

Vollrath Hopp

Grundlagen der chemischen Technologie

für Studium und Berufsbildung

Vierte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

unter Mitarbeit von
Dipl.-Ing. G. Loos, Dipl.-Chem. I. Henning
Chem. Techn. F. Merz †
Dipl.-Ing. E. Stärz †

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester · Brisbane · Singapore · Toronto

This Page Intentionally Left Blank

Vollrath Hopp

Grundlagen der chemischen Technologie

 **WILEY-VCH**

This Page Intentionally Left Blank

Vollrath Hopp

Grundlagen der chemischen Technologie

für Studium und Berufsbildung

Vierte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

unter Mitarbeit von
Dipl.-Ing. G. Loos, Dipl.-Chem. I. Henning
Chem. Techn. F. Merz †
Dipl.-Ing. E. Stärz †

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester · Brisbane · Singapore · Toronto

Professor Dr.-Ing. Vollrath Hopp, Universität Rostock
Odenwaldring 31
D-63303 Dreieich

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Einbandgrafik und Zeichnungen vor den Kapiteln: Vollrath Hopp, Jr., Berlin
Anfertigung der Fließbilder und Schemata: Arnim Beck

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich
ISBN 3-527-29998-X

Gedruckt auf säurefreiem Papier

© WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim (Federal Republic of Germany), 2001

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warnbezeichnungen, 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 nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other 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. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Satz und Druck: Zechner Datenservice und Druck, D-67346 Speyer
Bindung: Wilh. Osswald, D-67433 Neustadt/Wstr.
Printed in the Federal Republic of Germany

Gewidmet:

*Max Hopp (1999), Freiburg,
Lea Hopp (1992), Berlin*

Zum Geleit der ersten Auflage 1978

Die chemische Technologie wird oft als Bindeglied zwischen Chemie und Maschinenbau verstanden. Aber ist sie nicht eher als ein Instrument im Konzert der Natur- und Ingenieurwissenschaften zu verstehen?

So, wie ein Musikstück, das für das Ohr harmonisch klingen soll, gleichen Takt und aufeinander abgestimmte Instrumente voraussetzt, so kann ein chemisches Produkt nur dann reproduzierbar hergestellt werden, wenn die Produktionsanlage in ihrem technischen Ablauf auf den chemischen Reaktionsablauf abgestimmt ist. Chemisches, physikalisches und ingenieurtechnisches Wissen im weitesten Sinne müssen dabei ständig präsent sein und eingesetzt werden.

Die chemische Technologie ist ein Paradebeispiel für das Teamwork der Wissenschaften; ihre Anwendung setzt aber gleichermaßen ein Teamwork kooperationswilliger Mitarbeiter voraus, die bereit sind, Erkenntnisse und Wissen sowohl zu erarbeiten als auch weiterzugeben. Dazu gehört ein Ausbildungswesen, das die Grundlagen all denen vermitteln soll, die sich Wissen aneignen wollen. Ein Hilfsmittel dabei soll das vorliegende Buch sein, dem man nur wünschen kann, ebenso zu einem Instrument im Zusammenspiel der Lehrenden und Lernenden zu werden, wie es die chemische Technologie bei dem der verschiedenen Disziplinen der Naturwissenschaften ist.

Professor Dr. rer. nat.

Dr. rer. nat. h. c. Klaus Weissermel †

Vorwort zur vierten Auflage

Nachdem die dritte Auflage seit einem Jahr vergriffen ist, ist es an der Zeit, eine neue Auflage vorzustellen. Wie auch die vorangegangenen Auflagen richtet sich dieses Lehrbuch mit dem Titel „Grundlagen der chemischen Technologie für Studium und Berufsbildung“ an die praxisorientierten Berufe der chemischen Produktion und in den Laboratorien sowie an technische und Ingenieurberufe. Doch auch die Kaufleute vom Vertrieb und der Beschaffung sollen sich durch dieses Lehrbuch angesprochen fühlen.

Die Menschen in einem Chemieunternehmen müssen so zusammenarbeiten, wie die Mitglieder eines Orchesters zusammen spielen. Jedes Mitglied und jeder Mitarbeiter ist gleich wichtig. Alle müssen in einem Team die gleiche Sprache sprechen. Stoff-, Energie-, Informations- und Kapitalströme hängen miteinander zusammen und müssen gut aufeinander eingestimmt sein. Das ist eines der Geheimnisse eines erfolgreichen Chemieunternehmens. Deshalb richtet sich dieses Buch auch an die Finanzexperten und Manager, die die Stoffe, Energien und Informationen zu bewerten haben.

