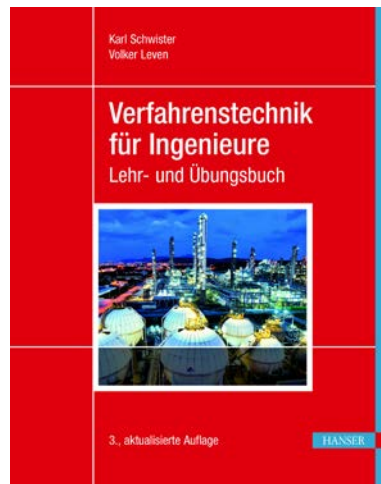


HANSER



Leseprobe

zu

„Verfahrenstechnik für Ingenieure“

von Karl Schwister und Volker Leven

ISBN (Buch): 978-3-446-46136-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-46138-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446461369>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das Lehr- und Übungsbuch *Verfahrenstechnik für Ingenieure* bietet eine kompakte, verständliche und an den Bedürfnissen der Praxis ausgerichtete Gesamtdarstellung über den vielfältigen und weit verzweigten Bereich der Verfahrenstechnik. Es gibt eine erste Einführung in die notwendigen Grundlagen wie Thermodynamik, Kinetik, Katalyse, Strömungstechnik sowie Statistik und behandelt natürlich die Grundverfahren der Mechanischen und Thermischen Verfahrenstechnik sowie die Chemische Reaktionstechnik. Neben den zahlreichen Übungsaufgaben und Exkursen wird auch dem Fachfremden ein Einstieg in diese wichtige Ingenieurdisziplin ermöglicht.

Die Abgrenzung der vier Teilbereiche erfolgt nach traditionellem Verständnis. Danach basieren die Grundoperationen der *Mechanischen Verfahrenstechnik* im Wesentlichen auf den Grundgesetzen der Mechanik. Hinzu kommen die in der *Thermischen Verfahrenstechnik* zusammengefassten Gesetzmäßigkeiten des Stoff- und Wärmetransports. Das komplexe Gebiet der *Chemischen Reaktionstechnik* beschäftigt sich mit chemischen Umsetzungen, für deren quantitative Beschreibung sowohl die Thermodynamik als auch die Kinetik benötigt wird. Bei der Anwendung der dargelegten Theorien und Berechnungsmethoden stoßen Studenten und Absolventen häufig auf Probleme, die den Einstieg in Lehrveranstaltungen, Seminare oder Praktika erschweren.

Die Zielsetzung des vorliegenden Lehr- und Übungsbuches besteht darin, den Studenten der Fach- und Vertiefungsrichtungen Verfahrenstechnik, Biotechnologie, Lebensmitteltechnologie, Pharma- und Kosmetikindustrie, Kunststoffindustrie, Metallverarbeitung, Bergbau und Hüttenwesen sowie einer Reihe von Industrie- und Umweltbereichen das nötige Grundwissen einerseits, aber auch eine Aufgabensammlung von Berechnungsbeispielen und Stoffdaten andererseits, zur schnellen und erfolgreichen Einarbeitung an die Hand zu geben.

Ausführliche Übungsbeispiele mit Lösungen sowie Stoffdaten, Glossar und Formeln sind auf der Webseite des Buches abrufbar. Weitere Informationen für den Download der Daten finden Sie auf S. 381.

Besonders bedanken möchten wir uns bei Frau Antje Kim Fraedrich für die Konzeption und Erstellung der Aufgabensammlung. Herrn Klaus Vogel- sang und Frau Janine Mater möchten wir für das Korrekturlesen danken.

Wie immer sind allein wir für die in diesem Buch enthaltenen Fehler verantwortlich.

Düsseldorf, im Juni 2019

Volker Leven und
Karl Schwister

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	3 Aggregatzustände und Phasenlehre .	38
1.5.1 Massenanteil	20	3.1 Gasförmiger Zustand	38
1.5.2 Stoffmengenanteil	20	3.1.1 Ideales Gas	38
1.5.3 Volumenanteil	21	3.1.2 Gasmischungen	40
1.5.4 Massenkonzentration	21	3.1.3 Reale Gase	42
1.5.5 Stoffmengenkonzentration ...	21	3.2 Flüssiger Zustand	45
1.5.6 Volumenkonzentration	21	3.2.1 Dichte und Volumenausdehnung	45
1.5.7 Molalität	22	3.2.2 Viskosität von Flüssigkeiten .	47
1.5.8 Aktivität	22	3.2.3 Oberflächenspannung	48
1.6 Umrechnungen und Mischungsrechnung	22	3.3 Fester Zustand	49
2 Statistische Grundlagen	25	3.3.1 Kristallgitter und Kristallsysteme	49
2.1 Fehlerarten	25	3.3.2 Methoden zur Ermittlung der Festkörperstruktur	51
2.1.1 Grobe Abweichung von Messwerten	25	3.4 Phasenumwandlung von Reinstoffen ...	52
2.1.2 Systematische Abweichung von Messwerten	25	3.4.1 Druck-Temperatur-Phasendiagramm	52
2.1.3 Zufällige Abweichung von Messwerten	26	3.4.2 CLAUSIUS-CLAPEYRON-Gleichung	54
2.2 Darstellung von Messreihen	26	3.4.3 Regel von TROUTON	55
2.3 Erfassung der Messwertabweichung	29	3.5 Binäre Phasengleichgewichte	55
2.3.1 Normalverteilung nach GAUSS	30	3.6 Ternäre Phasengleichgewichte	59
2.3.2 Standardabweichung	30		
2.3.3 Vertrauensbereich	31		

3.7	Verdünnte Lösungen	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	Stoff- und Wärmebilanzen	98
4.1	Allgemeine Grundlagen	65	6.3.1	Transportprozesse	99
4.2	Kontinuitätsgleichung	66	6.3.2	Erhaltungssätze	100
4.3	Strömung ohne Reibung	67			
4.3.1	Gleichung von BERNOULLI	67	7	Kinetik chemischer Reaktionen	102
4.3.2	Gleichung von TORRICELLI ...	69	7.1	Reaktionsgeschwindigkeit	102
4.4	Strömung mit Reibung	70	7.2	Gesetze der Reaktionskinetik	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	Rohrströmung mit Reibung	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	Bestimmung von Reaktionsordnungen ..	109
			7.3.1	Differenzialmethode	110
			7.3.2	Methode der Anfangs- geschwindigkeiten	110
5	Produktionstechnische Grundbegriffe	76	7.3.3	Integrationsmethode	111
5.1	Verfahrensentwicklung	76	7.3.4	Halbwertszeitmethode	111
5.2	Verfahrensinformationen	77	7.3.5	Konzentrationsabhängige Messgrößen	111
5.3	Fliebschemata von Anlagen	78	7.3.6	Experimentelle Bestimmungs- methoden	112
5.3.1	Grundfliebschema	79	7.4	Kinetik komplexer Reaktionen	113
5.3.2	Verfahrensfliebschema	79	7.4.1	Gleichgewichtsreaktionen ...	114
5.3.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfliebschema ...	80	7.4.2	Parallelreaktionen	115
5.3.4	Mess- und Regelschema	82	7.4.3	Folgereaktionen	116
5.4	Stoffdaten und Verfahrensablauf	82	7.5	Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit ..	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	Scale-up – Probleme	84			
CRT – Chemische Reaktionstechnik	87	8	Aktivierung von Reaktionen und Katalyse	122	
6	Grundlagen der Reaktionstechnik ...	88	8.1	Aktivierung von Reaktionsprozessen	123
6.1	Einführung und Grundbegriffe	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	Chemische Thermodynamik	92	8.1.4	Biokatalytische Aktivierung ..	126
6.2.1	Systeme und Zustandsgrößen	92	8.1.5	Fotochemische Aktivierung ..	128
			8.2	Homogene und heterogene Systeme	128

