

Chemie in der Praxis

Gert Blumenthal, Dietmar Linke, Siegfried Vieth

Chemie

Grundwissen für Ingenieure

Chemie in der Praxis

Herausgegeben von

Prof. Dr. Erwin Müller-Erlwein, Technische Fachhochschule Berlin
Prof. Dr. Wolfram Trowitzsch-Kienast, Technische Fachhochschule Berlin
Prof. Dr. Hartmut Widdecke, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

Die Reihe *Chemie in der Praxis* richtet sich an Studierende in praxisorientierten Studiengängen besonders an Fachhochschulen, aber auch im universitären Bereich. Ihnen sollen Begleittexte angeboten werden für solche Studienrichtungen, in denen die Kenntnis von und der Umgang mit chemischen Produkten, Denk- und Verfahrensweisen einen wichtigen Bestandteil bilden.

Darüber hinaus wendet sich die Reihe aber auch an Ingenieure und andere Fachkräfte, denen in ihrem Berufsbild immer wieder „chemische“ Frage- und Aufgabenstellungen unterschiedlichster Art begegnen. Ihnen bietet die Reihe Gelegenheit, fundamentales Chemie-Wissen sowohl aufzufrischen als auch neue und erweiterte Anwendungsmöglichkeiten kennen zu lernen.

Zielsetzung der Herausgeber bei der Zusammenstellung der einzelnen Titel ist, eine solide und angemessene Vermittlung von Basiswissen mit einem Höchstmaß an Aktualität in der Praxis zu verknüpfen. Hierzu wird bewusst auf eine umfangreiche Darstellung der theoretischen Grundlagen verzichtet, um statt dessen die für die Praxis relevanten Aspekte in einer verständlichen Weise darzulegen.

**Gert Blumenthal, Dietmar Linke,
Siegfried Vieth**

Chemie

Grundwissen für Ingenieure



Teubner

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Dr. rer. nat. habil. Gert Blumenthal

Geboren 1931 in Berlin. Studium der Chemie an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB). 1959 Diplom bei G. Rienäcker, 1966 Promotion bei E. Thilo, ab 1969 Dozent für Allgemeine Chemie. 1973-1990 Arbeitsgruppen-, Abteilungs- und Bereichsleiter am Zentralinstitut für anorganische Chemie der Akademie der Wissenschaften (ZIAC/AdW) der DDR, Berlin-Adlershof; dort 1987 Habilitation auf dem Gebiet der anorganischen Chlorchemie. 1992 Beendigung des Arbeitsverhältnisses infolge Auflösung der AdW. Ab 1994 Ruhestand. Derzeitiges Interessengebiet ist die Solartechnik und Solarchemie. (Kap. 16-34)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dietmar Linke

Geboren 1940 in Auscha (jetzt: Tschechische Republik). Studium der Chemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. 1963 und 1968 Diplom und Promotion bei E. Uhlig, 1968-78 Oberassistent, 1978 Habilitation auf festkörper- und glaschemischem Gebiet, 1979 -1982 Hochschuldozent für Anorganische Chemie und Geschichte der Chemie an der HUB, Arbeitsaufenthalte an Akademie-Instituten in Leningrad und Moskau sowie an der Universität Bordeaux I. 1982-1992 Abteilungsleiter „Keramische Werkstoffe“ am ZIAC/AdW Berlin. Seit 1993 an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus. Arbeiten auf dem Gebiet der technischen Keramik, 1995-2005 als Lehrstuhlleiter Anorganische Chemie. Seit 1999 Mitglied der Leibniz-Sozietät. (Kap. 0, 1-15, 42)

Dr. rer. nat. habil. Siegfried Vieth

Geboren 1956 in Berlin. Studium der Chemie an der HUB. 1981 und 1984 Diplom und Promotion bei W. Jugelt auf dem Gebiet der präparativen organischen Elektrochemie. Danach wissenschaftlicher Mitarbeiter an verschiedenen AdW-Instituten bzw. deren Folgeeinrichtungen auf den Arbeitsgebieten Gentechnik und Organische Synthesechemie. Auslandsaufenthalte in Debrecen und Mailand. Seit 1994 am Lehrstuhl Anorganische Chemie der BTU Cottbus, z. Z. als wissenschaftlicher Assistent. Arbeiten zur Synthese-Optimierung von technischer Keramik durch gezielten Einsatz organischer Additive. (Kap. 35-41)

1. Auflage August 2006

Alle Rechte vorbehalten

© B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2006

Lektorat: Ulrich Sandten / Kerstin Hoffmann

Der B.G. Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.teubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen 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.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Buchgestaltung: Ivonne Domnick

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN-10 3-519-03551-0

ISBN-13 978-3-519-03551-0

Vorwort

Im „Jahr der Chemie (2003)“ waren viele Veranstaltungen und populärwissenschaftlichen Publikationen – etwa das von der „Gesellschaft Deutscher Chemiker“ offerierte Buch „Chemie rund um die Uhr“ – darauf gerichtet, die engen Beziehungen der Chemie zu unserem Alltag aufzuzeigen und so Berührungspunkte zu diesem meist ungeliebten Fach abzubauen.