Nun kann man sagen, wer versucht, einen Personenkreis mit so unterschiedlichen Interessen und Aufgaben anzusprechen, spricht niemanden richtig an. Hier liegt auch die Schwierigkeit moderner Lehrbücher, nämlich die geeigneten Themen auszuwählen und diese in einer verständlichen nichtakademischen Sprache zu erläutern. Expertenwissen wieder zu einer Ganzheit zu bündeln, muß das Ziel einer modernen Berufsbildung sein.

Diese neue Auflage setzt sich aus acht Teilen zusammen:

- I Chemische Grundlagen
- II Physikalische Grundlagen
- III Produktionsverfahren zur Herstellung von chemischen Grundprodukten
- IV Grundlagen der Maschinenkunde in der chemischen Technik
- V Grundoperationen
- VI Grundlagen der Arbeitssicherheit
- VII Verhalten von Stoffen im Nanobereich
- VIII Anhang

Teil I umfaßt um die Reaktionskinetik und die einfachen Grundlagen der Thermodynamik, um die Bedeutung der Energie besonders hervorzuheben. Den Abschluß bildet ein Abschnitt über vergleichbare mathematische Funktionen in Natur und Technik. In Teil II werden die Themen Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Elektrolyse und Disperse Systeme ausführlich behandelt. In Teil III werden wichtige Prozesse zur Herstellung von chemischen Massenprodukten beschrieben. Wegen ihrer besonderen Bedeutung werden in der vorliegenden Auflage die Oxoverbindungen sowie Farbstoffe, Farbstoffe und Pigmente intensiv berücksichtigt.

Das Kapitel „Chemie und Umwelt“ unterstreicht den Entsorgungsaspekt in der chemischen Produktion und will den lernenden Leser für die aktuelle Umweltproblematik sensibilisieren. Ein umfangreiches Kapitel im Teil III nehmen die Stoffkreisläufe des Wassers, des Kohlenstoffs, Stickstoffs, Phosphors, Sauerstoffs, Schwefels, Wasserstoffs und Chlors ein. Es sind diejenigen Elemente, die die große Produktionspalette der Chemiewirtschaft ausmachen. Es sind aber zugleich auch die Elemente, die maßgeblich am Aufbau der biologischen Systeme, einschließlich des Menschen, beteiligt sind. Chemische Industrie, chemische Forschung und die Chemie der Natur sind nichts Gegensätzliches. Das hohe Bevölkerungswachstum zwingt uns dazu, die Chemie der Technik und die der Natur als Ergänzung zu begreifen. Dieses Umdenken ist in vollem Gange und wird noch manche Produktionsverfahren verändern.

Eine Chemieanlage ist ohne geeignete Maschinen, Geräte und Apparaturen nicht vorstellbar. Oft ist es schwierig, die entsprechenden Werkstoffe zu finden, um die gewünschten chemischen Reaktionen kontrolliert ablaufen zu lassen. Dem Teil IV ist somit das Kapitel „Werkstoffkunde – eine Einführung“ hinzugefügt worden.

Teil V wird durch das Thema „Grundoperationen“ charakterisiert. Mit diesem Thema soll die Vielfalt der Prozesse in der chemischen Fabrik, die weniger chemischer, sondern mehr physikalischer und mechanischer Natur ist, transparent

gemacht werden. Es wird gezeigt, daß das Prinzip vieler Grundoperationen den Küchen in den Haushalten abgeguckt worden ist.

Teil VI „Grundlagen der Arbeitssicherheit“ berücksichtigt in der vorliegenden Überarbeitung neben den Grundlagen die modernen Schutzmaßnahmen und die aktuellen Gesetze.

Teil VII skizziert kurz die Eigenschaftsveränderungen von Stoffen im Nanobereich.

Eine Auflockerung erfährt die vierte Auflage durch viele neue Skizzen, Abbildungen und Fließschemata, die dem Leser auf einen Blick das Wesentliche vermitteln.