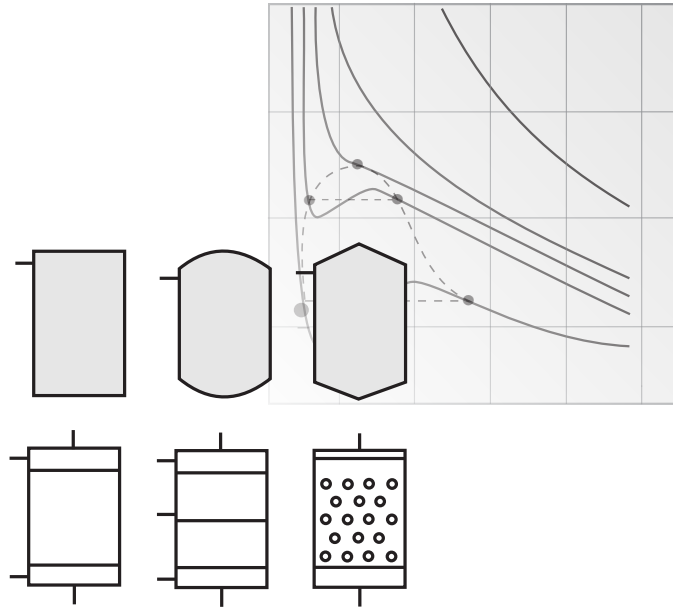
8.3	<i>Heterogene Katalyse</i>	128	10.2.1	Verweilzeitspektrum und Verweilzeit-Summenfunktion	170
8.3.1	Heterogene Reaktionen mit Feststoffen	128	10.2.2	Messung der Verweilzeitverteilungen	171
8.3.2	Heterogene Reaktionen mit Fluiden	134	10.3	<i>Berechnung und Auswertung von Verweilzeitverteilungen</i>	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
9	Ideale Reaktoren	146	MVT – Mechanische Verfahrenstechnik – Grundoperationen	183	
9.1	<i>Klassifizierung von Reaktoren</i>	146	11	Charakterisierung von Partikeln und dispersen Systemen	184
9.1.1	Allgemeine Betriebsformen ..	146	11.1	<i>Grundlagen</i>	184
9.1.2	Vermischung im Reaktor	147	11.2	<i>Partikelgrößen und Merkmale</i>	185
9.1.3	Wärmetechnische Betriebsformen	148	11.3	<i>Kenngrößen einer Verteilung</i>	187
9.1.4	Grundtypen chemischer Reaktoren	150	11.3.1	Verteilungssumme	187
9.1.5	Stoff- und Wärmebilanzen ...	151	11.3.2	Verteilungsdichte	188
9.2	<i>Diskontinuierlich betriebener Rührkessel</i>	152	11.4	<i>Verteilungsgesetze</i>	190
9.2.1	Isotherm betriebener Rührkessel	153	11.4.1	Potenzverteilung nach GATES-GAUDIN-SCHUMANN	191
9.2.2	Adiabat betriebener Rührkessel	154	11.4.2	GAUSSsche Normalverteilungsfunktion	191
9.2.3	Polytrop betriebener Rührkessel	155	11.4.3	Logarithmische Normalverteilung	192
9.3	<i>Kontinuierliche Betriebsführung ohne Rückvermischung der Reaktionsmasse</i> ..	156	11.4.4	RRSB-Verteilung	192
9.4	<i>Kontinuierliche Betriebsführung mit Rückvermischung der Reaktionsmasse</i> ..	159	11.4.5	Vergleich der Verteilungen und Kennwerte	193
9.5	<i>Rührkesselkaskade</i>	161	11.5	<i>Messen einer Partikelgrößenverteilung</i> ..	195
9.5.1	Gestaltung und stoffliche Bilanzierung	162	12	Zerteilung von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen	198
9.5.2	Berechnung von Rührkesselkaskaden	163	12.1	<i>Grundlagen</i>	198
9.6	<i>Vergleichende Betrachtung der Reaktoren</i>	165	12.2	<i>Zerkleinerung</i>	198
10	Reale Reaktoren und Verweilzeitverteilungen	168	12.2.1	Näherungsformeln	200
10.1	<i>Abweichungen vom idealen Verhalten</i> ...	168	12.2.2	Zerkleinerungsgrad	201
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	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
16.3.2	Verdichter	271	16.4	Feststoffförderung	274
13	Trennen disperser Systeme	211	16.4.1	Gurt-, Gliederbandförderer und Becherwerke	274
13.1	Grundlagen	211	16.4.2	Schnecken- und Spiralförderer	275
13.2	Absetzprozesse	211	16.4.3	Pneumatische Förderung	275
13.2.1	Sedimenter	215			
13.2.2	Trennschärfe und Abscheidegrad	217	TVT – Thermische Verfahrenstechnik – Grundoperationen	279	
13.2.3	Zentrifuge	219	17	Verdampfen und Kondensieren	280
13.2.4	Zyklone	224	17.1	Grundlagen	280
13.2.5	Koagulation und Flokkulation	227	17.1.1	Dampf	282
13.2.6	Flotation	227	17.1.2	Wärmeübertragung	283
13.3	Filtrationsprozesse	228	17.1.3	Wärmeaustauscher	286
13.3.1	Kuchenfiltration	229	17.2	Verdampfen und Eindampfen	288
13.3.2	Querstromfiltration	233	18	Kristallisation	290
13.3.3	Tiefenfiltration	235	18.1	Grundlagen	290
14	Mischen	238	18.2	Berechnungen zur Kristallisation	291
14.1	Grundlagen	238	18.3	Technische Anwendung	294
14.2	Mischen von Feststoffen	240	19	Trocknen	295
14.3	Statisches Mischen von Fluiden	243	19.1	Grundlagen	295
14.4	Dynamisches Mischen von Flüssigkeiten	245	19.2	Trocknungsarten und Trocknungs- kurven	299
14.4.1	Laminarer Bereich	248	19.3	Bauarten von Trocknern	301
14.4.2	Turbulenter Bereich	249	20	Destillation und Rektifikation	302
14.4.3	Übergangsbereich	249	20.1	Grundlagen	302
14.4.4	Rühren von nicht-NEWTON- schen Flüssigkeiten	250	20.1.1	Ideales Zweistoffgemisch	302
14.4.5	Scale-up – Maßstabs- übertragung	250	20.1.2	Reales Zweistoffgemisch	308
14.4.6	Weitere Anwendungsgebiete	251	20.1.3	Mischungslücken	310
15	Agglomerieren	254	20.2	Destillation	312
15.1	Grundlagen	254	20.2.1	Absatzweise (einfache) Destillation	312
15.2	Einteilung der Agglomeration	255	20.2.2	Fraktionierte Destillation	316
15.2.1	Aufbauagglomeration (Pelletieren)	255	20.2.3	Kontinuierliche Destillation ..	317
15.2.2	Pressagglomeration (Formpressen)	257			
16	Transport von Stoffen	260			
16.1	Arten der Förderung	260			

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	<i>Rektifikation</i>	319	21.2	<i>Adsorption</i>	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	<i>Absorption</i>	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

VTG

Verfahrenstechnische Grundlagen



- 1 Physikalische Größen und Einheitensysteme
- 2 Statistische Grundlagen
- 3 Aggregatzustände und Phasen
- 4 Strömungstechnische Grundbegriffe
- 5 Produktionstechnische Grundbegriffe

In diesem Teil des Buches werden neben grundlegenden naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten die verfahrenstechnischen Grundlagen besprochen. Es geht um Definitionen von Begriffen, um das Vergrößern von Laborverfahren in den Produktionsmaßstab (Scale-up) und um chemische Stoffumwandlungsprozesse in verschiedenen Reaktionsapparaten. Daneben werden Transportvorgänge von Fluiden, Wärme und Stoffen in ihren physikalischen Grundprinzipien dargestellt. Bei diesen drei Erscheinungsformen handelt es sich um Ausgleichsvorgänge auf submikroskopischer Ebene, bei denen Volumenelemente sich gegeneinander verschieben oder aneinander reiben können. Der Widerstand

einer Strömung, einer Wärmeübertragung oder des Stofftransports ist in allen Fällen mit der inneren und äußeren Reibung zu begründen. Bei der Übertragung der Wärme werden Teilchen mit hoher thermischer Bewegung Energie an benachbarte Teilchen abgeben. Strömungsimpulse entstehen, wenn schnelle auf langsame Teilchen treffen. Der Stofftransport entsteht, wenn Teilchen aufgrund ihrer kinetischen Bewegungsenergie in andere Bereiche vordringen. Alle Vorgänge, die auf eine submikroskopische Bewegung von Teilchen zurückzuführen sind, lassen sich mit mathematischen Gleichungen beschreiben.

1

Physikalische Größen und Einheitensysteme

1.1 Größen und Größenarten

Ein wesentliches Ziel der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung ist die Beschreibung der in der Natur ablaufenden Vorgänge bzw. der technischen Prozesse durch mathematische Gleichungen. Diese werden entweder durch Experimente oder durch theoretische Überlegungen erhalten. Diese Gleichungen stellen einen funktionalen Zusammenhang zwischen den für den betrachteten Prozess maßgeblichen erfassbaren Eigenschaften oder Erscheinungen des Systems her, die auch allgemein Einflussgrößen genannt werden. Solche Größen sind z. B. Länge, Masse, Zeit, Stromstärke, Konzentration, Arbeit oder Energie. Jede dieser **Größen** G lässt sich aufspalten in ein Produkt aus dem **Zahlenwert** $\{G\}$ und der dazugehörigen **Einheit** $[G]$:

$$G = \{G\} \cdot [G] \quad (1-1)$$

Die Einheit ist eine willkürlich wählbare, aber vereinbarte Größe der gleichen Art wie die betrachtete Größe. Die physikalische Größe der Zeit $t = 60 \text{ s}$ besteht beispielsweise aus dem Zahlenwert $\{t\} = 60$ und der Einheit $[t] = \text{s}$. Statt der Einheit „Sekunde“ kann auch eine andere Zeiteinheit verwendet werden, z. B. „Minute“ oder „Stunde“.

Eine Gleichung zwischen verschiedenen Einflussgrößen (Größengleichung) beinhaltet immer die Arten (Einheiten) dieser Größe und deren Zahlenwerte. Größengleichungen sind daher im Unterschied zu den reinen Zahlenwertgleichungen (z. B.: $4 \cdot 2 = 8$) auch Einheitengleichungen. Eine Größengleichung ist demzufolge auch nur dann erfüllt, wenn Zahlenwert und Einheit auf beiden Seiten übereinstimmen.

Gleichartige Größen werden unter dem Begriff **Größenarten** zusammengefasst. So stellen die Größen Arbeit und Wärme etwas grundsätzlich anderes dar, gehören jedoch beide der gemeinsamen Größenart Energie an. Der überwiegende Teil der physikalischen und chemischen Größenarten ist durch Naturgesetze miteinander verknüpft. Einige müssen jedoch unabhängig voneinander festgelegt werden. Sie werden als Grundgrößenarten oder **Basisgrößen** bezeichnet. Aus diesen Basisgrößen werden die abgeleiteten Größen definiert.

Bisher existierte eine Vielzahl von Einheitensystemen, z. B. das physikalische und das technische Einheitensystem u. v. a.; daneben kommen noch die britischen und US-Einheitensysteme. Die Gremien der Meterkonvention haben das sog. **Internationale Einheitensystem** (Système International d'Unités = SI) empfohlen. Durch das „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 2. Juli 1969 wurde das Internationale Einheitensystem für die Bundesrepublik Deutschland gesetzlich vorgeschrieben. Die Basisgrößen, Basiseinheiten und Einheitenzeichen sind in Tabelle 1.1 gezeigt.

Tabelle 1.1 SI-Basisgrößen und Basiseinheiten

Basisgröße	Basiseinheit Name	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Die Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems sind gegenwärtig wie folgt definiert:

1 Meter ist gleich der Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299\,792\,458$ Sekunden durchläuft.

1 Kilogramm ist die Masse des Internationalen Kilogrammprototyps in Paris, einem Zylinder aus einer Pt-Ir-Legierung von 39 mm Höhe und gleichem Durchmesser.

1 Sekunde ist die Zeitdauer von $9\,192\,631\,770$ Schwingungsperioden der Strahlung des ^{133}Cs -Isotops.

1 Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stromes, der durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 m voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem Querschnitt fließend zwischen diesen Leitern elektrodynamisch eine längenbezogene Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ Newton je 1 m Leiterlänge hervorgerufen würde.

1 Kelvin ist der $273,16$ te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser genau definierter Isotopenzusammensetzung.

1 Candela ist die Lichtstärke einer monochromatischen Strahlungsquelle mit einer Frequenz von exakt $540 \cdot 10^{12}$ Hz, deren Strahlstärke in die herausgegriffene Richtung $1/683$ W/sr beträgt.