Die Chemie als Wissenschaftsdisziplin entwickelt immer engere Beziehungen zu Physik, Biologie, Medizin und Mathematik; auch ihre traditionell große Bedeutung für nahezu die gesamte Technik wächst weiter. Angesichts weltumspannender Produktions- und Handelsbeziehungen birgt diese Allgegenwart der Chemie aber auch Risiken. Es bedarf stets erheblicher Anstrengungen, um mit Umsicht den Gefahren zu begegnen, die vom Eintritt einer wachsenden Zahl neuer Stoffe in die Biosphäre ausgehen können. Die Katastrophen von Seveso/Italien (1976) und Bhopal/Indien (1984) sind hierfür eine ständige Mahnung.

Dieses Buch soll in erster Linie den Studienanfängern dienen, die in ingenieur- und naturwissenschaftlichen Disziplinen eine Nebenfachausbildung mittleren Umfangs in Chemie zu absolvieren haben. Die Komplexität chemischer Sachverhalte macht bekanntlich diesen Studierenden das Studium nicht leicht, besonders denen, die mit nur geringen Vorkenntnissen in Chemie, in anderen Naturwissenschaften und in Mathematik an die Hochschulen kommen. Schwierig ist es auch für Lehrbuchautoren, einen für alle vertretbaren Kompromiß bei der Auswahl des Stoffes, bei der Ausführlichkeit seiner Darlegung und bei der Verknüpfung seiner Teile zu finden. Schließlich kann die allgemeine Chemie nicht ohne gewisse Kenntnisse zu anorganischen und organischen Verbindungen verstanden werden; Stoffeigenschaften und Reaktionen ihrerseits verlangen immer auch ein umfangreiches Präsenzwissen zu allgemeinen Zusammenhängen und Gesetzmäßigkeiten.

Große Teile des dargelegten Stoffes, speziell zur „Allgemeinen Chemie“ und zur „Organischen Chemie“, wurden über mehrere Jahre vor einem entsprechenden Hörerkreis behandelt, in zwei jeweils einsemestrigen 30stündigen Vorlesungen und parallel dazu in Übungen gleichen Umfangs, gewidmet je zur Hälfte vertiefenden Seminaren und Laborpraktika. Für Studiengänge, die der Chemieausbildung mehr Platz einräumen, vermittelt der Teil „Anorganische Chemie“ auf der Grundlage des Periodensystems der Elemente vertiefte Kenntnisse zu anorganischen Stoffen. Alle drei Teile können somit in angemessener Auswahl entsprechenden einsemestrigen Modulen zugrundegelegt werden.

Betont werden Themen, die teils zum Aufgabenfeld künftiger Umweltingenieure und Verfahrenstechniker hinführen, dem Finden sachgerechter Lösungswege für stoffliche Umsetzungen, teils die Physikausbildung dort ergänzen, wo eine materialwissenschaftliche Spezialisierung angestrebt wird und dementsprechend breitere Stoffkenntnisse von Bedeutung sind.

Bei der hier vorgelegten Behandlung der Allgemeinen, Anorganischen und Organischen Chemie wird – trotz der vorgegebenen knappen Seitenzahl – eine möglichst verständliche Darstellung des Stoffes angestrebt. Durch eingefügte Beispiele und durch das bewußt umfangreich gehaltene Register wird versucht, die Vielzahl der Einzelbefunde überschaubar

zu halten. Hinweise auf bedeutende Forscher und die historische Entwicklung der Chemie sollen zeigen, daß die Chemie in stetiger Entwicklung begriffen war und daß sie es noch heute ist.

Bezüge zum Alltag, zu Umweltproblemen, zu Analysenmethoden, zu industriellen Verfahren und auch zu biochemischen Prozessen können hilfreich sein für eine vertiefte Beschäftigung mit anderen als den hier behandelten Teilgebieten der Chemie, etwa mit Analytischer, Physikalischer oder Technischer Chemie. Dafür muß aber auf entsprechende eigenständige Lehrbücher verwiesen werden. Weiterführender Chemieliteratur ist ein gesondertes Kapitel gewidmet, das auch Hinweise zu Chemie-Software und zu entsprechenden Datenbanken enthält.

Im Text werden für chemische Stoffe neben der korrekten Bezeichnung gemäß IUPAC, der „International Union of Pure and Applied Chemistry“, auch historisch bedingte Trivialnamen behandelt, wenn sie noch gebräuchlich sind. Tabellen mit wichtigen Stoff-Kennwerten sind in den laufenden Text eingefügt, allerdings naturgemäß nicht in der Ausführlichkeit eigenständiger Datensammlungen. Die meisten Kapitel enden mit Aufgaben zum Überprüfen des Lernerfolgs.

Die Autoren hoffen, daß das Buch auch bei Lehrern und Schülern Interesse findet, sowie bei allen anderen, die inzwischen mehr über die Chemie wissen wollen, als ihnen der Chemieunterricht an der Schule vermitteln konnte.