Vorangestellt ist wieder die Landkarte der Chemiestandorte Deutschlands (s. S. 3). Sie soll u. a. auch auf die Bedeutung der Chemieregion zwischen Saale und Elbe hinweisen.

Statt der Werkfotos vor den einzelnen Teilen sind Skizzen eines jungen Künstlers eingefügt worden, die das geistige Wesen eines technischen Prozesses eingefangen haben. Technik ist nicht nur rationale Nüchternheit, Technik ist auch künstlerische Phantasie und kulturelle Innovation.

Ein Lehrbuch völlig allein zu schreiben und herzustellen übersteigt in einer Zeit der spezialisierten Arbeitsteilung das Vermögen des Autors. Viele helfende Menschen wirkten mit. Allen danke ich an dieser Stelle für ihre Hilfsbereitschaft herzlich.

Für das sorgfältige Anfertigen von Typoskripten der überarbeiteten Kapitel bedanke ich mich bei der Textverarbeiterin Frau Marlene Weber.

Herrn A. Beck danke ich für die viele Mühe, die er für die Zeichnungen aufgewendet hat. Auch den Freunden und Kollegen aus vielen Chemieunternehmen sei aufrichtig Dank gesagt für die zahlreich erhaltenen Informationen. Erst diese Informationen machten es möglich, aus einem klassischen Chemielehrbuch ein Buch der Chemischen Technologie für die Berufsbildung und Praxis werden zu lassen.

Universität Rostock
Februar 2001

Vollrath Hopp

Einführung – Was sind die Grundlagen einer naturwissenschaftlichen Berufsbildung?

Eine Analyse der Buchthemen auf dem Markt der Lehrbücher ergibt, daß das umfangreiche Angebot sich vorwiegend an zwei große Leserkreise wendet. Das sind die Schüler der allgemeinbildenden Schulen einschließlich der Berufsschulen einerseits und die Studenten der Universitäten andererseits.

Die immer zahlreicher werdende dritte Gruppe der Techniker und Ingenieure von den Fach- und Fachhochschulen und der Berufstätigen aus der Industrie und dem Handwerk, die über Weiterbildungskurse zusätzliche Berufsqualifikationen erwerben wollen, wird kaum angesprochen. Es handelt sich bei diesem Personenkreis um Menschen, die den Zugang zu den Ingenieur- und Naturwissenschaften über anwendungsorientierte Fragen und Probleme gewinnen. Ihr Bildungsweg führt vom Spezialproblem und Detailwissen zu den allgemeinen Gesetzen der Natur- und Ingenieurwissenschaften, in die alle Spezialkenntnisse eingebettet sind.

Hierin besteht eine wichtige didaktische Herausforderung für Bücher zur Einführung in die Grundlagen der angewandten Natur- und Ingenieurwissenschaften.

Eine zweite wichtige didaktische Forderung ist eine gut verständliche Sprachformulierung der Probleme, ihrer Erläuterungen und konsequenten schrittweisen Herleitung von Lösungsmöglichkeiten.

Die ausgewählten Themen behandeln vorwiegend die allgemeinen Grundlagen der angesprochenen Fachgebiete und weniger die detaillierten Spezialfragen. Damit wird bewußt auf die Bedeutung des Grundlagenwissens in der beruflichen Bildung hingearbeitet. Das Spezialwissen muß von Fall zu Fall am Arbeitsplatz erworben werden.

Mit diesem Lehrbuch soll das interdisziplinäre Denken und Arbeiten gefördert und ausgelöst werden.

Faktenwissen ist die eine Säule der Berufsqualifikation. Dieses Wissen in die Systeme der Technik und Natur einzuordnen, um Prozesse in der Technik und der Natur zu erkennen und zu verstehen, ist die zweite Säule der Berufsqualifikation. Durch sie wird Berufsqualifikation erst

zur Berufsbildung und somit zu einem ergänzenden Bestandteil der allgemeinen Bildung.