1 Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das so viele Teilchen enthält, wie Atome in $0,012$ kg des Kohlenstoffisotops ^{12}C enthalten sind. (Diese Zahl

$N_A = 6,022\,141 \cdot 10^{23}$ Atome/Mol heißt AVOGADRO-Konstante.)

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten werden durch Voransetzen von Präfixen ausgedrückt (vgl. Tabelle 1.2).

Die Vielzahl möglicher Größen lässt sich auf die sieben Basisgrößen zurückführen. Eine Basisgröße kann nicht weiter auf andere Größen reduziert werden. Daher gibt es für eine Basisgröße keine Definition, sondern nur eine Messvorschrift, mit der ihre Einheit festgelegt wird.

Exkurs 1.1 Vom Urmeter bis zur Neudefinition der Längeneinheit Meter

Die **Längeneinheit Meter** ist seit Ende des 18. Jahrhunderts in Gebrauch. Der Ursprung ist ein Beschluss der französischen Nationalversammlung, ein einheitliches Längenmaß zu schaffen. Das Königreich Bayern trat 1870, noch vor der Reichsgründung, der Internationalen Meterkonvention bei und erhielt als einer der damals 27 beteiligten Staaten eine offizielle Kopie des Prototyps von 1889 aus einer Platin-Iridium-Legierung. Während des 3. Reiches musste Bayern ein Exemplar an die Physikalisch-Technische Reichsanstalt Berlin abgeben.

Der **Meterprototyp** wurde erst 1960 abgelöst, als die Generalkonferenz für Maß und Gewicht das Meter als das $1\,650\,763,73$ -Fache der Wellenlänge der von Atomen des Nuklids Krypton-86 im Vakuum ausgesandten Strahlung definierte. Damit wurde eine etwas höhere Genauigkeit definiert.

Da die früheren Definitionen des Urmeters auf der Basis des internationalen Prototyps bzw. einer bestimmten Wellenlänge im Vergleich zur mit Atomuhren gemessenen SI-Basiseinheit Sekunde relativ ungenau waren, entschloss man sich, das Meter neu zu definieren. Seit 1983 ist die SI-Basiseinheit Meter wie folgt festgelegt:

1 Meter ist die Strecke, die das Licht im Vakuum in einer Zeit von $1/299\,792\,458$ Sekunden durchläuft.

Tabelle 1.2 Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten (DIN 1301, Auszug)

Präfixe	Kurzzeichen	Bedeutung der Präfixe
Exa	E	10^{18} -Faches der Einheit
Peta	P	10^{15} -Faches der Einheit
Tera	T	10^{12} -Faches der Einheit
Giga	G	10^9 -Faches der Einheit
Mega	M	10^6 -Faches der Einheit
Kilo	k	10^3 -Faches der Einheit
Hekto	h	10^2 -Faches der Einheit
Deka	da	10^1 -Faches der Einheit
Dezi	d	10^{-1} -Faches der Einheit
Zenti	c	10^{-2} -Faches der Einheit
Milli	m	10^{-3} -Faches der Einheit
Mikro	μ	10^{-6} -Faches der Einheit
Nano	n	10^{-9} -Faches der Einheit
Piko	p	10^{-12} -Faches der Einheit
Femto	f	10^{-15} -Faches der Einheit
Atto	a	10^{-18} -Faches der Einheit

Alle anderen Größen sind **abgeleitete Größen** und können entsprechend ihrer Definition als solche dargestellt werden. Als Beispiel einer abgeleiteten Größe soll die Kraft betrachtet werden. Für sie gilt das physikalische Gesetz:

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung}$$

$$F = m \cdot a$$

Mit der Masse $m = 1$ kg als Basisgröße und der Beschleunigung $a = 1$ m/s² als bereits abgeleitete Größenart ergibt sich:

$$F = m \cdot a = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1 \text{ N}$$

Die abgeleitete Einheit $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ hat die neue Bezeichnung Newton erhalten. 1 N ist daher die Kraft F , die der Masse $m = 1 \text{ kg}$ die Beschleunigung $a = 1 \text{ m/s}^2$ erteilt.

Tabelle 1.3 Einige abgeleitete Größenarten und Einheiten des Internationalen Einheitensystems

Größenart	Einheit	physikal. Gleichung	Einheiten-gleichung
Kraft	N (Newton)	$F = m \cdot a$	$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$
Druck	Pa (Pascal)	$p = F / A$	$\text{Pa} = \text{kg} / (\text{m} \cdot \text{s}^2)$
Energie	J (Joule)	$W = F \cdot s$	$\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$
Leistung	W (Watt)	$P = W / t$	$\text{W} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3$
Frequenz	Hz (Herz)	$f = 1 / t$	$\text{Hz} = 1 / \text{s}$

Viele der häufig verwendeten Einheiten sind keine SI-Einheiten. Sie sind jedoch Vielfache von SI-Einheiten, wie z.B. die Einheit Liter ($1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$). In der folgenden Tabelle 1.4 sind einige gebräuchliche Umrechnungsfaktoren für übliche Einheiten zusammengestellt.

Tabelle 1.4 Umrechnungsfaktoren häufig verwendeter Einheiten

Basisgröße	Basiseinheit Name	Einheiten-zeichen
Zeit (t)	Minute (min)	1 min = 60 s
	Stunde (h)	1 h = 3 600 s
	Tag (d)	1 d = 86 400 s
	Jahr (a)	1 a = 31 536 000 s
Länge (l)	Ångström (Å)	1 Å = 10^{-10} m
Volumen (V)	Liter (l)	1 l = 10^{-3} m^3
Druck (p)	Bar (bar)	1 bar = 100 000 Pa
Energie (E)	Elektronvolt (eV)	1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

1.2 Größen- und Zahlenwertgleichungen

Größengleichungen sind im Unterschied zu den früher häufig verwendeten Zahlenwertgleichungen unabhängig von den verwendeten Einheiten und enthalten daher auch keine Umrechnungsfaktoren. Es

ist daher zweckmäßig, Definitionen und Gesetze stets als Größengleichungen anzugeben.

Größengleichungen sind Gleichungen zwischen physikalischen Größen. Sie enthalten nur die Symbole der physikalischen Größen und Zahlenwerte, die aus mathematischen Operationen entstanden sind. Andere Zahlenwerte oder Zeichen, die aus der Umrechnung unterschiedlicher Einheiten stammen, enthalten sie nicht.

In Größengleichungen ist die physikalische Größe vollständig angegeben, also als Produkt aus Zahlenwert und Einheit. Folgendes Beispiel soll diesen Sachverhalt verdeutlichen:

$$\begin{aligned} \text{Kraft} &= \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung} \\ F &= m \cdot g \end{aligned}$$

Bei einer Masse von $m = 90 \text{ kg}$ sind der Zahlenwert $\{m\} = 90$ und die Einheit $[m] = \text{kg}$ in die Größengleichung einzusetzen. Mit der Fallbeschleunigung von $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ist ebenso zu verfahren. Im Internationalen Einheitensystem ergibt sich:

$$F = m \cdot g = 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 882,9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Mit $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1 \text{ N}$ ist die Kraft $F = 882,9 \text{ N}$.

Im Technischen Einheitensystem wäre

$$m = \frac{F}{g} = \frac{90 \text{ kp}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 9,17 \frac{\text{kp} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

Wird die Kraft $F = 882,9 \text{ N}$ in die Krafteinheit des Technischen Einheitensystems umgerechnet, so ergibt sich mit $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$:

$$F = 882,9 \text{ N} = 882,9 \text{ N} \cdot (1/9,81) \cdot \text{kp/N} = 90 \text{ kp}$$

Mathematische Beziehungen zwischen reinen Zahlen werden **Zahlenwertgleichungen** genannt. Sie werden nur in Sonderfällen verwendet, z.B. bei der Umrechnung verschiedener Temperatureinheiten. Die gebräuchlichste Einheit ist Grad Celsius. In den USA ist auch die Einheit degree Fahrenheit in Gebrauch. Die meistverwendete Einheit für wissenschaftliche Zwecke ist das Kelvin.

Die Zahlenwerte der unterschiedlichen Einheiten sind durch Zahlenwertgleichungen verknüpft. Die Umrechnung einer Temperaturangabe von Fah-

renheit in Celsius ist in dem folgenden Beispiel gezeigt:

$$\{\vartheta_{\text{C}}\} = 0,5556 \cdot (\{\vartheta_{\text{F}}\} - 32) \quad (1-2)$$

Nach Gleichung (1-2) lässt sich der Zahlenwert der Celsius-Temperatur errechnen. Für die Temperatur nach der Fahrenheit-Skala ist der reine Zahlenwert einzusetzen. Für 140 °F ergibt sich beispielsweise:

$$\{\vartheta_{\text{C}}\} = 0,5556 \cdot (140 - 32) = 60$$

Weitere Temperaturumrechnungsformeln sind in Tabelle 1.5 zusammengestellt.

Tabelle 1.5 Temperaturumrechnungsformeln häufig verwendete Einheiten wie Grad Celsius (°C), Grad Fahrenheit (°F), Kelvin (K), Grad Rankine (°Ra) und Grad Réaumur (°Re)

Umrechnungsformeln	
$\{\vartheta_{\text{C}}\} = 0,5556 \cdot (\{\vartheta_{\text{F}}\} - 32)$ $\{\vartheta_{\text{F}}\} = (1,80 \cdot \{\vartheta_{\text{C}}\}) + 32$	Grad Celsius ↔ Grad Fahrenheit
$\{\vartheta_{\text{C}}\} = \{T\} - 273,15$ $\{T\} = \{\vartheta_{\text{C}}\} + 273,15$	Grad Celsius ↔ Kelvin
$\{\vartheta_{\text{C}}\} = 0,5556 \cdot (\{\vartheta_{\text{Ra}}\} - 491,67)$ $\{\vartheta_{\text{Ra}}\} = (1,80 \cdot \{\vartheta_{\text{C}}\}) + 491,67$	Grad Celsius ↔ Grad Rankine
$\{\vartheta_{\text{C}}\} = 1,25 \cdot \{\vartheta_{\text{Re}}\}$ $\{\vartheta_{\text{Re}}\} = 0,80 \cdot \{\vartheta_{\text{C}}\}$	Grad Celsius ↔ Grad Réaumur

Neben diesen wichtigsten Temperaturskalen gibt es noch eine Reihe veralteter Skalen, wie die nach DELISLE, NEWTON oder RØMER.