Dem Gutachter, Herrn Prof. Dr. W. Trowitzsch-Kienast, sind wir sehr dankbar für die gründliche Durchsicht des Manuskripts und für zahlreiche wertvolle Hinweise. Dem Verlag danken wir für die erwiesene Geduld bei der Fertigstellung des Manuskripts; hier sei für die ersten Jahre der Zusammenarbeit besonders Herr Dr. P. Spuhler erwähnt, für die Gegenwart Herr U. Sandten. Frau Dipl.-Chem. Christina Olschewski danken wir für die Mitwirkung am Erarbeiten des Registers, Frau Gabriele Kunz für die Gestaltung des Periodensystems in der Anlage.

Berlin/Cottbus, im Juli 2006

Gert Blumenthal Dietmar Linke Siegfried Vieth

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
Grundlegende Konstanten	XVII
Verzeichnis häufig verwendeter Symbole und Abkürzungen	XVIII
Hinweis auf einige Tabellen	XX

0 Einleitung **1**



Allgemeine Chemie

1 Reine Stoffe und ihre Benennung **7**

1.1 Reine Stoffe	7
1.1.1 Die chemischen Elemente	7
1.1.2 Der Molbegriff.....	8
1.1.3 Chemische Verbindungen	9
1.2 Nomenklatur der Chemie	10
1.2.1 Chemische Formeln	10
1.2.2 Namen der Elemente und anorganischen Verbindungen	12

2 Zustandsformen reiner Stoffe **17**

2.1 Der Aggregatzustand.....	17
2.2 Der Phasenbegriff in der Chemie	18
2.3 Phasengesetz und Phasendiagramm für reine Stoffe	21

3 Stoffgemische **25**

3.1 Klassifizierung nach der Mischbarkeit.....	25
3.2. Trennung von Gemischen	26
3.3 Gehaltsangaben von Gemischen	28
3.3.1 Zusammensetzungsgrößen	28
3.3.2 Herstellen einer definierten Säurelösung	30

4 Stöchiometrie **33**

4.1 Reaktionsgleichungen, stöchiometrisches Rechnen	33
4.2 Chemisches Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz (Einführung)	37

5	Atombau	41
5.1	Der Atombegriff in der Chemie, Atombausteine	41
5.2	Aufbau der Elektronenhülle	43
5.3	Das Periodensystem der Elemente (PSE).....	46
5.3.1	Geschichtliches	46
5.3.2	Reihenfolge der Energieniveaus, Elektronenkonfiguration	46
5.3.3	Eigenschaften der Elemente und ihre Stellung im PSE	49
6	Chemische Bindung	53
6.1	Wellenmechanisches Atommodell, kovalente Bindung.....	53
6.1.1	Der Orbital-Begriff und seine Veranschaulichung	53
6.1.2	Bindungskriterien (Abstand, Symmetrie, Energie).....	54
6.1.3	Bindungen gemäß der Valenzbindungs- (VB) und der Molekülorbital-Theorie (MO).....	56
6.2	Valenzhybridisierung.....	59
6.2.1	sp^3 -Hybridisierung, Methan und Ethan	59
6.2.2	Andere Hybridisierungs-Typen	60
6.3	Bindungsrelevante Atomeigenschaften.....	61
6.3.1	Ionisierungsenergie E_I , Elektronenaffinität E_A	61
6.3.2	Elektronegativität.....	63
6.4	Wertigkeits- und Bindungsbegriffe.....	65
6.4.1	Übersicht und Beispiele	65
6.4.2	Die Oxidationszahl OZ.....	67
6.4.3	Mesomerie (Resonanz).....	68
6.5	Typen der chemischen Bindung (Kurzcharakteristik).....	69
7	Symmetrie, Struktur und Eigenschaften	75
7.1	Symmetrie von Kristallgittern und Molekülen.....	75
7.1.1	Symmetrie von Kristallen	76
7.1.2	Symmetrie von Molekülen.....	81
7.1.3	VSEPR-Konzept und Molekülstruktur	83
7.2	Strukturen der chemischen Elemente.....	85
7.2.1	Dichte Kugelpackungen, Metallstrukturen	85
7.2.2	Strukturen der Nicht- und Halbmetalle, (8-N)-Regel.....	87
7.3	Strukturtypen anorganischer Verbindungen.....	89
7.3.1	Ionengitter.....	90
7.3.2	Strukturen beim Vorliegen polarer kovalenter Bindungen	93
7.3.3	Zur Problematik von Atom- und Ionenradien.....	95
7.4	Ausgewählte Eigenschaften von Feststoffen.....	96
7.4.1	Gitterenergie	96
7.4.2	Thermische und mechanische Eigenschaften.....	99
7.4.3	Elektrische Leitfähigkeit.....	100
7.4.4	Ausgewählte optische Eigenschaften.....	103
8	Thermochemie (Chemische Thermodynamik I)	105
8.1	Einführung	105
8.2	Grundbegriffe und Definitionen.....	107

