

J. A. Campbell

Allgemeine Chemie

J. A. Campbell

Allgemeine Chemie

Energetik, Dynamik und Struktur chemischer Systeme



Der Titel der Originalausgabe lautet:

Chemical Systems
Energetics Dynamics Structure

Erstmals erschienen in den USA bei W.H. Freeman and Company, San Francisco and London

(C) 1970 by W.H. Freeman and Company

All rights reserved

First published in the United States by W.H. Freeman and Company,
San Francisco and London

J.A. Campbell
Harvey Mudd College, Claremont, California

Übersetzt von
Walter Bube
Klaus Godzik
Ursula Hofacker
Dietrich Menzel
Peter Otto
Frank Rebentrost

Verlagsredaktion: Ute Schumacher und Hans F. Ebel

Dieses Buch enthält 421 Abbildungen und 192 Tabellen

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Campbell, James Arthur

Allgemeine Chemie: **Energetik**, Dynamik u. Struktur chem. Systeme.

Einheitssacht.: **Chemical systems** <dt.>.

ISBN 3-527-25489-7

© Verlag Chemie, GmbH, D-6940 Weinheim, 1975

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into foreign languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens gekennzeichnet sind.

Satz: Hans Richarz, Publikations-Service, D-5205 St. Augustin.

Druck und Bindung: Passavia, D-8390 Passau.

Papier: Papierfabrik Schoeller & Hoesch GmbH, D-7562 Gernsbach.

Printed in Germany

Für Karin und Dawn
und ihre Generation.

Vorwort

An den Studenten

Allem, was Menschen an materiellen oder geistigen Dingen schaffen, liegen gewisse Annahmen zugrunde. Dieses Buch bildet keine Ausnahme. Es wird Ihnen den Gebrauch des Buches erleichtern, und vielleicht finden Sie es sogar interessant, wenn Sie einige der zugrundeliegenden Annahmen kennen.

Ich gehe davon aus, daß Sie naturwissenschaftlich interessiert sind und daß Sie gern herausfinden möchten, womit sich Chemiker beschäftigen, was sie für wichtig halten, welche Standpunkte sie vertreten und wie sie über die Grenzen und die zukünftige Entwicklung der Chemie denken. Die Systeme, mit denen Chemiker arbeiten, sind im allgemeinen komplizierter als diejenigen, die für den Physiker von besonderem Interesse sind, genauso wie die Systeme des Physikers normalerweise komplizierter sind als die des Mathematikers. Im gleichen Maße nimmt der Grad der Exaktheit von der Mathematik über die Physik zur Chemie hin ab, während umgekehrt die Intuition und die qualitative Betrachtungsweise an Bedeutung gewinnen. Die Akzente verschieben sich noch weiter, wenn man zu den technischen Wissenschaften, der Medizin, den Gesellschaftswissenschaften und der klassischen Philologie übergeht. Wir setzen daher voraus, daß Sie nicht nur die entsprechenden mathematischen Fähigkeiten besitzen, um die exakteren Ableitungen nachzuvollziehen, sondern daß Sie auch genügend Vorstellungskraft entwickeln, um einer qualitativen Diskussion folgen zu können, wenn eine exakte Ableitung weniger gut möglich ist.

Jeder Begriff wird kurz erklärt, wenn er zum ersten Mal benutzt wird. Wir nehmen an, daß Sie zumindest über Grundkenntnisse der Chemie und Physik verfügen sowie auf mathematischem Gebiet mit Algebra und Geometrie vertraut sind (Differential- und Integralrechnung wird erst ab Kapitel 6 benötigt). In der Chemie sollten Sie bereits einige Übung im Umgang mit chemischen Symbolen, relativen Atommassen, molaren Größen, dem Periodensystem und chemischen Formeln sowie eine gewisse Kenntnis des dynamischen Gleichgewichts, der Löslichkeit, der Säure-Base- und der Redoxreaktionen, der Gleichgewichtskonstanten, der modernen beschreibenden Chemie, der Natur der chemischen Bindung und der Bedeutung der Struktur erworben haben. Auf physikalischem Gebiet setzen wir voraus, daß Sie mit der Wellen- und Teilchen-Theorie des Lichts ($E = h\nu$), dem Coulombschen Gesetz ($F = k \cdot q_1 \cdot q_2 / r^2$), der Existenz und den wichtigsten Eigenschaften

VIII Vorwort

von Elektronen, dem Atomaufbau, der kinetischen Energie ($mv^2/2$), der Kraft, dem Druck, dem Impuls und der absoluten Temperatur vertraut sind. Sie werden größeren Nutzen aus diesem Chemielehrbuch ziehen, wenn Sie bereits an einer Vorlesung über Physik teilgenommen haben oder gerade daran teilnehmen. Und Ihre mathematischen Kenntnisse sollten ausreichen, um einfache algebraische Gleichungen zu lösen und um in Worte gekleidete Aufgaben in eine lösbare, algebraische Form zu übertragen und das Ergebnis der algebraischen Rechnung mit Worten auszudrücken. Ab Kapitel 6 sollten Sie darüber hinaus die Grundlagen der Differential- und Integralrechnung beherrschen.