1.3 Zustandsgrößen und Prozessgrößen

Eine **Zustandsgröße (Zustandsvariable)** ist eine physikalische Größe oder ein Parameter in einer Zustandsgleichung, die nur vom aktuellen Zustand eines betrachteten Systems abhängt. Der Weg, auf dem dieser Zustand erreicht wurde, ist daher nicht von Interesse. Eine Zustandsgröße beschreibt nur eine Eigenschaft des Systems in diesem Zustand.

Temperatur, Druck, Masse, Dichte, Energie und Entropie sind Beispiele von Zustandsgrößen.

In der Thermodynamik wird ein System eindeutig beschrieben, beispielsweise durch Angabe der Zustandsgrößen Druck p , Temperatur T , Volumen V , Stoffmenge n bzw. Masse m , Enthalpie H und Entropie S . Diese Zustandsgrößen bleiben konstant, wenn sich das System im thermodynamischen Gleichgewicht befindet.

Physikalische Größen, die den Zustand eines thermodynamischen Systems beschreiben, werden thermodynamische Zustandsgrößen genannt. Es wird unterschieden:

Thermische Zustandsgrößen: Temperatur T , Volumen V und Druck p .

Kalorische Zustandsgrößen: Innere Energie U , Enthalpie H , Entropie S und weitere.

Spezifische Zustandsgrößen: Physikalische Größen, die in der Regel auf die Masse eines Stoffes oder Körpers oder auf Raumdimensionen eines Systems (Volumen, Flächeninhalt, Länge) bezogen sind. Nach DIN-Norm ist der Begriff spezifisch jedoch nur für den Massenbezug reserviert. Spezifische Größen werden mit Kleinbuchstaben bezeichnet (Ausnahmen: Masse m und Stoffmenge n). Beispiel: Spezifisches Volumen $v = V/m$.

Molare Zustandsgrößen: Auf die Stoffmenge n (Substanzmenge, Molmenge) bezogene Zustandsgrößen, auch stoffmengenbezogene Zustandsgrößen genannt. Sie werden durch den Index m gekennzeichnet. Beispiel: Molares Volumen $V_m = V/n$.

Extensive Zustandsgrößen: Physikalische Größen, die zur Teilchenzahl proportional sind. Der Wert einer solchen Zustandsgröße ändert sich mit der Größe des betrachteten Systems. Beispiele sind Masse m , Stoffmenge n , Volumen V , Enthalpie H und Entropie S . Das Pendant der extensiven Größe ist die intensive Größe.

Intensive Zustandsgrößen: Physikalische Größen, die sich bei unterschiedlicher Größe des betrachteten Systems nicht ändern. Es werden **systemeigene intensive Größen** wie beispielsweise Temperatur T und Druck p und **stoffeigene intensive Größen** wie alle spezifischen und molaren Größen unterschieden.

Es ist natürlich auch möglich, extensive in intensive Größen umzuwandeln, indem diese auf eine

Sachwortverzeichnis

A

- Abgas 359
- Abgeberphase 342
- Abhängigkeit der Reynolds-Zahl und des Widerstandsbeiwerts 214
- Ablaufstrom 317
- Abschätzung der Messunsicherheit 31
- Abscheidegrad 217
- Abscheiden 219
- Absenkung des Druckes 319
- Absetzen 211
- Absetzprozesse 211
- Absorbat 342
- Absorbens 342
- Absorbensverhältnis 347, 351
- Absorpt 342
- Absorption 342
- Absorption von CO₂ 358
- Absorption, physikalische 343
- Absorptionsgeschwindigkeit 370
- Absorptionsgrad 357
- Absorptionskolonne 360
- Absorptiv 342
- Abstoßung zwischen den Molekülen 58
- Abtrennen unerwünschter Komponenten 198
- Abtriebsgerade 325
- Abtriebsteil 323
- Abweichung von Messwerten, grobe 25
- Abweichung von Messwerten, systematische 25
- Abweichungen der Messwerte 25
- Abweichung vom idealen Verhalten 168
- Addition, quadratische 33
- adiabatisch 92
- Adsorbens 132
- Adsorber, diskontinuierlich betriebene 379
- Adsorption 342, 362
- Adsorptionsanlage, (quasi) kontinuierliche 380
- Adsorptionsbetrieb, kontinuierlicher 380
- Adsorptionsisobare 368
- Adsorptionsisothermen 368
- Adsorptionsmittel 364 f.
- Adsorptiv 132
- Agglomerieren 254 ff.
- Aggregatzustände und Phasenlehre 38 ff.
- Aktivierung der C=C-Doppelbindung 139
- Aktivierung der C=O-Bindung 139
- Aktivierung der N-Bindung 139
- Aktivierung durch Initiatorzerfall 126
- Aktivierung von Reaktionen und Katalyse 122 ff.
- Aktivierung von Reaktionsprozessen 123
- Aktivierung, biokatalytische 126
- Aktivierung, fotochemische 128
- Aktivierung, katalytische 124
- Aktivierung, thermische 123
- Aktivierungsenergie 118
- Aktivität 22, 125
- Aktivkohle 365
- amorph 49
- Ampere 15
- Analyse, elektrische 196
- Analyse, optische 196
- Änderung der Anlagenkennlinie 267
- Änderung des Verlaufs der Pumpenkennlinie 267
- Anfertigung einer grafischen Darstellung 35
- Anforderungen, sicherheitstechnische 77
- Angaben zur Wärmedämmung 80
- Anlagenkennlinie 266
- Anlagerung 362
- Anomalie des Wassers 46
- Ansaugen 271
- Anteilsgößen 89
- Antriebsmotor 270
- Anwendungsgebiete 251
- Anzahl der Übertragungseinheiten (NTU) 337
- Anziehung zwischen den Molekülen 58
- Apparate 79 f.
- Äquivalentdurchmesser 185
- Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) 84
- Armaturen 80
- Arrhenius-Gleichung 118
- Arten der Förderung 260
- Aufbauagglomeration (Pelletieren) 255
- Aufbereitung am Ende der Filtration 229
- Aufgabenstellung 80
- aufkonzentriert 288
- Aufnehmerphase 342
- Ausbeute 90
- Ausdehnen 272
- Ausdehnungskoeffizient, linearer 46
- Ausgangsgemisch 306
- Außenmischung 208
- Austauschzonen (Böden) 321
- Austritt 271
- Auswertung linearer Zusammenhänge, grafische 36
- Auswertung von Messdaten, grafische 34
- autokatalytisch 137
- Avogadro-Konstante 39
- Axialpumpen 263
- azeotrop 307
- Azeotropie 309 f.

B

Backenbrecher 202
Basenkatalyse 138 f.
Basisgrößen 14
Bauarten der Filtrationsmodule 235
Bauarten von Trocknern 301
Bauform eines Wärmeaustauschers 287
Becherwerke 275
Bedeckungsgrad 364
Begasen einer Flüssigkeit 252
Begasung 198, 208
Beispiele für Reaktionen 0. Ordnung 105
Beispiele für Reaktionen 1. Ordnung 106
Beladung 132, 346
Beladung am Gasaustritt 349
Beladung im Gaseintritt 349
Beladung im Waschmitteleintritt 349
Beladungen, geringe 371
Beladungen, hohe 371
Beladungskapazität 365
Beladungskapazität, maximale 367
Beladungsverteilung 376
Beladungswert, tatsächlicher 377
Benennung der Ein- und Ausgangsstoffe 79
Benennung der Stoffe zwischen den Stufen 79
Benetzungsfaktor 354
Beobachtungseinheit 26
Beobachtungsmenge 26
Beobachtungsmerkmale 26
Berechnung 264, 304, 347
Berechnung und Auswertung von Verweilzeitverteilungen 172
Berechnung von Rührkesselskaskaden 163
Berechnungen zur Kristallisation 291
Berechnungsbeispiele 179
Bereich 29
Bereich, kinetischer 131
Bereich, laminarer 248
Bereich, turbulenter 249
Berieseln 198, 204
Berieselung 204
Beschreibung der Messunsicherheit 31
Beständigkeit 365
Bestimmung der HTU-Werte 356
Bestimmung der NTU-Werte 355
Bestimmung der Tropfenmasse (Stalagmometer) 49
Bestimmung von Reaktionsordnungen 109
Bestimmungsmethoden, experimentelle 112
Bestwert 29
BET-Gleichung 373
Betrieb, diskontinuierlicher 147
Betrieb, halbkontinuierlicher 147
Betrieb, kontinuierlicher 147
Betriebsbedingungen, charakteristische 79
Betriebsformen, allgemeine 146
Betriebsformen, wärmetechnische 148
Betriebsführung mit Rückvermischung der Reaktionsmasse kontinuierliche 159
Betriebsführung ohne Rückvermischung der Reaktionsmasse, kontinuierliche 156
Betriebsparameter 209
Betriebspunkt 267
Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) 83
Betriebsweise, kontinuierliche 91
Betriebszeit 152
Betriebszustand, adiabater 148
Betriebszustand, instationärer 159
Betriebszustand, isothermer 148
Betriebszustand, polytroper 148
Beurteilungsgrößen und Definitionen 89
Bewehrung des Rührbehälters 247
Bezeichnung der einzelnen Stufen 79
Bezeichnung und Menge der Energieart 79
Bezugsgröße, unveränderliche 296
Bilanzen 101
Bilanzen an einer Rektifikationskolonne 323
Bilanzgebiet 99
Bilanzierung 347
Bilanzierung von Adsorbentien 375
Bilanzlinie 355
bimolekular 109
Binäre Phasengleichgewichte 55
Bingham-Fluid 71
Binodalkurve 59

Biokatalysatoren 126
Biokatalysatoren, immobilisierte 127
Bitumen 341
Blasengase 209
Blitzlichtfotolyse 112
Bodenstein-Zahl 180
Boyle-Temperatur 42
Bragg-Gleichung 51
Bravais-Gitter 50
Brechen 198 f.
Bruchvorgang 201
Brunauer-Emmett-Teller-Isotherme (BET) 133

C

Candela 15
Charakterisierung von Partikeln und dispersen Systemen 184 ff.
Chemisorption 132, 134, 342 f., 363
Clausius-Clapeyron-Gleichung 54 f.