8.2.1	Thermodynamisches System.....	107
8.2.2	Thermodynamischer Zustand, Zustandsgrößen	109
8.2.3	Thermodynamisches System unter Normalbedingungen.....	111
8.2.4	Zustandsfunktion, Zustandsvariable.....	112
8.3	Enthalpie und 1. Hauptsatz	114
8.3.1	Erster Hauptsatz Thermodynamik, Innere Energie, Enthalpie.....	114
8.3.2	Reaktions- und Bildungsenthalpien, der Satz von Hess.....	116
8.3.3	Bindungsenthalpien.....	121
8.3.4	Enthalpieänderungen bei Phasenumwandlungen	122
9	Siede- und Schmelzdiagramme von binären Gemischen	129
9.1	Siedediagramme.....	129
9.2	Schmelzdiagramme.....	132
10	Entropie und Zweiter Hauptsatz (Chemische Thermodynamik II)	135
10.1	Der Entropiebegriff.....	135
10.1.1	Thermodynamische Definition der Entropie.....	136
10.1.2	Statistische Interpretation der Entropie.....	138
10.2	Triebkraft chemischer Reaktionen	139
10.2.1	Freie Enthalpie, Gibbs-Helmholtz-Gleichung.....	140
10.2.2	Ein Rechenbeispiel zum Ablauf chemischer Reaktionen.....	141
11	Elektrochemie, chemisches Gleichgewicht und Thermodynamik	145
11.1	Standardpotential E° , Zellspannung ΔV	145
11.1.1	Standardelektrodenpotential und Zellspannung	146
11.1.2	Spannungsreihe und Redoxpotentiale	147
11.2	Elektrochemische Zellen (Entladen und Aufladen).....	150
11.2.1	Galvanische Elemente.....	151
11.2.2	Elektrolysezellen.....	152
11.2.3	Metallkorrosion.....	153
11.3	Die Nernstsche Gleichung.....	154
11.4	Potentiometrie und ihre analytische Anwendung.....	155
11.5	Zellspannung ΔV und Thermodynamik	157
11.5.1	Zellspannung ΔV und Gleichgewichtskonstante K_{eq}	157
11.5.2	Zellspannung ΔV , Gleichgewichtskonstante K_{eq} und freie Reaktionsenthalpie $\Delta_r G$	159
12	Säure-Base-Reaktionen (Gleichgewichte in wässrigen Lösungen I)	163
12.1	Ionenreaktionen, Säure-Base-Konzepte (Überblick).....	163
12.2	Wasser im Brønsted/Lowry-Konzept.....	165
12.2.1	Wasser als Ampholyt, Ionenprodukt des Wassers	165
12.2.2	Der pH-Begriff nach Sørensen	166
12.3	Säurestärke und Dissoziationsgrad.....	167
12.4	Säure-Base-Titrationen	170
12.5	Das Arrhenius-Konzept im Chemie-Alltag	173

13	Fällung und Komplexbildung (Gleichgewichte II)	177
13.1	Fällungsreaktionen.....	177
13.1.1	Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt.....	177
13.1.2	Fällungstitrationen.....	180
13.1.3	Überlagerung von Säure-Base- und Fällungsreaktionen.....	181
13.2	Komplexbildungsreaktionen.....	182
13.2.1	Stabilitätskonstanten von Metallkomplexen.....	183
13.2.2	Der Chelateffekt.....	185
13.2.3	Komplexometrische Titrations.....	187
13.2.4	Einfluß von Säure-Base- und/oder Fällungsreaktionen.....	188
14	Redoxreaktionen (Gleichgewichte III)	191
14.1	Korrespondierende Redoxpaare, Redoxgleichungen.....	191
14.2	Redoxamphoterie.....	194
14.3	Redoxtitrationen.....	195
15	Chemische Kinetik (Reaktionskinetik)	197
15.1	Die Reaktionsgeschwindigkeit (RG).....	198
15.2	Die Reaktionsordnung.....	200
15.3	Aktivierungsenergie.....	204
15.4	Katalyse.....	206
15.5	Reaktionsmechanismen.....	209
	Anorganische Chemie	
16	Einführung	215
17	18. Gruppe (VIII. Hauptgruppe) Edelgase Helium He, Neon Ne, Argon Ar, Krypton Kr, Xenon Xe, Radon Rn	217
17.1	Vergleichende Übersicht.....	217
17.1.1	Chemisches Verhalten.....	217
17.1.2	Vorkommen.....	217
17.2	Elemente und Verbindungen.....	218
18	Wasserstoff H	219
18.1	Vergleichende Übersicht.....	219
18.1.1	Chemisches Verhalten.....	219
18.1.2	Vorkommen.....	219
18.2	Das Element.....	220
18.3	Die Verbindungen.....	222