Für das Verständnis der Chemie halten wir es für wesentlich, daß Sie mit *realen* chemischen Systemen selbst im Laboratorium experimentieren; im Text sind dazu viele geeignete Experimente beschrieben. Derartige Versuche sollten einer allgemeinen Diskussion vorausgehen, denn nur dann handelt es sich um echte Experimente und nicht um eine Demonstration bereits bekannter Fakten und Vorstellungen.

Ebenso wichtig ist es, Aufgaben zu lösen. Mehr als 350 Übungen wurden aus diesem Grund mitsamt den Lösungen in den Text eingestreut. Daneben wurde besondere Sorgfalt darauf verwandt, weitere 700 Aufgaben am Ende der einzelnen Kapitel zusammenzustellen, die teilweise recht selbständige geistige Anstrengungen Ihrerseits erfordern. Zu vielen dieser Aufgaben sind näherungsweise Lösungen angeführt, die eine Überprüfung Ihrer Überlegungen gestatten. Viele Aufgaben sind kumulativer Art, und um sie zu lösen, benötigt man mehr Kenntnisse, als man beim bloßen Durchsehen des zuletzt besprochenen Kapitels findet. Am Ende der meisten Kapitel finden Sie drei Gruppen von Aufgaben, die als I, II und III gekennzeichnet sind. Jede Aufgabe der ersten Gruppe sollten Sie in weniger als 10 Minuten lösen können, während Sie für jede Aufgabe der zweiten Gruppe nicht mehr als 20 Minuten benötigen sollten. Die Lösung der Aufgaben der dritten Gruppe erfordert manchmal mehr Zeit.

Gewöhnlich ist es das beste, wenn Sie eine Aufgabe Schritt für Schritt schriftlich vollständig ausarbeiten; wenn Sie nicht zu einer Lösung kommen, ist Ihr Verständnis noch unvollkommen. Sobald Sie ein Ergebnis erarbeitet haben, überprüfen Sie es: Ist es sinnvoll? Was kann man daraus lernen? Welche weiteren Fragen ergeben sich daraus? Je weiter Sie in Ihren Studien fortschreiten, desto mehr werden Sie jede „Lösung“ als Ausgangspunkt für neue Fragen benutzen, die zu einer Erweiterung Ihres Wissensstandes beitragen.

Es ist dringend zu empfehlen, daß Sie, bevor Sie mit dem ersten Kapitel beginnen, das gesamte Inhaltsverzeichnis und den Anhang durchsehen. Ein solcher Überblick wird Ihnen eine bessere Vorstellung von der Wissenschaft der Chemie und von den Gegenständen, mit denen sie sich befaßt, vermitteln, als jede kurze Darstellung vermöchte. Auf diese Weise werden Sie auch einen Einblick gewinnen, wie das Gebiet angegangen wird und in welcher Reihenfolge die einzelnen Themen untersucht werden.

Sie sollten jedes Kapitel nach einem einheitlichen Schema durcharbeiten. Versuchen Sie, zunächst jedes Kapitel kurz zu überfliegen, indem Sie nur die Überschriften der einzelnen Abschnitte lesen, die Abbildungen und Tabellen mit den zugehörigen Legenden ansehen und zumindest den ersten Teil der Aufgaben am Ende des

Kapitels lesen. Der so gewonnene Überblick macht die anschließende Lektüre des Kapitels einfacher und lohnender, da Sie bereits ein Ziel vor Augen haben und eine ungefähre Vorstellung besitzen, wie es zu erreichen ist. Außerdem werden Ihnen eine Reihe von Fragen gekommen sein, die das Lernen erleichtern werden. Beim zweiten Mal sollten Sie das Kapitel mit Bedacht, aber nicht langsam lesen, und Sie sollten stärker auf die Entwicklung der Gedankengänge als auf Einzelheiten achten. Daran sollte sich die exemplarische Bearbeitung einer Aufgabe – vorzugsweise aus der ersten Gruppe – anschließen, wobei gegebenenfalls vom Dozenten ausgesuchte Aufgaben besonders zu berücksichtigen sind. Schließlich sollten Sie das Kapitel gründlich durcharbeiten und dabei vor allem auf jene Stellen achten, die bei den vorausgegangenen Lektüren bzw. bei den Aufgaben unklar geblieben sind, damit Sie das Verständnis und die Sicherheit erlangen, die zu den Zielen jeder Universitätsausbildung gehören. Später sollte ein kurzer Blick in die Aufgaben, Abbildungen, Tabellen und Abschnittsüberschriften genügen, um Ihre Kenntnisse und Ihr Verständnis aufzufrischen, und nur hin und wieder sollte es notwendig sein, Einzelheiten eines bestimmten Abschnitts nachzusehen.