D

Dampf 282
Dampf, gesättigter 282
Dampf, überhitzter ungesättigter 283
Dampf, überkritischer 283
Dampfbelastung 336
Dampfdruck 78, 280
Dampfdruckerniedrigung 60
Dampfdruckerniedrigung, relative 56
Dampfdruckmaximum 308 f.
Dampfdruckminimum 308, 310
Darstellung, grafische 304
Darstellung von Messreihen 26
Daten der Zentrifuge, konstruktive 222
Daten zu Hauptreaktionen 77
Daten zu Nebenreaktionen 77
Daten zu Phasengleichgewichten 78
Daten zur Toxikologie 77
Daten, sicherheitstechnische 83
Daten, toxikologische 84
Desaktivierung 125
Desorption 342, 345, 361
Desorptionsgeschwindigkeit 370
Destillation 312
Destillation und Rektifikation 302 ff.
Destillation, absatzweise (einfache) 312
Destillation, einfache 312

-
- Destillation, einfache
 - diskontinuierliche 312
 - Destillation, fraktionierte 312, 316
 - Destillation, kontinuierliche 317
 - Destillationslinien 341
 - Destillatstrom 317
 - Dichte 45, 78
 - Dichte und Volumenausdehnung 45
 - Dichtstromförderung 277
 - Differenzialgleichungen 104
 - Differenzialmethode 110, 195
 - Differenzielle Verweilzeitverteilung 180
 - Diffusion, äußere 131
 - Diffusion, innere 131
 - Diffusion, molekulare 131
 - Diffusionsgebiet, äußeres 131
 - Diffusionsgebiet, inneres 131
 - Diffusionsvorgänge 364
 - Diffusor (große Ventilatoren) 270
 - Dilatanz 71
 - diskontinuierlich 89
 - Dispergieren von Flüssigkeiten 252
 - Dispersionsmittel 184
 - Dispersionsmodell 175
 - Dispersionszustand 184
 - Dosierbarkeit 198
 - Dosis 84
 - Drehkolbenverdichter 273
 - Dreiecksdiagramme 341
 - Dreieckskoordinatensysteme 59
 - Dreikomponentengemische 341
 - Dreiphasenreaktionen 133
 - Druck, hydrostatischer 48
 - Druck, konstanter 231
 - Druck, messbarer 67
 - Druck, osmotischer 62
 - Druck und Osmose 62
 - Druckabfall, konstanter 231
 - Druckdifferenz 230, 264
 - Druckförderanlagen 276
 - Druckstufe 80
 - Druck-Temperatur-Phasendiagramm 52
 - Druckverhältnisse 228
 - Druckverlust in Formstücken und Armaturen 75
 - Druckverlust in Rohrleitungen 73
 - Dual-Flow-Böden 321
 - Dünnstromförderung 276
 - Durchbruchskurve (DBK) 376
 - Durchflüsse 80
 - Durchflüsse und Mengen der Energien 79
 - Durchflüsse und Mengen der Stoffe 79
 - Durchgang 188
 - Durchmesser, mittlerer 186
 - Durchmesser, mittlerer arithmetischer 206
 - Durchmischungskennzahl 249
 - Durchregnen 322
 - Durchströmungseigenschaften, verbesserte 254
- E**
- Ebene Wände 284
 - Edukte 77, 88
 - Effekt, katalytischer 140
 - Eigenschaften der Suspension 229
 - Eigenschaften des Filtermittels 229
 - Eigenschaften von Gemischen 83
 - Eigenschaften, kolligative 60
 - Eindampfen 288
 - Einfluss des Rücklaufverhältnisses 331
 - Einführung und Grundbegriffe 88
 - Einheit 14
 - Einheitensystem, Internationales 14
 - Einlaufdüse 270
 - einphasig 128
 - Einstoffdüse 205
 - Einteilung der Agglomeration 255
 - Einzelproblemstellungen im Labor und Technikum 76
 - Einzelumsatz 162
 - Elektronenbeugung 52
 - Elementarreaktion 109
 - Elementarzelle 49
 - endergonisch 95
 - endotherm 93
 - Energie, innere 93
 - Energie, kinetische 93
 - Energie, potenzielle 93
 - Energieart 79
 - Energieinhalt 117
 - Energiemaximum 121
 - Energieträger 79
 - Enthalpie 93
 - Enthalpie, freie 95
 - Entmischung 240
 - Entmischung, vollständige 239
- F**
- Entropie 95
 - Enzym-Substrat-Komplex 141
 - Erfassung der Messwertabweichung 29
 - Erhaltung der Masse 100
 - Erhaltungssatz der Energie 101
 - Erhaltungssatz der Masse 100
 - Erhöhung des Siedepunktes 61
 - Ermittlung der kinetischen Daten 115
 - Erster Hauptsatz 92
 - Erwartungswert 30
 - Ethanol 304
 - Exergie 95
 - exergonisch 95
 - exotherm 93
 - Explosionsgrenzen 83
 - Extinktionsmessung 196
 - Extrusion 258
 - Exzessvolumen (Volumendilatation), positives 19
 - Exzessvolumen (Volumenkontraktion), negatives 19
- F**
- Feed 306, 323
 - Fehler 25
 - Fehlerabschätzung 33
 - Fehlerarten 25
 - Fehlerfortpflanzung 32
 - Fehlerfortpflanzung, gaußsche 33
 - Fehlerfortpflanzung, lineare 33
 - Feingutkegel 201
 - Feinheitsmerkmale 186
 - Feldstörung 197
 - Festkörper, idealer 49
 - Feststoff 198
 - Feststoffbilanz 216
 - Feststoff-Feststoff 211
 - Feststoff-Flüssigkeit 211
 - Feststoff-Gas 211
 - Feststoffförderung 274
 - Feststoffmischung, pneumatische 241
 - Feuchte, absolute 41
 - Feuchte, relative 41, 296
 - Feuchtebelastung 296
 - Feuchtegrad 41
 - Filmdiffusion 129
 - Filterkuchen 229
 - Filtermittel 228
 - Filtermittel, primäres 229
 - Filtermittel, sekundäres 229

Filtern 228
Filterstützen 229
Filtrat 229
Filtrationsprozesse 228
Filtrationsvorgang 229
Filtrieren 211, 228
Flammpunkt 83
Fliehkraftsichter 196
Fließgleichgewicht 142
Fließrichtung 79
Fließrichtung der Hauptstoffe 79
Fließschemata von Anlagen 78
Fließverhalten, Newtonsches 71
Fließverhalten, verbessertes 254
Fließweg 79
Flockulanten 227
Flockulation 227
Flotat 228
Flotation 227
Flüchtigkeit, mittlere relative 329
Flüchtigkeit, relative 307
Fluid 364
Fluide, ideale 67
Fluide, inkompressible 65
Fluide, kompressible 65
Fluide, nicht-Newtonsche 71
Fluide, reale 67
Fluide, überkritische 53
Fluid-Fluid-Reaktion 134
Fluidisieren 241
Fluidität 47
flüssig – dampfförmig 302
Flüssiger Zustand 45
Flüssigkeit 198
Flüssigkeit-Flüssigkeit 211
Flüssigkeitsbelastung 336
Flüssigkeitsreaktionen, einphasige 138
Flüssigkeitsseite 356
Flüssigkeitszerteilung 198, 204
Flutgrenze 337
Flutpunkt 337
Folgereaktionen 116
Förderbänder 274
Förderhöhe 264
Fördermittel 260
Förderstrom 264
Förderung mit Pumpen 261
Förderung, pneumatische 275
Förderwege 260
Formfaktor 186

Fouling 234
Fraktionen 316
Freifallmischer 241
Freiheitsgrade 52
Freundlich-Gleichung 372
Füllen der Lücken 257
Füllkörperkolonnen 336
G
Gas, absorbierendes 345
Gas, ideales 38
Gasbelastungsfaktor 378
Gase, reale 42
Gas-Flüssigkeit 211
Gasgemische 19, 40
Gasgleichung, allgemeine 18, 39
Gasmenge, reinigende 349
Gasphase 356
Gasreaktionen, endotherme 137
Gasreaktionen, exotherme 137
Gas-Stripping 360
Gasverteilung 198
Gasvolumina 41
Gaußsche Normalverteilungsfunktion 191
Gebiet, kinetisches 132
Gefrierpunkt abgesenkter 61
Gefrierpunktserniedrigung 61
Gefriertrocknung 301
Gegenstrom 149
Gegenstromdestillation 321
Gegenstromprinzip 284
Gegenstromsichter 196
Gehalts- und Konzentrationsangaben 19
Gemisch, ideales 19, 302
Gemisch, reales 308
Gemische, binäre 302
Gemische, einphasige 56
Gemische, heterogene 19
Gemische, homogene 38
Gemische, reale 19
Gemische, zweiphasige 58
Gerade 349
Geradenfunktion 105
Geradrohrwärmeaustauscher 287
Gesamtbilanz 215, 323
Gesamtumsatz 162
Gesamtverfahren 77
Gesamtwiderstand beider Diffusionsschichten 355

gesättigt 290
Geschwindigkeit 212
Geschwindigkeitsgesetz 103
Geschwindigkeitskonstante 117
Geschwindigkeitsunterschiede 265
Gesetz der abgewandten Hebelarme 306
Gesetz von Boyle-Mariotte 38
Gesetz von der Erhaltung der Energie 92
Gesetz von Gay-Lussac 39
Gesetze der Reaktionskinetik 103
Gestaltung und stoffliche Bilanzierung 162
Gibbs-Helmholtz 95
Gittergerade 49
Gleichgewicht, chemisches 95f.
Gleichgewichtsbelastung, maximal mögliche 377
Gleichgewichtsdiagramm 306
Gleichgewichtskoeffizienten 307
Gleichgewichtslinie 355
Gleichgewichtslinie, lineare 356
Gleichgewichtslinie, linearer Verlauf 352
Gleichgewichtsreaktionen 114
Gleichstrom 147, 149
Gleichstromprinzip 352
Gleichstromverfahren 289
Gleichung, lineare 370
Gleichung von Bernoulli 67
Gleichung von Torricelli 69
Gliederbandförderer 274
Glockenboden 322
Granulierkonus 256
Granulierteller 256
Granuliertrommel 256
Grenzflächenenergie, freie 201
Grenzflächenenergie, spezifische freie 201
Grenzflächenreaktionen 135
Größen 14
Größen und Einheitensysteme, physikalische 14ff.
Größen und Größenarten 14
Größen- und Zahlenwertgleichungen 16
Größen, abgeleitete 15
Größen, kennzeichnende 80
Größen, sonstige 78
Größen, stoffeigene intensive 17