19	1. Gruppe (I. Hauptgruppe) Alkalimetalle	
	Lithium Li, Natrium Na, Kalium K, Rubidium Rb, Cäsium Cs, Francium Fr	225
<hr/>		
19.1	Vergleichende Übersicht	225
19.1.1	Chemisches Verhalten	225
19.1.2	Vorkommen	226
19.2	Die Elemente	227
19.3	Die Verbindungen	227
20	2. Gruppe (II. Hauptgruppe) Erdalkalimetalle	
	Beryllium Be, Magnesium Mg, Calcium Ca, Strontium Sr, Barium Ba, Radium Ra	231
<hr/>		
20.1	Vergleichende Übersicht	231
20.1.1	Chemisches Verhalten	231
20.1.2	Vorkommen	232
20.2	Die Elemente	232
20.3	Die Verbindungen	233
21	13. Gruppe (III. Hauptgruppe)	
	Bor B, Aluminium Al, Gallium Ga, Indium In, Thallium Tl	237
<hr/>		
21.1	Vergleichende Übersicht	237
21.1.1	Chemisches Verhalten	237
21.1.2	Vorkommen	238
21.2	Bor	239
21.2.1	Das Element	239
21.2.2	Die Verbindungen	239
21.3	Aluminium	243
21.3.1	Das Element	243
21.3.2	Die Verbindungen	244
21.4	Gallium, Indium, Thallium	246
22	14. Gruppe (IV. Hauptgruppe)	
	Kohlenstoff C, Silicium Si, Germanium Ge, Zinn Sn, Blei Pb	249
<hr/>		
22.1	Vergleichende Übersicht	249
22.1.1	Chemisches Verhalten	249
22.1.2	Vorkommen	250
22.2	Kohlenstoff	251
22.2.1	Das Element	251
22.2.2	Die Verbindungen	253
22.3	Silicium	255
22.3.1	Das Element	255
22.3.2	Die Verbindungen	256
22.4	Germanium, Zinn, Blei	259
22.4.1	Die Elemente	259
22.4.2	Die Verbindungen	260

23	15. Gruppe (V. Hauptgruppe)	
	Stickstoff N, Phosphor P, Arsen As, Antimon Sb, Bismut Bi	263
<hr/>		
23.1	Vergleichende Übersicht.....	263
23.1.1	Chemisches Verhalten	263
23.1.2	Vorkommen	264
23.2	Stickstoff.....	265
23.2.1	Das Element.....	265
23.2.2	Die Verbindungen.....	265
23.3	Phosphor	272
23.3.1	Das Element.....	272
23.3.2	Die Verbindungen.....	273
23.4	Arsen, Antimon, Bismut	276
23.4.1	Die Elemente	276
23.4.2	Die Verbindungen.....	277
24	16. Gruppe (VI. Hauptgruppe) Chalkogene	
	Sauerstoff O, Schwefel S, Selen Se, Tellur Te, Polonium Po	279
<hr/>		
24.1	Vergleichende Übersicht.....	279
24.1.1	Chemisches Verhalten	279
24.1.2	Vorkommen	280
24.2	Sauerstoff.....	282
24.2.1	Das Element.....	282
24.2.2	Die Verbindungen.....	284
24.3	Schwefel	290
24.3.1	Das Element.....	290
24.3.2	Die Verbindungen.....	292
24.4	Selen, Tellur, Polonium	296
24.4.1	Die Elemente	296
24.4.2	Die Verbindungen.....	297
25	17. Gruppe (VII. Hauptgruppe) Halogene	
	Fluor F, Chlor Cl, Brom Br, Iod I, Astat At	299
<hr/>		
25.1	Vergleichende Übersicht.....	299
25.1.1	Chemisches Verhalten	299
25.1.2	Vorkommen	300
25.2	Fluor.....	301
25.2.1	Das Element.....	301
25.2.2	Die Verbindungen.....	302
25.3	Chlor, Brom, Iod, Astat.....	303
25.3.1	Die Elemente	303
25.3.2	Die Verbindungen.....	305
26	3. Gruppe (III. Nebengruppe)	
	Scandium Sc, Yttrium Y, Lanthan La, Actinium Ac	311
<hr/>		
26.1	Vergleichende Übersicht.....	311
26.1.1	Chemisches Verhalten	311
26.1.2	Vorkommen	312

26.2 Die Elemente.....	312
26.3 Die Verbindungen.....	312

27 Lanthanoide

**Cer Ce, Praseodym Pr, Neodym Nd, Promethium Pm,
Samarium Sm, Europium Eu, Gadolinium Gd, Terbium Tb,
Dysprosium Dy, Holmium Ho, Erbium Er, Thulium Tm,
Ytterbium Yb, Lutetium Lu**

315

27.1 Vergleichende Übersicht.....	315
27.1.1 Chemisches Verhalten.....	315
27.1.2 Vorkommen.....	317
27.2 Elemente und Verbindungen.....	317