Das Ziel besteht darin, eine Reihe vernünftiger Modelle aufzufinden, mit deren Hilfe Sie Probleme lösen können, und nicht darin, viele Gleichungen zu sammeln, in die Sie Zahlen mechanisch einsetzen. Die wichtigsten Gleichungen sind halbfett gedruckt – nicht, um sie leichter auswendig lernen zu können, sondern nur, um ihre Bedeutung zu unterstreichen. Die erarbeiteten Modelle sollten gleichermaßen ein qualitatives Verständnis vermitteln und die Abschätzung der „Größenordnung“ bestimmter Effekte gestatten wie die Berechnung der genauesten verfügbaren Daten ermöglichen. Darüber hinaus ist es wichtig, daß Sie die experimentellen Grundlagen dieser Modelle kennen, daß Sie sich über die Methoden klar werden, nach denen Theorien wachsen, daß Sie verstehen, warum eine Theorie dazu verwendet wird, eine andere zu erweitern oder zu ersetzen, und daß Sie mit den allgemeinen Verfahrensweisen vertraut werden, die zu den heutzutage praktizierten „Lösungen“ vieler großer Probleme geführt haben.

Wir hoffen, daß Ihnen die Lektüre dieses Buches zu der Kritikfähigkeit verhilft, wie es aus einem soliden Wissen erwächst. Ihre chemischen Kenntnisse sollten fest gegründet sein, d.h. Sie sollten experimentelle Befunde verstehen und Modelle sicher anwenden können. Sie sollten aber auch die Grenzen des derzeitigen Wissensstandes sehen und sich bewußt sein, daß sich dieses Wissen unweigerlich ändern wird und daß die gegenwärtigen Theorien eines Tages vielleicht überholt sein werden.

Dieses Buch ist so aufgebaut, daß experimentelle und theoretische Themen ständig miteinander verwoben sind. Abschnitte von grundlegendem Inhalt sind durch große Überschriften gekennzeichnet, während die Abschnitte mit der geringsten allgemeinen Bedeutung in kleinerer Schrift gesetzt sind. Theorien und Vorstellungen werden gewöhnlich in einem experimentellen Zusammenhang eingeführt, besonders in den ersten Kapiteln. Sooft es möglich ist, werden auch alternative Deutungen chemischer Vorgänge angeführt, insbesondere, wenn die zur Verfügung stehenden Daten keine eindeutige Entscheidung zwischen möglichen Erklärungen zulassen. Die theoretischen Interpretationen werden dann sobald wie möglich auf wirkliche chemische Systeme angewandt, und zwar werden jeweils

XII Vorwort

zwischen beobachtbaren Merkmalen und dem Molekülverhalten finden als bei den Rotations-, Schwingungs- und Elektronenspektren einfacher Verbindungen; die auf diese Weise abgeleiteten Vorstellungen werden in späteren Kapiteln zur Erklärung kinetischer, thermodynamischer und struktureller Daten herangezogen. Bei der Behandlung der Chemie auf der Grundlage des Molekülverhaltens besteht leicht die Gefahr, die Chemie der Reaktionen völlig aus den Augen zu verlieren. Reaktionen bilden den wesentlichsten Bestandteil der Chemie, aber ihre Erklärung liegt nicht direkt auf der Hand; denn die meisten Reaktionen verlaufen insgesamt ziemlich kompliziert, obwohl die Einzelschritte einfach sind. Aus diesem Grund liegt das Schwergewicht bei einem Großteil der 350 in die Kapitel eingestreuten Übungen und der 700 am Ende aller Kapitel angefügten Aufgaben auf den chemischen Reaktionen, da auf diesem Gebiet die Chemie insgesamt und jeder einzelne Chemiker den größten Beitrag zum menschlichen Wissen leisten können. Chemiker untersuchen und überwachen Reaktionen, und eines ihrer Haupthilfsmittel ist dabei das Verständnis auf molekularer Ebene.

Danksagung

Eine größere Zahl von Kollegen hat beträchtlich zum Inhalt des ganzen Buches beigetragen, besonders aber zu jenen Kapiteln, für die eigene Verfasser im Inhaltsverzeichnis und unter den jeweiligen Kapitelüberschriften genannt sind. Jedem von ihnen gebührt die Anerkennung für die Anlage dieser Kapitel, während ich verantwortlich bin, falls Änderungen, Zusätze und Streichungen ihre Darstellungen beeinträchtigt haben.

