		Sachwortverzeichnis		400
	21.2.1	Grundlagen der Adsorption ..	362				
	21.2.2	Adsorptionsmittel	364				
	21.2.3	Beispiele einiger Adsorptionsmittel	365				