28 Die 1. Reihe der Übergangselemente

**Titan Ti, Vanadium V, Chrom Cr, Mangan Mn, Eisen Fe,
Cobalt Co, Nickel Ni**

319

28.1 Vergleichende Übersicht.....	319
28.1.1 Chemisches Verhalten.....	319
28.1.2 Vorkommen.....	320
28.2 Die Elemente.....	321
28.3 Die Verbindungen.....	325
28.3.1 Titan.....	325
28.3.2 Vanadium.....	325
28.3.3 Chrom.....	326
28.3.4 Mangan.....	328
28.3.5 Eisen.....	329
28.3.6 Cobalt.....	331
28.3.7 Nickel.....	332

29 Die 2. und 3. Reihe der Übergangselemente

**Zirconium Zr, Hafnium Hf, Niobium Nb, Tantal Ta,
Molybdän Mo, Wolfram W, Technetium Tc, Rhenium Re**

335

29.1 Vergleichende Übersicht.....	335
29.1.1 Chemisches Verhalten.....	335
29.1.2 Vorkommen.....	336
29.2 Die Elemente.....	336
29.3 Die Verbindungen.....	338
29.3.1 Zirconium, Hafnium.....	338
29.3.2 Niobium, Tantal.....	338
29.3.3 Molybdän, Wolfram.....	339
29.3.4 Technetium, Rhenium.....	339

30 Die Platinmetalle

**Ruthenium Ru, Osmium Os, Rhodium Rh, Iridium Ir,
Palladium Pd, Platin Pt**

341

30.1 Vergleichende Übersicht.....	341
-----------------------------------	-----

30.1.1	Chemisches Verhalten	341
30.1.2	Vorkommen	342
30.2	Die Elemente	342
30.3	Die Verbindungen.....	344
31	11. Gruppe (I. Nebengruppe)	
	Kupfer Cu, Silber Ag, Gold Au	347
31.1	Vergleichende Übersicht.....	347
31.1.1	Chemisches Verhalten	347
31.1.2	Vorkommen	348
31.2	Die Elemente	348
31.3	Die Verbindungen.....	350
31.3.1	Kupfer.....	350
31.3.2	Silber.....	351
31.3.3	Gold.....	351
32	12. Gruppe (II. Nebengruppe)	
	Zink Zn, Cadmium Cd, Quecksilber Hg	353
32.1	Vergleichende Übersicht.....	353
32.1.1	Chemisches Verhalten	353
32.1.2	Vorkommen	354
32.2	Die Elemente	354
32.3	Die Verbindungen.....	355
32.3.1	Zink, Cadmium.....	355
32.3.2	Quecksilber.....	356
33	Kernreaktionen	359
33.1	Natürliche Radioaktivität.....	359
33.2	Künstliche Radioaktivität.....	360
33.3	Kernenergie.....	361
33.4	Radioaktivität und Leben.....	362
34	Actinoide	
	Thorium Th, Protactinium Pa, Uran U, Neptunium Np,	
	Plutonium Pu, Americium Am, Curium Cm, Berkelium Bk,	
	Californium Cf, Einsteinium Es, Fermium Fm, Mendeleevium Md,	
	Nobelium No, Lawrencium Lr	363
34.1	Vergleichende Übersicht.....	363
34.1.1	Chemisches Verhalten	363
34.1.2	Vorkommen	364
34.2	Die Elemente	364
34.3	Die Verbindungen.....	365



Organische Chemie

35 Einführung 369

35.1 Was ist „Organische Chemie“?	369
35.2 „Organische Chemie interessiert mich nicht!“	369
35.3 Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung	370

36 Wichtige Stoffklassen in der Organischen Chemie 373

36.1 Kohlenwasserstoffe (Isomerie, Konstitution und Konfiguration, Konformation, Nomenklatur)	373
36.1.1 Alkane und Cycloalkane – Konstitution und Nomenklatur	373
36.1.2 Alkane und Cycloalkane – Konformation	378
36.1.3 Alkane und Cycloalkane – Physikalische und chemische Eigenschaften	379
36.1.4 Alkene und Cycloalkene – Aufbau und Nomenklatur	381
36.1.5 Alkene und Cycloalkene – Physikalische und chemische Eigenschaften	382
36.1.6 Alkine	384
36.1.7 Aromatische Kohlenwasserstoffe – Aufbau und Nomenklatur	385
36.1.8 Aromatische Kohlenwasserstoffe – Physikalische und chemische Eigenschaften	387
36.2 Verbindungen mit einwertigen funktionellen Gruppen	391
36.2.1 Alkanole (Alkohole)	391
36.2.2 Phenole (Hydroxyarene)	395
36.2.3 Ether	398
36.2.4 Amine	400
36.2.5 Halogenkohlenwasserstoffe	403
36.3 Carbonylverbindungen und Analoga	408
36.3.1 Aldehyde und Ketone	408
36.3.2 Carbonsäuren	414
36.3.3 Carbonsäureester	418
36.3.4 Carbonsäureanhydride und -halogenide	420
36.3.5 Carbonsäureamide	423
36.3.6 Carbonsäurenitrile	425
36.3.7 Nitroverbindungen	426