Nur wenige Autoren haben den Vorteil genossen, so viel studentische Kritik zu erhalten wie ich in den Jahren 1964 bis 1969. Hunderten von Studenten der Tulane University, der Montana State University und des Harvey Mudd College und ihren wagemutigen Professoren Hans Jonassen und Reed Howald sowie den Chemielehrern des Harvey Mudd College gilt der Dank für zahllose Verbesserungen. Die redaktionellen Ratschläge von John Quinlan vom Pomona College, William Eberhardt vom Georgia Institute of Technology und Linus Pauling waren sehr wertvoll. Und schließlich trug Betty Lumpkin wesentlich zur Vollendung des Buches bei, indem sie das Manuskript sorgfältig schrieb und Querverweise überprüfte. Bitte teilen Sie mir Ihre Kritik ebenso hart und direkt mit wie die genannten Personen.

Claremont, California
Dezember 1969

J.A. Campbell

Vorwort zur deutschen Ausgabe

Übersetzer und Verlag hoffen, mit der deutschen Fassung des Buches von Prof. Campbell der Allgemeinen Chemie in der Bundesrepublik Deutschland und im ganzen deutschen Sprachraum einen Dienst erwiesen zu haben. Gerade in einer Zeit, in der die Lehre in den ersten Semestern des Chemiestudiums noch um neue Formen und die Allgemeine Chemie um ihre endgültige Stellung innerhalb der klassischen Fächer – Anorganische, Organische und Physikalische Chemie – ringen, vermag ein Buch, das auf so reiche Erfahrungen gestützt ist wie das Campbell-sche, sicher wichtige Anregungen zu geben.

Die Übertragung eines so großen Werkes ins Deutsche hat sich als ein nicht einfaches Unterfangen erwiesen, zumal ein ganzes Team von Fachleuten zusammengestellt und koordiniert werden mußte. Die Verlagsredaktion hat sich dann noch die schwierige Aufgabe gestellt, das Buch im Einverständnis mit dem Verfasser auf die neuen, auch in der Bundesrepublik Deutschland gesetzlich vorgeschriebenen SI-Einheiten umzustellen. Auch für die aus Fachzeitschriften übernommenen Tabellen und Abbildungen wurden zum größten Teil die neuen Einheiten verwendet. Wir erwarten, daß das Erscheinen des ersten umfassenden deutschsprachigen Lehrbuches in den neuen Einheiten, das außer der sog. ‚Allgemeinen Chemie‘ weite Teile der Physikalischen Chemie abdeckt, von der Fachwelt begrüßt werden wird.

