



Walter Wittenberger

Rechnen in der Chemie

Grundoperationen
Stöchiometrie

Dreizehnte, verbesserte Auflage

Springer-Verlag Wien GmbH



Dr. techn. Ing. Walter Wittenberger
Babenhausen, Bundesrepublik Deutschland

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

© 1946, 1949, 1955, 1958, 1961, 1964, 1968, 1971, 1976, 1979, 1983, 1985, and 1988
by Springer-Verlag Wien

Ursprünglich erschienen bei Springer Vienna 1988.
Softcover reprint of the hardcover 13rd edition 1988

Mit 285 entwickelten Übungsbeispielen, 1070 Übungsaufgaben
samt Lösungen und 44 Abbildungen

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Waren- und Apparatezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Wittenberger, Walter:
Rechnen in der Chemie / Walter Wittenberger. – Wien;
New York: Springer
[Teil I], Grundoperationen, Stöchiometrie.
13., verbesserte Aufl. – 1988.

ISBN 978-3-7091-4094-9

ISBN 978-3-7091-4093-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-7091-4093-2

Vorwort

Die gesetzliche Einführung des Internationalen Einheitensystems SI hatte zur Folge, daß auch auf dem Gebiet des chemischen Rechnens umfassende Neuerungen notwendig wurden. Maßgebend war dabei vor allem die Festlegung der Basisgröße Stoffmenge mit der Basiseinheit Mol. Damit wurde u. a. auch die „Normalität einer Lösung“ durch die Angabe der Stoffmengenkonzentration, bezogen auf Äquivalente in mol/Liter, ersetzt. Auch die Größenbezeichnungen, Formelzeichen und Einheiten wurden festgelegt. Diese Umstellungen sind bereits in der elften Auflage dieses Buches (1983) berücksichtigt.

Die Zusammenhänge bzw. Unterschiede zwischen den zuvor gebräuchlichen und den nunmehr verwendeten Rechengrößen werden in den betreffenden Abschnitten des Buches aufgezeigt.

Der vorliegenden Neuauflage liegen die Zahlenwerte der von der IUPAC veröffentlichten, neuen Tabelle der Atommassen der Elemente zugrunde. Daher war es erforderlich, eine größere Anzahl der im Buch enthaltenen Beispiele und Übungsaufgaben neu zu berechnen und die notwendigen Korrekturen vorzunehmen. Selbstverständlich wurde auch die letzte Ausgabe der DIN-Norm 1310 berücksichtigt.

Der erste Abschnitt des Buches befaßt sich mit den Rechenregeln allgemeiner Art, die dem Anfänger die Auffrischung dieser Grundkenntnisse ermöglichen soll. Bei der Auswahl des Stoffes der folgenden Abschnitte ist Wert darauf gelegt, alle wichtigen im Laboratorium und Betrieb vorkommenden Rechnungen zu berücksichtigen. Das Buch enthält daher neben den Grundlagen der Stöchiometrie auch die einfacheren physikalischen und physikalisch-chemischen Rechnungen. Jeder Abschnitt beginnt mit ausführlichen Erläuterungen, denen vollständig entwickelte Beispiele (ins-

gesamt 285) folgen, die den genauen Rechen- und Gedankengang für die Lösung der gestellten Aufgaben klarmachen. Sicherheit im chemischen Rechnen ist nur durch Übung zu erreichen. 1070 Übungsaufgaben werden diesem Vorhaben gerecht. Zur Selbstkontrolle der errechneten Ergebnisse sind am Schluß des Buches die „Lösungen zu den Aufgaben“ zusammengestellt, falls erforderlich, mit Hinweisen für den Lösungsvorgang. Einige wichtige Tabellen ergänzen den Inhalt des Buches.

Es ist der Wunsch des Verfassers, daß auch diese Neuauflage dazu beiträgt, den Nachwuchskräften in den verschiedenen Chemiebereichen ein verlässlicher Helfer während der Ausbildung und im Berufsleben zu sein.

Der Springer-Verlag in Wien hat durch eine vorbildliche und übersichtliche Ausstattung des Buches dieses Bestreben unterstützt, wofür ihm aufrichtig zu danken ist.