37 Struktur-Eigenschafts-Beziehungen 431

37.1 Flüchtigkeit und Löslichkeit organischer Verbindungen	431
37.2 Wasserstoff-Brücken-Bindungen	433
37.3 Chemische Reaktionen – Elektrophilie und Nucleophilie	435
37.4 Säure-Base-Reaktionen in der organischen Chemie	438
37.5 Organische Metallkomplex-Verbindungen (Koordinationsverbindungen)	440
37.6 Sterische Effekte	441
37.7 Umweltverhalten von Stoffen – allgemeine Regeln, wichtige Begriffe	443

38 Heterocyclen und Naturstoffe 445

38.1 Heterocyclen	445
38.2 Was ist linksdrehende Milchsäure? Hydroxycarbonsäuren, Chiralität	449
38.3 Aminosäuren, Proteine	453

38.3.1 Aminosäuren.....	453
38.3.2 Proteine.....	456
38.4 Fette, Lipide.....	459
38.5 Kohlenhydrate.....	462
38.6 Nucleinsäuren.....	468
39 Wirtschaftlich bedeutende und umweltrelevante organische Verbindungen	477
39.1 Die Herstellung organischer Verbindungen.....	477
39.2 Kunststoffe.....	479
39.3 Tenside.....	484
39.4 Chlororganische Verbindungen.....	488
39.4.1 Herstellung und Anwendung chlororganischer Verbindungen.....	488
39.4.2 Spezielle Chlorkohlenwasserstoffe (CKW).....	490
40 Einführung in die Chromatographie	499
40.1 Verteilung, Absorption, Adsorption.....	499
40.2 Das Prinzip der chromatographischen Trennung.....	500
40.3 Planar-Chromatographie.....	501
40.4 Säulenchromatographie (SC).....	505
41 Grundlegende Probleme der Analytischen Chemie	509
41.1 Validierung einer Analysenmethode.....	509
41.2 Probennahme und Probenvorbereitung.....	512
41.3 Zuverlässigkeit und Aussagekraft von Analysenwerten.....	513
42 Literatur	515
42.1 Ausgewählte Buchtitel zur Chemie.....	515
42.2 Große Chemie-Nachschlagewerke, Referateorgane.....	521
42.3 Chemie im Internet.....	523
Lösungen zu den Aufgaben	525
Register	555

Grundlegende Konstanten¹

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert und Einheit
Atomare Masseneinheit	u	$1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg
Avogadro-Konstante	N_A	$6,0221367 \cdot 10^{23}$ mol ⁻¹
Boltzmann-Konstante	$k (= R/N_A)$	$1,380658 \cdot 10^{-23}$ J/K
Dielektrizitätskonstante des Vakuums	ϵ_0	$8,85419 \cdot 10^{-12}$ C ² / (J · m)
Elementarladung	e	$1,60217733 \cdot 10^{-19}$ C
Fallbeschleunigung	g	9,80665 m/s ²
Faraday-Konstante	$F (= N_A \cdot e)$	$9,6485309 \cdot 10^4$ C/mol
Gaskonstante, universelle	$R (= N_A \cdot k)$	$8,314510$ J/(K · mol) $0,08314$ l · bar/(K · mol)
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c_0	$2,99792458 \cdot 10^8$ m/s
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6,62607595 \cdot 10^{-34}$ J · s
Ruhemasse des Elektrons	m_e	$9,1093897 \cdot 10^{-31}$ kg
Ruhemasse des Neutrons	m_n	$1,6749286 \cdot 10^{-27}$ kg
Ruhemasse des Protons	m_p	$1,6726231 \cdot 10^{-27}$ kg
Basis des natürlichen Logarithmus	e	2,718282
Umrechnung $^{10}\log x \rightarrow \ln x$		$^{10}\log x = 0,4342935 \ln x$
Umrechnung $\ln x \rightarrow ^{10}\log x$		$\ln x = 2,30259 ^{10}\log x$
Energieäquivalent: Elektronenvolt je Teilchen \rightarrow Kilojoule je Mol Teilchen		1 eV/Teilchen \triangleq 96,49 kJ/mol Teilchen

¹ meist entnommen aus D'Ans-Lax (s. Tab. 42.1, Lit. [15/1])