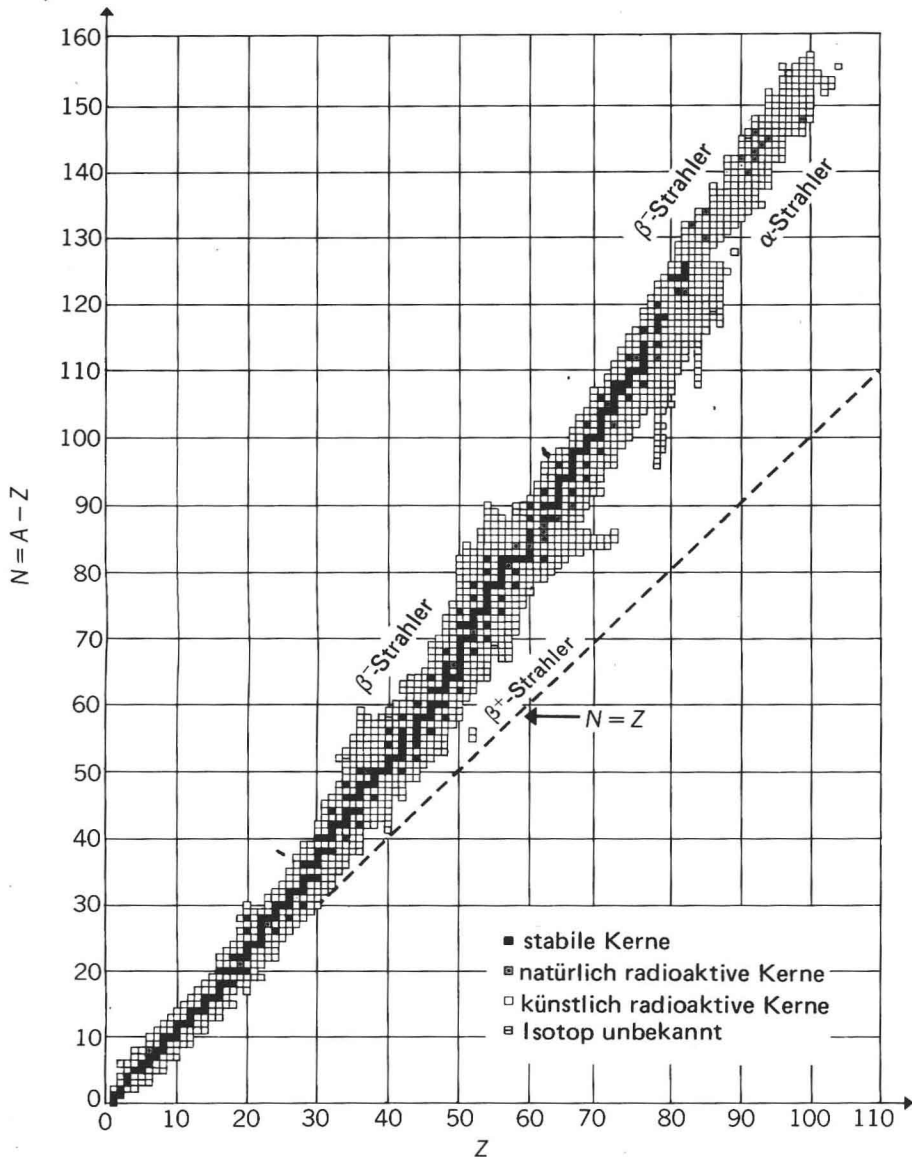
Weinheim und München
Im August 1975

Hans F. Ebel
Ursula Hofacker
Ute Schumacher

Korrekturen während der Drucklegung

S. 78:

β^+ -Strahler fehlte in Abb. 2-2.



S. 165:

Mehrere Verbesserungen in Abb. 5–7.

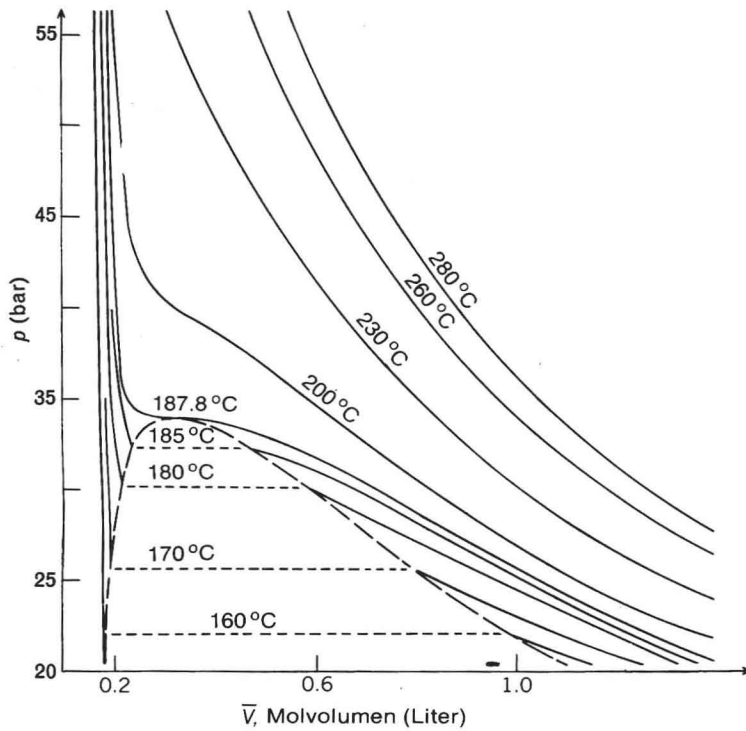
[illegible]

S. 168:

Die Antragungen an der Ordinate sind zu lesen als 3000 bzw. 6000.

S. 203:

Werteskala an Ordinate in Abb. 6–10 fehlte.

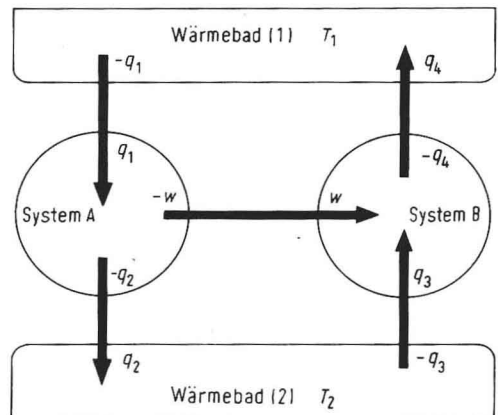
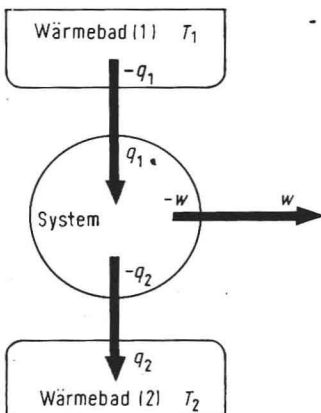


S. 374:

Im Zentrum der letzten Teilfigur in Abb. 15–3 fehlte „J“.