Babenhausen, im Mai 1988

Walter Wittenberger

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines Rechnen	1
1.1 Mathematische Schreibweise und Genauigkeit	1
1.1.1 Dezimalzahlen und vielstellige Zahlen	1
1.1.2 Genauigkeit im Zahlenrechnen	1
1.1.3 Mathematische Zeichen	3
1.1.4 Formel- und Einheitenzeichen	3
1.1.5 Dezimale Vielfache und dezimale Teile von Einheiten	4
1.1.6 Das griechische Alphabet	4
1.2 Bruchrechnen	5
1.2.1 Umformen von Brüchen	5
1.2.2 Kürzen und Erweitern von Brüchen	6
1.2.3 Addieren von Brüchen	7
1.2.4 Subtrahieren von Brüchen	8
1.2.5 Multiplizieren von Brüchen	8
1.2.6 Dividieren von Brüchen	9
1.3 Proportionen (Verhältnisleichungen)	11
1.3.1 Schlußrechnung (Dreisatz)	11
1.3.2 Proportionen	12
1.3.3 Der abgekürzte Dreisatz	13
1.3.4 Umgekehrte Verhältnisse	14
1.4 Rechnen mit Prozent, Promille und ppm	16
1.4.1 Prozent	16
1.4.2 Promille und ppm	18
1.5 Mittelwert (Arithmetisches Mittel)	19
1.6 Der „aliquote Teil“	20
1.7 Zwischenwerte aus Tabellen (Interpolieren)	21
1.8 Potenzieren und Radizieren (Wurzelziehen)	23
1.8.1 Potenzieren	23
1.8.2 Radizieren	25
1.9 Grundzüge der Algebra	25
1.9.1 Allgemeine und relative Zahlen	25
1.9.2 Addieren und Subtrahieren	26

1.9.3	Multiplizieren	29
1.9.4	Dividieren	31
1.9.5	Gleichungen mit einer Unbekannten	33
1.9.6	Gleichungen mit 2 Unbekannten	38
1.9.7	Quadratische Gleichungen mit einer Unbekannten	40
1.10	Logarithmen	41
1.10.1	Begriff des Logarithmus	41
1.10.2	Sätze über Logarithmen	42
1.10.3	Die Logarithmentafel	43
1.10.4	Rechnen mit Logarithmen	45
1.10.5	Der logarithmische Rechenschieber	48
1.11	Elektronische Taschenrechner	49
1.12	Einheiten im Meßwesen	51
1.12.1	Länge	52
1.12.2	Fläche	52
1.12.3	Volumen	53
1.12.4	Ebene Winkel	54
1.12.5	Masse	55
1.12.6	Zeit	55
1.13	Flächenberechnung	56
1.13.1	Pythagoreischer Lehrsatz	56
1.13.2	Quadrat	58
1.13.3	Rechteck	58
1.13.4	Parallelogramm	59
1.13.5	Dreieck	59
1.13.6	Trapez	60
1.13.7	Unregelmäßiges Viereck (Trapezoid)	60
1.13.8	Regelmäßiges Vieleck	61
1.13.9	Kreis	61
1.13.10	Kreis Sektor (Kreisausschnitt)	62
1.13.11	Kreisabschnitt	62
1.13.12	Kreisring	63
1.13.13	Ellipse	63
1.13.14	Unregelmäßige Flächen	63
1.14	Körperberechnung	64
1.14.1	Würfel	64
1.14.2	Prisma	64
1.14.3	Zylinder	65
1.14.4	Regelmäßige Pyramide	67
1.14.5	Kegel	68
1.14.6	Pyramiden- und Kegelstumpf	69
1.14.7	Kugel	69
1.14.8	Kugelsegment (Kugelkalotte)	70

1.14.9	Kugelsektor	70
1.14.10	Kugelzone.	70
1.14.11	Liegender Zylinder	70
1.15	Grundbegriffe der Trigonometrie.	72
1.16	Graphisches Rechnen	76
1.16.1	Graphische Darstellung von Meßergebnissen . . .	76
1.16.2	Graphische Interpolation	78
1.16.3	Graphische Rechentafeln (Nomogramme).	79
1.16.4	Graphische Darstellung von Mischsystemen . . .	81
2	Dichte.	85
2.1	Berechnen der Dichte	85
2.1.1	Der Begriff Dichte.	85
2.1.2	Temperaturabhängigkeit der Dichte	86
2.2	Bestimmen der Dichte.	88
2.2.1	Auftriebsmethode	88
2.2.2	Bestimmen der Dichte mit dem Pyknometer . . .	90
2.3	Schüttdichte und Stampfdichte	94
3	Chemische Grundrechnungen	95
3.1	Molare Masse	95
3.1.1	Stoffmenge	95
3.1.2	Molare Masse	96
3.1.3	Umrechnen der Quantitätsgrößen einer Stoffportion	98
3.1.4	Die atomare Masseneinheit	100
3.2	Grundgesetze der Stöchiometrie	102
3.2.1	Chemische Formeln	102
3.2.2	Grundgesetze der Stöchiometrie	104
3.3	Berechnen der Massenanteile der in einer Verbindung enthaltenen Elemente	105
3.4	Berechnen der empirischen Formel einer Verbindung. . .	107
3.5	Chemische Reaktionsgleichungen.	109
3.5.1	Bedeutung der Reaktionsgleichung.	109
3.5.2	Aufstellen von Reaktionsgleichungen über die Stoffbilanz	110
3.5.3	Aufstellen von Summgleichungen	111
3.5.4	Aufstellen von Reaktionsgleichungen über die Elektronenbilanz.	112
3.5.5	Aufstellen von Reaktionsgleichungen mit Hilfe der Oxidationszahlen	115
3.6	Berechnen des Umsatzes bei chemischen Reaktionen. . .	120
3.7	Das Äquivalent	124