Verzeichnis ausgewählter Symbole und Abkürzungen

a, A	Arbeit ²	h, H	Enthalpie ²
A	Frequenzfaktor	hcp	hexagonal dichte(ste) Packung
a _i	Aktivität von i	IR	Infrarot
AO	Atomorbital	IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
A _r (X)	relative Atommasse von X	k	Geschwindigkeitskonstante
ÄP	Äquivalenzpunkt	k	Boltzmann-Konstante
B	Base	K _{c(x, p)}	(stöchiometrische) Gleichgewichtskonstanten
b _i	Molalität	K _{th}	thermodynamische Gleichgewichtskonstante
c, c ₀	Lichtgeschwindigkeit	K _w	Ionenprodukt des Wassers
c, C	Wärmekapazität ²	K _p	Siedepunkt (präparative Chemie)
c _i	(Stoffmengen-)Konzentration	KZ	Koordinationszahl
ccp	kubisch dichte(ste) Packung	l	flüssig (liquidus)
d	Wellenfunktion mit l = 2	l	Nebenquantenzahl
D	Dissoziationsgrad	L	Ligand
e, e ⁻	Elektron, Elementarladung	L	Löslichkeitsprodukt
E	Energie	m; M	Masse; molare Masse
E _a	Aktivierungsenergie	m	Magnetquantenzahl
E _A	Elektronenaffinität	M	Metall (allgemein)
E _{l(n)}	(n.) Ionisierungsenergie	MO	Molekülorbital
E _{n,l,m}	Energie-Eigenwerte	n	Elektronenzahl, Atomzahl
E, EMK	elektromotorische Kraft	n	Hauptquantenzahl
E ^o	Standardpotential	n	Koordinationszahl
EDTE	Ethylendiamintetraessigsäure	n	Neutron
EN	Elektronegativität	n	Stoffmenge (z.B. in Mol)
EP	Elektronenpaar	N	Hauptgruppennummer
f	Wellenfunktion mit l = 3	N _A	Avogadro-Konstante
f, F	freie Energie ²	OZ	Oxidationszahl
F	Faraday-Konstante	p	Proton
F	Freiheitsgrad (Phasenregel)	p	Druck, Kraft
f _i , f _±	Aktivitätskoeffizient	p	Wellenfunktion mit l = 1
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe	p(X)	⁻¹⁰ log (X)
Fp.	Schmelzpunkt (präp. Chemie)	p _i	Partialdruck
g	gasförmig	q	Ladung
g, G	freie Enthalpie ²	q, Q	Wärme ²
h	Plancksches Wirkungsquantum	r	Abstand, Radius

² Kleinbuchstaben für spezifische, Großbuchstaben für molare Größen

R	Gaskonstante, universelle	Indices	
R	Reaktant	a	Aktivierungs-
s	Wellenfunktion mit $l = 0$	ads	Adsorptions-
s	fest (solidus)	aq	Hydratations-
s	Spinquantenzahl	at	Atomisierungs-
s, S	Entropie ²	ÄP	Äquivalenzpunkt
t	Zeit	c	Verbrennungs-
$t_{1/2}$	Halbwertszeit	cr	kritisch
T	absolute Temperatur	dil	Verdünnungs-
u, U	innere Energie ²	diss	Dissoziations-
U_G	Gitterenergie	eq	Gleichgewicht
UV	Ultraviolett	f	Bildungs-
v	Geschwindigkeit	fus	Schmelz-
v, V	Volumen ²	G	Gitter-
W	Wahrscheinlichkeit	h	Hin- (Reaktion)
w_i	Massenanteil von i	mix	Mischungs-
x_i	Stoffmengenanteil von i	mom	momentan
Z	Ordnungszahl	r	Reaktions-
z_i	Ionenladung	r	Rück- (Reaktion)
β_i	Massenkonzentration	rev	reversibel
δ^+ , δ^-	Partialladung(en)	S	Säure-
$\Delta \dots$	Differenz (z.B. ΔH , ΔG , ΔS)	sat	Sättigungs-
ΔV	Gleichgewichtszellspannung	sol	Lösungs-
ϵ	Dielektrizitätskonstante	sp	spezifisch
λ	Wellenlänge	stab	Stabilitäts-
μ	Dipolmoment	sub	Sublimations-
ν	Frequenz (Strahlung)	trs	Umwandlungs-
ν_i	Stöchiometriezahlen	vap	Verdampfungs-
$ \nu_i $	stöchiometrische Faktoren	°	Standard-
Ψ	Wellenfunktion	[i]	Stoffmengenkonzentration von i
π , π^*	(zentrosymmetrische) MO	→	chemische Reaktion (hin)
ρ	Dichte	←	chemische Reaktion (zurück)
σ , σ^*	(rotationssymmetrische) MO	⇌	chemisches Gleichgewicht
σ_h , σ_v	Symmetrieebenen	↔	Mesomeriepfeil
τ	Reaktionsgrad		
ϑ , θ	Celsiustemperatur		

Hinweis auf einige Tabellen

Tab.	Inhalt	Seite
8.6	Ausgewählte thermochemische Daten (298,15 K, 1 bar): Molare Standard-Bildungsenthalpien $\Delta_f H^\circ$ und molare Standardentropien S°	120f.
11.1	Ausgewählte Standard-Elektroden- bzw. -Redoxpotentiale E° (298 K, 1 bar, Aktivität $a = 1$)	148f.
12.2	<u>Spalte 1-3</u> : Dissoziationsgrad D von Brønstedtsäuren $H_n A$ in Abhängigkeit von der Dissoziationskonstante $K_{S(n)}$; <u>Spalte 4-6</u> : Einige pK_S -Werte	168
13.2	Löslichkeitsprodukte L (25 °C) und pL -Werte für ausgewählte Salze $A_n B_m$	179
42.1	Auswahl zur Fachliteratur Chemie	515ff.