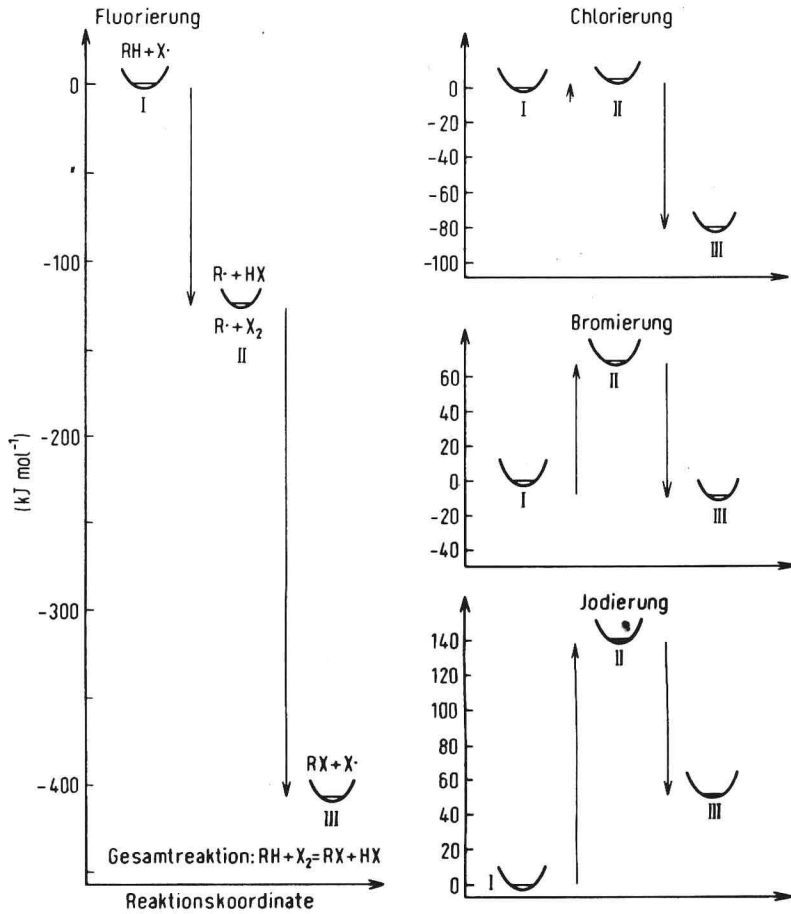
S. 740 und 741:

Mehrere Verbesserungen in Abb. 26–2 und Abb. 26–3.



S. 688:

Die Ordinatenskalen der rechten Teilfiguren in Abb. 24–3 waren falsch beschriftet.



Inhaltsverzeichnis

Prolog. Zeitmaßstäbe; Existenzbedrohungen; Die Bevölkerungszahl; Drei Gegenmaßnahmen; Luft; Wasser; Ernährung; Wetter; Gesundheit; Raum; Energie; Wärme; Der Stationärzustand; Die vierte Maßnahme; Die Bedeutung der Chemie; Chemie und Lernprozeß	1
Teil 1 Energie, Atome und Moleküle	23
1. Erhaltung und Veränderung. Chemische Reaktionen; Chemische Symbolsprache; Atomsymbole; Ionen und neutrale Moleküle; Die chemische Gleichung; Das Aufstellen chemischer Gleichungen; Chemische Gleichungen und Halbreaktionen; Der Ausgleich durch einfache Überprüfung; Das Molkonzept und chemische Messungen; Die Genauigkeit von Zahlenangaben; Chemische Formeln aus analytischen Daten; Die Bestimmung chemischer Formeln aus dem Verhalten reagierender Mischungen; Die Erhaltungssätze; Enthalpie und chemische Prozesse; Entropie, Wahrscheinlichkeit und chemische Prozesse; Konfigurationsentropie und thermische Entropie; System und Umgebung; Die Größe (das Vorzeichen) von ΔH ; Prozesse in geschlossenen Systemen bei konstanter Temperatur und konstantem Druck; Prozesse, die vom Standardzustand ausgehen; Die Größe (das Vorzeichen) von ΔS° ; Die Fällung von CaCO_3 ; Eigenschaften und Verhalten; Zusammenfassung; Aufgaben	25
2. Der nukleare Aufbau des Atoms. Atomtheorien; Der nukleare Aufbau des Atoms; Isotope; Die Neutronen-Protonen-Theorie; Kernreaktionen; Halbwertszeiten; Kernsynthese; Zusammenfassung; Aufgaben	67
3. Die energetischen Zustände des Atoms. Elektronen im Atom; Ionisierungsenergien; Anregungsenergien; Atomspektren; Wasserstoffähnliche Spektren; Wasserstoffähnliche Energiezustände; Wasserstoffähnliche Termschemata; Wasserstoffähnliche Atome im elektrischen und	