Größen, systemeigene intensive 17
 Größenarten 14
 Größengleichungen 16
 Grundbegriffe, produktionstechnische 76 ff.
 Grundbegriffe, strömungstechnische 65 ff.
 Grundfließschema 78 f.
 Grundinformation 79 f.
 Grundlagen der Reaktionstechnik 88 ff.
 Grundlagen, statistische 25 ff.
 Grundlagen, verfahrenstechnische 13 ff.
 Grundtypen chemischer Reaktoren 150
 Gurt-, Gliederbandförderer und Becherwerke 274
 Gütegrad, isentroper 269

H

Haftflüssigkeit 295
 Haftkräfte 255
 Hagen-Poiseuillesches Gesetz 73
 halbkontinuierlich 89
 Halbwertszeit von Reaktionen
 1. Ordnung 106
 Halbwertszeit von Reaktionen
 2. Ordnung (Typ I) 107
 Halbwertszeit von Reaktionen
 2. Ordnung (Typ II) 108
 Halbwertszeit von Reaktionen
 3. Ordnung 109
 Halbwertszeitmethode 111
 Handling, einfaches 365
 Häufigkeit, absolute 27
 Häufigkeit, relative 27
 Häufigkeitsverteilungen einer Stichprobe 26
 Hauptfließlinien 79
 Hauptprodukt 115
 Hauptsätze der Thermodynamik 93
 Heißdampf 283
 Heizleistung 317, 334
 Hemmung, kompetitive 144
 Hemmung, nichtkompetitive 144 f.
 Hemmung, unkompetitive 144 f.
 Henrysches Gesetz 343
 heterogen 128
 Heterogenkatalyse 140
 HETP-Wert 337 f.

Hilfsstoffe 77
 Histogramm 27
 Höhe einer Übertragungseinheit (HTU) 337
 Höhe eines Adsorberbetts 377
 Höhe, geodätische 264
 Höhenkriterium 252
 homogen 19, 128
 Homogenkatalyse 140
 HTU-Wert (height of transfer unit) 355
 Hydrolasen 141
 hypertonisch 62
 hypotonisch 62
 Hysterese 369

I

Idealreaktor 175
 Impulsmethode 171
 Inertheit 365
 Inhibitoren 143
 Inkompressibilität von Flüssigkeiten 44
 Innenmischung 208
 Instrumentenfließschema 78, 80
 Integralmethode 195
 Integrationsmethode 111
 International Union of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB) 141
 Interpretation der Ergebnisse 180
 Ionen 126
 irreversibel 94, 113
 isenthalp 92
 isentrop 92
 isobar 39, 92
 isochor 92
 Isolationsmethode 110
 Isomerasen 141
 isotherm 38, 92
 Isothermen, günstig verlaufende 369
 Isothermen, ungünstig verlaufende 369
 isotonisch 62
 isotrop 46

K

Kanalbildung 169
 Kapillarflüssigkeit 295
 Kaskade von kontinuierlich betriebenen idealen Rührreaktoren 173
 Kaskadenmodell 178

Katalysator 77, 122
 Katalysatoren, multifunktionelle 125
 Katalysatorwirkungsgrad, externer 130
 Katalyse 122
 Katalyse, heterogene 124, 128
 Katalyse, homogene 124, 128, 136
 Kavitation 266
 Kelvin 15
 Kenngrößen einer Verteilung 187
 Kenngrößen eines Absorbers 357
 Kennzahlen, dimensionslose 100
 Kesselzahl 180
 Kinetik chemischer Reaktionen 102 ff.
 Kinetik komplexer Reaktionen 113
 Klärfläche, äquivalente 222
 Klärung 215
 Klasseneinteilung 27
 Klassieren 217
 Klassifizierung chemischer Reaktionen 88
 Klassifizierung von Reaktoren 146
 Knudsen-Diffusion 130
 Koagulant 227
 Koagulation 227
 Koeffizienten (Umsatzzahlen), stöchiometrische 90
 Koexistenzkurve 53
 Kolbenblasenströmung 210
 Kolonnen 321
 Kolonnenkopf 324
 Kompaktkatalysatoren 125
 Komplex, aktivierter 120
 Komponente, leichter siedende 304
 Komponenten, gasförmige 341
 Kompression 258
 Kondensationsenthalpie 54
 Kondensationskurve 305
 Kondensationsprozess 364
 Konoden 57, 306
 Konstante, ebullioskopische 61
 Konstante, katalytische 143
 Konstante, kryoskopische 62
 Konstruktion der Stufen 331
 Kontaktstellen 255
 Kontakttrocknung 295, 299
 kontinuierlich 89
 Kontinuitätsgleichung 66 f.
 Konvektion 99, 283
 Konvektionstrocknung 295
 Konzentration 84

Konzentration, wirksame 22
Konzentrationsbeiwert 213
Konzentrationsgrößen 89
Konzept der Übertragungseinheit 337
Kopf 323
Kopfrücklauf 323
Kopf-Rücklaufverhältnis 323
Körnerkollektive 184
Korngrößenverteilung 198
Korrosionsverhalten der Werkstoffe 77
Kraft, treibende 296
Kreuzstrom 149, 285
Kreuzstromboden 321
Kristallgitter 49
Kristallgitter und Kristallsysteme 49
kristallin 49
Kristallisation 54, 290 ff.
Kristallisationsenthalpie 54
Kristallisationsverdampfer (vertikale Bauweise) 294
Kristallisationsstrom 292
Kristallisieren 288
Kristallwasser 291, 295
Kritische Größen eines Gases 43
Kuchenfiltration 229
Kugelmühlen 203
Kühlkristallisation 291
Kühlkristallisation, reine 292
Kurzschlussströmung 169

L

Labyrinthfaktor 130
Lagedruck 67
Lagerbarkeit 198
Länge des ungenutzten Betts 377
Längenausdehnung 46
Langlebigkeit 365
Langmuir-Gleichung 370
Langmuir-Isotherme für zwei Stoffe 133
Laufgrad 270
Laufgrad, halbaxiales 263
LC50-Wert 84
LD50-Wert 84
Leichtbenzin 341
Leichtsieder 303, 311
Leistungsbedarf 247
Leitung (konduktive Ströme) 99
Lichtstreuung 196
Ligasen 141

Linearisierung 34
liquid 94
Lockerungsgeschwindigkeit 242
Löschverhalten 148
Löslichkeit 62
Löslichkeit von Gasen 63
Löslichkeit, maximale 63
Lösung, echte 60
Lösung, gesättigte 291
Lösungen 19, 290
Lösungen, kolloide 60
Lösungen, verdünnte 58, 60
Lösungsmittel 290
Lösungsmittelverhältnis 347
Luft, feuchte 296
Lüfter und Gebläse 268
Lyasen 141

M

Mahlen 198 f.
Mahlgrenze 199
Makrokinetik 88, 129
Makroporen 365
Mammutpumpenprinzip 288
Markierungskonzentration am Reaktorausgang 179
Maschinen 79 f.
Masse, mittlere molare 40
Massenanteil 20
Massenanteil in Massenkonzentration 24
Massenanteil in Stoffmengenanteil 23
Massenanteil in
Stoffmengenkonzentration 23
Massenanteil in Volumenanteil 23
Massenkonzentration 21
Massenübergangszone 376
Massenwirkungsgesetz 96, 136
McCabe-Thiele-Diagramm 325
Mechanische Verfahrenstechnik 183 ff.
Mechanismus 120
Median 31
Median, empirischer 29
Medianwert 190
mehrphasig 128
Menge 79
Mengen von Energie 80
Merkmal, quantitativ-diskretes 28
Merkmal, quantitativ-stetiges 28
Mesoporen 365

Messen einer Partikelgrößenverteilung 195
Messgröße 29
Messgrößen, konzentrationsabhängige 111
Messschema 78, 82
Messtechnik 79
Messung der Verweilzeitverteilungen 171
Messunsicherheit, absolute 25
Messwerte, zufällige Abweichung 26
Meter 15
Methanol 304
Methode der
Anfangsgeschwindigkeiten 110
Methode der oberen und unteren Grenze 32
Methoden zur Ermittlung der Festkörperstruktur 51
Michaelis-Menten-Gleichung 142
Mikrokinetik 88, 129
Mikroporen 365
Mindestvolumen 19
Mischbarkeit, verbesserte 254
Mischen 238 ff.
Mischen von Feststoffen 240
Mischen von Fluiden, statisches 243
Mischen von Flüssigkeiten, dynamisches 39
Mischer mit erhöhter Geschwindigkeit 241
Mischer mit geringer Geschwindigkeit 241
Mischgüte 238, 249
Mischkristalle 19
Mischstromförderung 276
Mischung im Molekülmaßstab 169
Mischung, ideale 56, 58
Mischungen, nichtideale 57
Mischungsgleichung 22
Mischungsgrad 240
Mischungskreuz 23
Mischungslücke 310 f.
Mischungszustand 184
Mischzeit 249
Mitreißen 322
Mitrotieren der Flüssigkeit 246
Mittel, arithmetisches 29
Mitteldestillate (leicht) 341
Mitteldestillate (schwer) 341
Modalwert 190

Modelle, empirische 368

Mol 15

Molalität 22, 61

Molekulardiffusion 130

Molekularität 109

Molekularität einer Reaktion 109

Molekularsiebe 366

Momente, gewöhnliche 176 f.

Momente, zentrale 176 f.

Monodispersität 184

monomolekular 109

MTZ (Mass Transfer Zone) 376

N

Nachleitwerk 270

Näherungsformel nach Rittinger 200

Näherungsgleichung nach Bond 200

Näherungsgleichung nach Kick 200

Nanofiltration 234

Nassdampf 282

Naturumlauf 288

Naturzeolithe 367

Nebenprodukte 77, 115

Nennweite 80

Nernstscher Verteilungssatz 343

Nichtidealität, globale 169

Nichtidealität, lokale 169

Normalverteilung, logarithmische 192

Normalverteilung nach Gauß 30

Normvolumen 345

NTU/HTU-Konzept für die Absorption 353

NTU-Wert (number of transfer units) 355

O

Oberfläche 186

Oberfläche, massenspezifische 187

Oberfläche, volumenspezifische 187

Oberflächendiffusion 130 f.