4 Mischphasen	129
4.1 Angabe des Anteils einer Komponente	129
4.1.1 Massenanteil	130
4.1.2 Stoffmengenanteil	130
4.1.3 Volumenanteil	131
4.1.4 Vergleich mit den früher üblichen Angaben	131
4.2 Angaben der Konzentration einer Komponente.	132
4.2.1 Massenkonzentration	132
4.2.2 Stoffmengenkonzentration	132
4.2.3 Volumenkonzentration	133
4.3 Angabe des Verhältnisses zweier Komponenten.	133
4.3.1 Massenverhältnis	134
4.3.2 Stoffmengenverhältnis.	134
4.3.3 Volumenverhältnis.	135
4.4 Berechnen der Gehaltsgrößen.	135
4.4.1 Massenanteil	135
4.4.2 Stoffmengenanteil	139
4.4.3 Volumenanteil	139
4.4.4 Massenkonzentration	140
4.4.5 Stoffmengenkonzentration	140
4.4.6 Volumenkonzentration	142
4.5 Umrechnen von Gehaltsgrößen.	143
4.5.1 Umrechnung Massenanteil w in Stoffmengenanteil x	143
4.5.2 Umrechnung Stoffmengenanteil x in Massenanteil w	144
4.5.3 Umrechnung Massenanteil w in Stoffmengenkonzentration c	145
4.5.4 Umrechnung Volumenanteil φ in Massenanteil w und umgekehrt.	145
4.5.5 Umrechnung Massenanteil w in Massenkonzentration β	145
4.5.6 Umrechnung Massenkonzentration β in Massenanteil w	146
4.5.7 Umrechnung Massenkonzentration β in Stoffmengenkonzentration c und umgekehrt	146
4.5.8 Umrechnung Massenanteil w in Volumenkonzentration σ und umgekehrt	147
4.5.9 Stoffmengenkonzentration („Molarität“) im Vergleich zur Molalität	147
4.6 Löslichkeit	149
4.7 Mischungsrechnen	153
4.7.1 Mischungsgleichung	153

4.7.2	Mischungskreuz	157
4.7.3	Verstärken einer Lösung durch Entzug von Lösungsmittel (Konzentrieren)	160
4.7.4	Verdünnen von Oleum	161
5	Gravimetrie	163
5.1	Feuchtigkeit und Glühverlust	163
5.1.1	Feuchtigkeitsgehalt	163
5.1.2	Umrechnen auf Trockensubstanz	164
5.1.3	Glühverlust und Glührückstand	166
5.2	Gravimetrische Analysen	166
6	Volumetrie	171
6.1	Maßlösungen	171
6.1.1	Molarität und „Normalität“	171
6.1.2	Neutralisationsäquivalent	172
6.1.3	Redox-Äquivalent	174
6.1.4	Auswahl häufig verwendeter Maßlösungen	177
6.2	Herstellen von Maßlösungen	178
6.2.1	Durch genaue Einwaage des reinen Stoffes (Ur-titersubstanz)	178
6.2.2	Durch Einwaage von Chemikalien, die nicht chemisch rein sind	178
6.2.3	Der Titer	179
6.2.4	Titerstellung (Bestimmung des Titers)	180
6.2.5	Einstellen von Maßlösungen auf den Titer $t = 1$	182
6.3	Neutralisations-Titrationen	184
6.4	Redox-Tritrationen	191
6.4.1	Manganometrische Titrationen	191
6.4.2	Bromatometrische Titrationen	194
6.4.3	Iodometrische Titrationen	196
6.4.4	Sonstige Redox-Titrationen	199
6.5	Fällungs-Titrationen	201
6.6	Komplexometrische Titrationen	203
6.7	Diazotierungs-Titrationen	207
6.8	Gemischte Aufgaben aus der Volumetrie und Gravimetrie	208
7	Indirekte Analyse	210
8	Physikalische Rechnungen	215
8.1	Temperaturmessung	215
8.1.1	Temperaturskalen	215
8.1.2	Fadenkorrektur bei Quecksilberthermometern	216