magnetischen Feld; Die Nomenklatur der Terme; Die Besetzung der Orbitale; Zusammenfassung; Aufgaben	83
4. Atommodell und chemische Reaktionen. Das Bohrsche Modell; Das Vektormodell des Atoms; Das Wahrscheinlichkeitsbild des Atoms; Das wellenmechanische Modell; Die Dualität der Modelle; Die radiale Ladungsverteilung in Atomen; Die Winkelabhängigkeit der Ladungsverteilung in Atomen; Orbitalsymmetrie; Das pulsierende Atom – die Knoten; Atommodelle; Atomorbitale; Elektronische Struktur und das Periodensystem der Elemente; Die Orbitaldarstellung der elektronischen Zustände im Grundzustand; Atomrümpfe und Valenzelektronen; Die ersten Ionisierungsenergien; Energiezustände in kondensierten Phasen; Valenzelektronen und Oxidationszustände; Die Größe der Atome; Zusammenfassung; Aufgaben	109
5. Die chemischen Elemente. Die chemischen Elemente; Angenäherte Atommassen; Genaue Atommassen; Das Periodensystem; Die Identifizierung chemischer Elemente; Charakteristische Röntgenstrahlen; Chemische Analyse mit Hilfe von Röntgenstrahlen; Analyse aufgrund von Kerneigenschaften; Analyse durch chemische Reaktionen; Das Vorkommen der Elemente; Die Gewinnung der reinen Elemente; Reine Elemente aus den Sulfiden; Reine Elemente aus den Oxiden – Kohlenstoff als Reduktionsmittel; Die Gewinnung von Elementen durch Elektrolyse; Chemische Oxidationsmittel; Metalle und Nichtmetalle; Die Elemente als Kristalle, Flüssigkeiten und Gase; Moleküle der Elemente; Moleküle in Flüssigkeiten und Kristallen; Kristall- und Molekülmodifikationen; Die Bindung in gasförmigen Elementen; Die Bindung in kondensierten Zuständen der Elemente; Die Bildung von Verbindungen; Theorien der Bindungen in Molekülen; Zusammenfassung; Aufgaben	141
6. Gase – Zustandsgleichungen. Chemische Systeme; Gleichgewichtszustände; Mathematische Beschreibung der Gleichgewichtssysteme; Die Phasenregel; Die Zustandsgleichung idealer Gase; Daltons Gesetz der Partialdrücke; Reale Gase; Die Phasendiagramme; Kritische Bedingungen; Korrespondierende Zustände; Die absolute Temperatur; Zustandsgleichungen realer Gase; Die kinetische Theorie der idealen Gase; Abweichungen vom idealen Gasverhalten; Die vollständige Definition eines idealen Gases; Die Diffusion von Gasen; Die barometrische Höhenformel; Die Bestimmung genauer Molekülmassen; Zusammenfassung; Aufgaben	187
7. Molekülenergien – klassische Theorie. Wärme; Wärmekapazitäten; $C_p - C_v$ für ein ideales Gas; Einatomige Gase und translatorische Wärmekapazität; Wärmekapazitäten zweiatomiger und vielatomiger Gase; Klassische Gesamtwärmekapazitäten; Zusammenfassung; Aufgaben .	219