Oberflächenenergieerhaltungstheorie (Turbulenztheorie) 353

Oberflächenenergieerhaltungstheorie von Dankwerts 353

Oberflächenspannung 48

Oberflächenzuwachs 198

Oxidoreduktasen 141

P

Packungen 337

Packungskolonnen 336

Parallelbetrieb 289

Parallelreaktionen 115

Parallelstromprinzip 284

Parameter, apparatetechnische 209

Parameter, stoffliche 209

Partialdruck 40

Partialdruck, zunehmender 345

Partialdrücke, hohe 368

Partialvolumen 40

Partikeldurchmesser 185

Partikeleigenschaften, definierte 254

Partikelgröße, abgeschiedene 228

Partikelgröße, häufigste 186

Partikelgröße, mittlere 186, 190

Partikelgrößen und Merkmale 185

Partikelgrößen, charakteristische 186

Partikelkollektive 184

Pfropfenströmung 147, 151

Pfropfenströmung im Rohrreaktor 168

Phase, disperse 184

Phase, flüssige 357, 364

Phase, gasförmige 364

Phasen, zwei unterschiedliche 311

Phasendiagramm 52

Phasendiagramme binärer Systeme 308

Phasengesetz von Gibbs 52

Phasengleichgewichte, binäre 55

Phasengleichgewichte, ternäre 59

Phasenumwandlung von Reinstoffen 52

Phasenwechsel 364

Physisorption 132, 342, 363

Poiseuille-Strömung 130 f.

Pol 297

Polydispersität 184

Porendiffusion 130

Porenvolumen, relatives 130

Potenzial, intermolekulares 19

Potenzverteilung nach Gates-Gaudin-Schumann 191

Prallmühle 203

Pressagglomeration (Formpressen) 257

Pressen 258

Prinzip des kleinsten Zwanges 98

Prinzip von Avogadro 39

Prinzip von Le Chatelier 97

Produkte 77, 88

Produktionsleistung 88

Projektstudie 76

Protonenübertragung 139

Prozesse, Säure-Basen-katalysierte 139

Prozessführung, kontinuierliche 89

Prozessgrößen 18, 89

Prozessweg A 53

Prozessweg B 54

Punkt, azeotroper 58, 309

Punkt, kritischer 43, 53

Q

Quellflüssigkeit 295

Querstromfiltration 229, 233

R

Radialpumpen 263

Radialventilatoren 270

Radikale 126

Raoult'sches Gesetz 56, 302

Raumgruppen 50

Rayleigh-Gleichung 313

Reaktion, chemische 77, 129

Reaktionen dritter Ordnung 108

Reaktionen erster Ordnung 105

Reaktionen nullter Ordnung 105

Reaktionen zweiter Ordnung 107

Reaktionen, augenblickliche 135

Reaktionen, enzymkatalytische 140

Reaktionen, fotochemische 128

Reaktionen, heterogene 103

Reaktionen, homogene 103

Reaktionen, katalysierte 138

Reaktionen, langsame 134

Reaktionen, schnelle 135

Reaktionen, unkatalysierte 138

Reaktionsablauf 135

Reaktionsbedingungen, optimale 77

Reaktionsenthalpie 93

Reaktionsführung, adiabate 152

Reaktionsgeschwindigkeit 102

Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 104

Reaktionsmechanismus 140

Reaktionsordnung 104, 109

Reaktionsphase 89

Reaktionsrichtung 95

Reaktionsspezifität 141

Reaktionssysteme, einphasige 137

Reaktionstechnik, chemische 87 ff.

Reaktionstyp 89

Reaktionszeit 152

- Reaktor, beidseitig geschlossener 177
Reaktor, beidseitig offener 177
Reaktoren, ideale 146 ff.
Reaktoren mit realem Verhalten 175
Reaktoren, vergleichende Betrachtung 165
Reaktortyp 89
Reale Reaktoren und Verweilzeitverteilungen 168 ff.
Regel von Hirschfelder, empirische 119
Regelschema 78, 82
Regeltechnik 79
Regel von Trouton 55
Regeneratoren 287, 360
Regiospezifität 127
Reibungsverluste 264
Reinstoffgrößen 83
Rektifikation 319 f.
Rektifikationsverfahren 338
Rekuperatoren 287
Relaxationsmethoden 113
Resublimationsenthalpie 54
reversibel 94, 113
Reversible Hemmung von Enzymen 143
Rheopexie 71
Rohrbündelwärmeaustauscher 287
Rohre, glatte 74
Rohre, raue 74
Rohrleitungen 80
Rohrleitungsfließschema 78, 80
Rohrreaktor, kontinuierlicher 166
Rohrreaktor, laminar durchströmter 174
Rohrreibungszahl 73
Rohrströmung mit Reibung 72
Rohrwände 284
Rollagglomeration 256
Röntgenstrahlbeugung 51
Röntgenstrukturanalyse 51
Roots-Gebläse (Drehkolbengebläse) 271
RRSB-Verteilung 192
R-Sätze 83
Rücklaufverhältnis 326
Rücklaufverhältnis, minimales 329
Rücklaufverhältnis, unendliches 328
Rückstand 188
Rückvermischung, partielle axiale 169
Rühren von nicht-Newtonschen Flüssigkeiten 250
Rührer, axial wirkende 245
Rührer, radial wirkende 245
Rührer, tangential wirkende 245
Rührkessel, adiabat betriebener 154
Rührkessel, diskontinuierlich betriebener 152
Rührkessel, diskontinuierlicher 166
Rührkessel, isotherm betriebener 153
Rührkessel, kontinuierlich betriebener 159
Rührkessel, kontinuierlicher 166
Rührkessel, polytrop betriebener 155
Rührkesselkaskade 161
Rührreaktor, idealer kontinuierlicher 172
Rundlaufstempelpresse 258
- S**
Salz, kristallflüssigkeitsfreies 292
Sammler 228
Satteldampf 282
Sättigung eines Gases mit Feuchtigkeit 41
Sättigungsgrad 358
Sättigungswert 371
Satz von Hess 94
Saugförderanlagen 278
Säurekatalyse 138 f.
Sauter-Durchmesser 186
Sauter-Durchmesser, mittlerer 206
Scale-up 250
Scale-up-Kriterien 250
Scale-up-Maßstabsübertragung 250
Scale-up-Probleme 84
Schar von Dampfdruckkurven 304
Schätzung von Unsicherheiten 30
Schaufeltrockner 301
Schäumer 228
Schemata, spezielle 78
Scherrate 70
Schicht, monomolekulare 364
Schleuderziffer 220
Schlüsselkomponenten 82
Schlüssel-Schloss-Prinzip 126
Schmelzen 54
Schmelzen und Kristallstrukturänderungen 55
Schmelzenthalpie 54, 78
Schmelztemperatur 78
Schmelzvorgänge 258
Schneckenextruder 259
Schneckenförderer 275
Schneckenzenrifuge (Dekanter) 223
Schnitt (Cut) 317
Schnittpunktsgerade 327
Schubspannung 70
Schwerbenzin 341
Schwerkraft 260
Schwersieder 303
Sedimentation 211
Sedimentationsanalyse 195
Sedimenter 215
Segregation 168
Segregationsgrad nach Danckwerts 240
Sekunde 15
Selektivität 90, 365
Separator (Tellerzenrifuge) 223
Sicherheit, statistische 30
Sichten 196
Siebboden 322
Siebklassierer 217
Siebung (Analysen-) 195
Siebung eines Feststoffs 189
Siedebereich 306
Siedediagramm 305
Siedekurve 305
Siedepunkt 319
Siedepunktserhöhung 61
Siedepunktsmaximum 308, 310
Siedepunktsminimum 308 f.
Siedetemperatur 78
Siedeverzug 319
Silicagel (Kieselgele) 366
Simultanreaktionen 115
Sintervorgänge 258
Skalen, lineare und nichtlineare 34
Solvat 291
Sonderfälle 357
Sorption 132, 342 ff.
Sphärizität 186, 213
Spiralförderer 275
Spritzbreite, effektive 207
Sprudelzone 323
Sprühzone 323
Sprungmethode 171
S-Sätze 83
Stabilitätskriterium 95
Standardabweichung 30
Standardbedingungen (SATP) 40
Standardbildungsenthalpie 94
Standardenthalpien 93
Standardreaktionsenthalpie 94

Standardsiedetemperatur 53
Staudruck 67
Staugrenze 337
Steighöhenmethode 48
Stereospezifität 127, 141
Stoffaustauschprozesse 321
Stoffbilanz 163
Stoffbilanzen 98, 100, 151, 160
Stoffdaten 82, 222
Stoffdurchgangskoeffizienten 357
Stoffdurchgangskoeffizienten,
 gasseitige 357
Stoffe, teillösliche 311
Stoffmenge 20
Stoffmengenanteil 20, 304
Stoffmengenkonzentration 21
Stoffmengenstrom des Dampfes 317
Stoffmengenverhältnis 20
Stoffstrom, konvektiver flächen-
 bezogener 99
Stoffströme (Durchsätze) 90
Stofftransport der Edukte 129
Stofftransport der Produkte 129
Stofftransports durch Diffusion 99
Stoffübergang 99
Stoffübergangskoeffizienten 356
Stoffwerte für Reinstoffe und
 Gemische 78
Stopped-Flow-Technik 112
Stoßenergie, kritische 118
Stoßtheorie 123
Strahlgas 209
Strahlpumpen 263
Strahlungstrocknung 301
Strähnenförderung 276
Strähnenförderung über ruhender
 Ablagerung 277
Streuung 31
Streuung der Messwerte 25
Strippingfaktor 352
Stromklassierer 217
Strömung mit Reibung 70
Strömung, laminare 70, 72, 74, 214
Strömung ohne Reibung 67
Strömung, segregierte 174
Strömung, turbulente 73f., 214
Strömungsbereich, heterogener 210
Strömungsbereich, homogener 210
Strömungsförderer 275
Strömungsgeschwindigkeit, mittlere
 65