8.1.3	Korrektur der Siedetemperatur in Abhängigkeit vom Druck	218
8.2	Wärmeenergie	218
8.2.1	Spezifische Wärmekapazität	218
8.2.2	Schmelz- und Verdampfungswärme	221
8.3	Grundgesetze der Elektrizität	225
8.3.1	Ohmsches Gesetz	225
8.3.2	Der unverzweigte Stromkreis (Reihenschaltung)	226
8.3.3	Der verzweigte Stromkreis (Parallelschaltung)	228
8.3.4	Widerstandsmessung mit Hilfe der Wheatstone-schen Brücke	231
8.3.5	Spezifischer elektrischer Widerstand	232
8.3.6	Leistung und Energie des elektrischen Stromes	233
8.3.7	Wärmewirkung des elektrischen Stromes	235
8.4	Viskosität	235
9	Gasvolumina	238
9.1	Druck	238
9.1.1	Druck und Kraft	238
9.1.2	Frühere Einheiten und Umrechnung	239
9.1.3	Reduzieren des Barometerstandes	239
9.2	Gasgesetze	241
9.2.1	Boyle-Mariottesches Gesetz	241
9.2.2	Gay-Lussacsche Gesetze	242
9.2.3	Zustandsgleichung der Gase	246
9.3	Molares Volumen	249
9.3.1	Avogadrosches Gesetz	249
9.3.2	Allgemeine Gaskonstante	252
9.4	Dichte der Gase	254
9.4.1	Dichte und relative Dichte von Gasen	254
9.4.2	Abhängigkeit der Gasdichte von Druck und Temperatur	254
9.4.3	Gasdichte und molare Masse	255
9.5	Gasgemische	256
9.5.1	Daltonsches Gesetz	256
9.5.2	Sättigung eines Gases mit Feuchtigkeit	259
9.5.3	Reduzieren feuchter Gasvolumina auf den Normzustand	260
9.6	Gasanalyse	262
9.6.1	Gesetz der einfachen Volumenverhältnisse	262
9.6.2	Berechnen von Gasanalysen	263
10	Physikalisch-chemische Rechnungen	267
10.1	Optisches Drehvermögen	267

10.2	Elektrolyse	269
10.3	Chemisches Gleichgewicht	274
10.3.1	Massenwirkungsgesetz und Gleichgewichtskonstante	274
10.3.2	Gasgleichgewichte	276
10.3.3	Elektrolytgleichgewichte.	279
10.3.4	pH-Wert	281
10.3.5	Säuren-Basen-Gleichgewicht	285
10.3.6	Pufferung.	293
10.3.7	Löslichkeitsprodukt	296
10.3.8	Komplex-Gleichgewichte	300
10.3.9	Verteilungsgleichgewicht	301
10.4	Bestimmung der molaren Masse	303
10.4.1	Mit Hilfe der Zustandsgleichung der Gase	303
10.4.2	Aus der Dampfdruckerniedrigung	305
10.4.3	Aus der Siedepunkterhöhung und Gefrierpunkterniedrigung	307
10.5	Thermochemische Rechnungen	309
10.5.1	Reaktionsenergie und Reaktionsenthalpie	309
10.5.2	Brennwert und Heizwert	313
11	Lösungen zu den Aufgaben	316
12	Tabellen und Tafeln	359
Tab. 1.	Flüssigkeitsinhalt liegender Zylinder	71
Tab. 2.	Trigonometrische Funktionen	74
Tab. 3.	Zusammenhang SI-Einheiten/frühere Einheiten	240
Tab. 4.	Relative Atommassen der Elemente.	359
Tab. 5.	Molare Massen häufiger verwendeter Verbindungen	360
Tab. 6.	Stöchiometrische (analytische) Faktoren	362
Tab. 7.	Maßanalytische Äquivalente.	364
Tab. 8.	Löslichkeit einiger Salze in Wasser	365
Tab. 9.	Dichte und Gehalt von Säuren und Basen	366
Tab. 10.	Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur	372
Tab. 11.	Dichte einiger Gase im Nz.	373
Tab. 12.	Dampfdruck des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur	373
Tab. 13.	Logarithmentafel (vierziffrige Mantissen).	374
	Sachverzeichnis	376