8. Energieniveaus der Moleküle – Quantentheorie. Spektroskopische Befunde, die auf Rotation und Schwingung in Molekülen hinweisen; Ein Rotationsmodell für gasförmigen Chlorwasserstoff; Die Boltzmann-Gleichung; Die Intensitäten der Rotationslinien; Bindungsdehnung durch Rotation; Die auf der Rotation beruhende Wärmekapazität; Schwingungen in Molekülen; Ein Modell der Quantelung von Molekülschwingungen; Die auf den gequantelten Schwingungen beruhende Wärmekapazität; Schwingungsspektren; Translationsenergie in Gasen; Einfluß der Masse auf die Quantenniveaus; Zusammenfassung; Aufgaben	233
9. Entropie, Wahrscheinlichkeit und Veränderung. Energie und ihre Verteilung – der Druck als Variable; Energie und ihre Verteilung – die Temperatur als Variable; Energie und Arbeit; Einige Wahrscheinlichkeitsvorstellungen; Wahrscheinlichkeit und Energieverteilung – die Entropie; Die Entropie bei tiefen Temperaturen – der Dritte Hauptsatz der Thermodynamik; „Ausnahmen“ vom Dritten Hauptsatz; Zusammenfassung; Aufgaben	259
10. Die Entropie von Gasen. Die Entropie von Gasen bei konstanter Temperatur; Die Mischungsentropie; Entropieänderungen und reversibler Wärmefluß; Entropieänderungen und Phasengleichgewichte; Konfigurationsentropie und thermische Entropie; Entropieänderungen in geschlossenen Systemen; Die Entropie der Schwingung; Die Berechnung thermodynamischer Funktionen; Zusammenfassung; Aufgaben	271
11. Die Edelgase – Gruppe 0 des Periodensystems. Die Edelgase; Käfigverbindungen oder Clathrate; Die Reaktionsträgheit der Edelgase; Bildungswärmen und freie Bildungsenthalpien; Die Reaktivität der Edelgase; Zusammenfassung; Aufgaben	285
12. Wasserstoff. Molekularer Wasserstoff; Thermodynamische Eigenschaften einiger Wasserstoffverbindungen; Das Haber-Bosch-Verfahren; Gleichgewichtskonstanten, das Prinzip von Le Châtelier und ΔG° ; Der Kernspin und die magnetische Kernresonanz; Wasser; Die Reaktion von Wasser mit anderen binären Wasserstoffverbindungen; Ammoniak und Kohlenwasserstoffe in Wasser; Die Theorie der Säuren und Basen; Die Oxidationsstufen des Wasserstoffs; Zusammenfassung; Aufgaben	295
Teil 2 Chemische Bindungen	323
13. Die Halogene – Gruppe VII A des Periodensystems. Die Reaktivität der Halogene; Metallhalogenide; Die Halogenide der Nichtmetalle;	

Die Nomenklatur der Sauerstoff-Halogen-Verbindungen; Reaktionen der Sauerstoff-Halogen-Verbindungen; Astat; Einige analytische Methoden; Die Analyse der Edelgase; Die Analyse des Wasserstoffs; Die Analyse der Halogene; Zusammenfassung; Aufgaben	395
14. Die chemische Bindung: Winkel – Schwingungsfrequenzen – Abstände – Energien – Polaritäten. Die Existenz von Molekülen und kondensierten Phasen; Das Chlorwasserstoffmolekül; Bindungswinkel; Schwingungsfrequenzen der Bindungen; Bindungsabstand; Ionenradien; van-der-Waals-Radien; Bindungsenthalpien; Bindungspolarität; Relative Elektronegativität; Zusammenfassung; Aufgaben	343
15. Atomorbitalbeschreibung der chemischen Bindung. Kombinationen der Atomorbitale; Hybridisierung der Atomorbitale; Bindende und nichtbindende Elektronen; Elektronenwolken – eine andere Betrachtungsweise; Mehrfachbindungen; Resonanz; Kondensierte Phasen; van-der-Waals- und Abstoßungskräfte; Messung der Dipolmomente reiner Substanzen; Der Brechungsindex; Messung der Dipolmomente in Lösungen; Potentialenergiekurven elektrisch neutraler Moleküle; Die Wasserstoffbrücken-Bindung; Zusammenfassung; Aufgaben	367
16. Ionische Stoffe und Metalle. Ionen; Zwischenionische Kräfte; Die Madelung-Konstanten; Der Born-Haber-Kreisprozeß; Koordinationszahlen in ionischen Verbindungen; Fließbewegung in ionischen Kristallen; Die Bindung in Metallen; Zusammenfassung; Aufgaben	403
17. Chemische Bindung – delokalisierte Elektronen. Molekulare Ionisierungsenergien; Isolierte und vereinigte Atome; Homonukleare Molekülorbitale; Heteronukleare Molekülorbitale; Die Überlappung von π -Orbitalen; Die Molekülorbitale in Graphit; Die Bindung in Metallen; Symmetrie und Überlappung von Orbitalen; Der Elektronenspin und die Aufspaltung der d-Orbitale; Isoelektronische Spezies; Ein Vergleich der Beschreibung von Molekülen durch die Valenzbindung und durch Molekülorbitale; Zusammenfassung; Aufgaben	419
Teil 3 Das dynamische Gleichgewicht	453
18. Die Chalkogene – Gruppe VIA des Periodensystems. Verwandtschaft der Elemente innerhalb der Gruppe; Sauerstoff; Großindustrielle Verwendung von Sauerstoff; Die Oxidationszahl; Die Oxidationsstufen der Chalkogene; Reaktionen von Sauerstoff mit anderen Elementen; Metalloxide; Oxidschichten auf Metallen; Oxide der Nichtmetalle; Die Zusammensetzung des reinen Wassers; Reaktionen der Oxide mit Wasser; Die effektive Ladungsdichte; Die Säure-Base-Theorie von Arrhe-	