Strömungsmethoden 112
Strömungsrrohr, ideales 175
Strukturgrößen 89
Strukturviskosität 71
Studentscher Faktor 31
Stufenkonstruktion 330
Stufenwirkungsgrad 351
Stufenwirkungsgrad, mittlerer 332
Stufenzahl, unendliche 351
Sublimationsenthalpie 54
Substratspezifität 140
Summenhäufigkeit, absolute 27
Summenhäufigkeit, relative 27
Sumpf 323
Suspendieren 251
Suspensionsverfahren 195
System 92
System, geschlossenes 92
System, isoliertes 92
System, offenes 92
Systeme und Zustandsgrößen 92
Systeme, heterogene 128
Systeme, homogene 128

T

Teilen 219
Teilkondensation 282, 331
Teilumsatz 162
Temperaturen, niedrige 368
Temperatur, steigende 345
Temperaturabhängigkeit der
 Penicillinhydrolyse 34
Temperaturabhängigkeit der
 Reaktionsgeschwindigkeit 118
Temperaturführung 89
Temperaturveränderung
 (Wärmetönung) 344
Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit
 117
Theorie des aktivierten Komplexes
 120
Theorie des Übergangszustandes 120
Thermische Verfahrenstechnik 279 ff.
Thermodynamik, chemische 92
Thixotropie 71
Tiefenfiltration 229, 235
Totzeit 152
Totzonen 168
Trägerdampfdestillation 318
Tränergasmengenstrom 349
Trägerkatalysatoren 125

Trägersubstanzen 346
Transferasen 141
Transport von Flüssigkeiten 260
Transport von Gasen 268
Transport von Stoffen 260 ff.
Transportierbarkeit 198
Transportprozesse 99
Treibmittel 205
Trennbarkeit, verbesserte 254
Trennen disperser Systeme 211 ff.
Trennschärfe 217, 219
Trennschärfegrad 219
Trennstufe, theoretische 330, 348,
 351
Trennstufen 320
Trennstufenzahl, theoretische 330
Trennung azeotroper Gemische 338
Trennung von Mehrkomponenten-
 systemen 340
Triebkraft einer chemischen Reaktion
 96
trimolekular 109
Tripelpunkt 52
Trocknen 288, 295 ff.
Trocknen durch Ausdampfen 295
Trocknung, konvektive 299
Trocknungsarten 299
Trocknungsgas 295
Trocknungsgeschwindigkeit 299
Trocknungsgut 295
Trocknungskurven 299 f.
Trombe 246
turbulent 71

U

Überdruck oder Unterdruck 261
Überflutung des Rührers 253
Übergang (Ströme an
 Phasengrenzflächen) 99
Übergangsbereich 74, 249
Übergangsverhalten 160
Übergangszustand (transition state)
 120
übersättigt 290
Überschichtungsverfahren 195
Umkehrosmose 234
Umordnung im Partikelkollektiv 257
Umrechnung in den tatsächlichen
 Zustand 345
Umrechnungen und Mischungs-
 rechnung 22

Umsatz 90
 Umsatz, maximal erreichbarer 96
 Umsatzvariable 91, 102
 Umweltbelastungen, potenzielle 77
 Underwood-Gleichung 329
 ungesättigt 290
 Unsicherheit 29

V

Vakuumdestillation 319
 Vakuumgasöl 341
 Vakuumrektifikation 339
 Van't-Hoff-Gleichung 98
 Van-der-Waals-Gleichung 44
 Variable, abhängige 35
 Variable, unabhängige 35
 Varianz 30
 Varianz der Verweilzeit 180
 Ventilboden 321
 Verdampfen und Eindampfen 288
 Verdampfen und Kondensieren 280 ff.
 Verdampfen und Sublimieren 55
 Verdampferbauarten 288
 Verdampfung 280
 Verdampfungsenthalpie 54, 78, 280
 Verdampfungskristallisation 290, 292
 Verdampfungswärme 280
 Verdichten 271
 Verdichter 271
 Verdrängerpumpen, oszillierende 262
 Verdrängerpumpen, rotierende 261
 Verdunstung 280
 Verdunstungstrocknung 295
 Veresterung von Carbonsäuren 140
 Verfahren, chemische 112
 Verfahren, diskontinuierliche 228
 Verfahren, kontinuierliche 228
 Verfahren, mikrobiologische 127
 Verfahren, physikalische 112
 Verfahrensablauf 82
 Verfahrensentwicklung 76
 Verfahrensfließschema 78 f.
 Verfahrenshandbuch 77
 Verfahrensinformationen 77
 Verfahrenstechnik, mechanische 183 ff.
 Verfahrenstechnik, thermische 279
 Verflüchtigung 280
 Vergleich der Kennwerte 193
 Vergleich der Verteilungen 193
 Verhalten eines Gases, reales 308
 Verhältnis 346
 Vermischung, absolut ideale 239
 Vermischung im Reaktor 147
 Verstärkungsgeraden 325
 Verstärkungsteil 323
 Versuchsanlage 77
 Verteilerboden 204
 Verteilung zwischen flüssigen Phasen 64
 Verteilungsdichte 188
 Verteilungsfunktion, empirische 28
 Verteilungsgesetz, universelles 190
 Verteilungsgesetz von Nernst 64
 Verteilungsgesetze 190
 Verteilungskoeffizient 64, 307
 Verteilungssumme 187
 Vertrauensbereich 31
 Verweilzeit 147
 Verweilzeit, mittlere 147, 170, 180
 Verweilzeitspektrum 170
 Verweilzeit-Summenfunktion 170
 Verweilzeituntersuchungen zur Charakterisierung des Vermischungsverhaltens 169
 Verweilzeitverteilung, differenzielle 170, 180
 Virialkoeffizienten 18
 Viskosität 70
 Viskosität von Flüssigkeiten 47
 Viskosität von Gasen 45
 Viskosität, dynamische 47, 70
 Viskosität, kinematische 47, 71
 Vollkatalysatoren 125
 Volumen 186
 Volumen, molares 39
 Volumenänderungsarbeit 93, 280
 Volumenanteil 21
 Volumenausdehnung 46
 Volumendurchmesser, mittlerer 206
 Volumenkonzentration 21
 Volumenstrom, konstanter 231 f.
 Vorgang, exothermer 54, 364
 Vorgang, instationärer 146
 Vorgang, stationärer 146
 Vorgänge, endotherme 54

W

Wandraugigkeit 73
 Wärme 93
 Wärmeaustausch 253
 Wärmeaustausch, mittelbarer (indirekter) 286
 Wärmeaustausch, unmittelbarer (direkter) 286
 Wärmeaustauscher 284, 286
 Wärmeaustauschprozesse 321
 Wärmebedarf 334
 Wärmebilanz 163
 Wärmebilanz an einem Festbettadsorber 378
 Wärmebilanz bei der Absorption 358
 Wärmebilanzen 98, 151, 160
 Wärmedurchgang 284
 Wärmedurchgangskoeffizient 284
 Wärmeleitung 283
 Wärmeleitung an einer ebenen Wand 283
 Wärmeleitung an einer Rohrwand 284
 Wärmeleitungsgleichung, Fouriersche 99
 Wärmespeicher 287
 Wärmestrahlung 283
 Wärmestrom, konvektiver flächenbezogener 99
 Wärmeströme, abgeführte 334
 Wärmeströme, zugeführte 334
 Wärmetausch, direkter 149
 Wärmetausch, indirekter 149
 Wärmeträgerbilanz 163
 Wärmeübergang 284
 Wärmeübertragung 283
 Wärmeübertragung durch Konvektion 284
 Wärmeübertragungskoeffizient 284
 Waschmittelverhältnis 347
 Wasser 359
 Wasserdampfdestillation 319
 Wechsellzahl (turnover number) 143
 Werkstoff 80
 Widerstandsbeiwert 71
 Wirbelschicht, homogene 243
 Wirbelschichtadsorber 380
 Wirbelschichttrockner (zweistufig) 301
 Wirkung, aktivierende 124
 Wirkung, selektive 124

Z

- Zahlenwert 14
 Zahlenwertgleichungen 16
 Zellen- oder Drehschieberverdichter 273
 Zentren, aktive 364
 Zentrifugalpumpen 262
 Zentrifuge 219 f.
 Zentrifugenkennzahl 220
 Zeolithe 366
 Zeolithe, synthetische 367
 Zerkleinerung 198
 Zerkleinerungsgrad 201
 Zerkleinerungsgrad, bezogen auf Korngrößen 201
 Zerkleinerungsgrad, bezogen auf massenspezifische Oberflächen 201
 Zerkleinerungsmaschinen 202
 Zersetzung von Phosphin an Wolfram 36
 Zerspritzen 198
 Zerspritzung 208
 Zerstäuben 198, 204
 Zerstäubung 204
 Zerteilung von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen 198 ff.
 Zulauf 323
 Zündtemperatur 83
 Zündverhalten 148
 Zusatzinformationen 79 f.
 Zustand A – Siedende Flüssigkeit 326
 Zustand B – Sattdampf 326
 Zustand C – Dampf-Flüssigkeits-Gemisch 326
 Zustand D – Unterkühlte Flüssigkeit 327
 Zustand E – Überhitzter Dampf 327
 Zustand, aktivierter 120
 Zustand, fester 49
 Zustand, flüssiger 45
 Zustand, gasförmiger 38
 Zustand, stationärer 142, 157
 Zustand, übersättigter 283
 Zustandsfunktion 18
 Zustandsgleichung für Gasmischungen 40
 Zustandsgleichung nach Van-der-Waals 43
 Zustandsgröße (Zustandsvariable) 17
 Zustandsgrößen, extensive 17
 Zustandsgrößen, intensive 17
 Zustandsgrößen, kalorische 17
 Zustandsgrößen, molare 17
 Zustandsgrößen, spezifische 17
 Zustandsgrößen, thermische 17
 Zustandsgrößen und Prozessgrößen 17
 Zustandsgrößenänderung 92
 Zustandsvariablen 18
 Zwangsmischer 241
 Zwangsumlauf 288
 Zweifilmtheorie 134, 353
 Zweifilmtheorie von Lewis and Whitman 353
 Zweistoffdüse 205, 207
 Zweistoffgemisch, ideales 302
 Zweistoffgemisch, reales 308
 Zweistoffgemisch, schwer lösliches 310
 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik 94 f.
 Zyklon 220, 224