Beobachten, Vergleichen, Messen, Interpretieren und Schlußfolgerungen ziehen sind die Schlüsselaktivitäten eines Meisters, Technikers, Ingenieurs und Wissenschaftlers. Um immer wieder nachvollziehbar und reproduzierbar vergleichen zu können, müssen die Fähigkeiten des Messens und Rechnens gut beherrscht werden. Grundkenntnisse in Mathematik sind eine wichtige Voraussetzung, um Vorgänge in der Technik und der Natur beschreiben und beurteilen zu können. Die behandelten Themen wenden sich dem Stoff, den Prozessen und Methoden, durch die er bearbeitet und verarbeitet wird, und den Apparaten und Geräten zu, die zu einer Stoffumwandlung nötig sind. Stoff- und Energieströme, ihre Wechselwirkungen sowie die dazu erforderlichen Behältnisse und Transporteinrichtungen bestimmen die komplexen Systeme der Technik und der Natur.

Fachübergreifendes Denken

In erster Linie wendet sich dieses Buch an Menschen, die in unserer technischen Welt mit dem Stoff zu tun haben. Damit ist die Stoffgewinnung, Stoffaufbereitung, der Stoffumsatz, die Stoffreinigung und die Weiterverarbeitung von Stoffen zu Nutzungs- und Gebrauchsgütern gemeint.

Stoffe und deren Umwandlungen sind komplexe Systeme. Ein breites Grundlagenwissen ist nötig, um die Stoffumwandlungen in der Natur und die in der industriellen Welt zu verstehen.

Gesetze aus Teilgebieten der allgemeinen Natur- und Ingenieurwissenschaften müssen fachübergreifend miteinander verknüpft werden, um die unterschiedlichsten mit dem Stoffumsatz verbundenen Probleme zu lösen (Abb.1).

Warum werden immer wieder neue Lehrbücher geschrieben? Nicht deshalb, weil das Wissen veraltet und durch neues Wissen ersetzt oder ergänzt werden muß. Das gilt für manche Spezialgebiete, aber nicht für die Grundlagen der Natur- und Ingenieurwissenschaften. Die Gesetze über die Vorgänge in der Natur und Technik

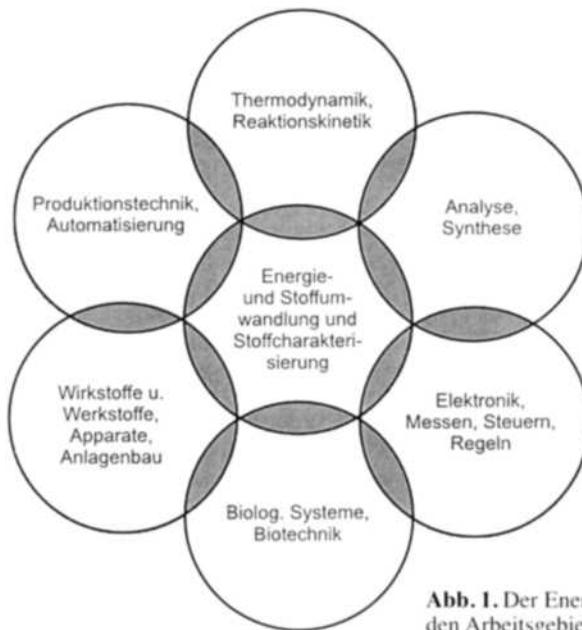


Abb. 1. Der Energie- und Stoffumsatz und seine fachübergreifenden Arbeitsgebiete.

ändern sich nicht. Es ändern sich die jeweiligen Aspekte, unter denen sie angewendet werden, bzw. die Phänomene und Fragestellungen. Die Fähigkeit, bekannte Gesetze auf neue Erscheinungen zu übertragen, muß geübt und gelehrt werden. Das ist eine weitere Forderung an moderne Lehrbücher.

Nicht alles kann ausgebildet oder studiert werden, was später während der Berufsausübung gefordert wird. Für die Berufsschulen, Technikerschulen und auch für die Hochschulen heißt das, technisches und naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten während der Ausbildung bzw. des Studiums auf einer breiten fachübergreifenden Grundlage zu fördern. Weg vom vengenden linearen Denken zum Denken in Analogien, Kreisläufen und vernetzten Systemen. Das ist die dritte Herausforderung an die Fachkräfte der Wissenschaft und Technik.

Dieses Buch wendet sich an die Chemiefachkräfte ebenso wie an die Ingenieure der verschiedenen Arbeitsbereiche. Denn sie arbeiten in der Produktion, der Anwendungstechnik, der Beschaffung, im Vertrieb und auch in der Wissenschaft im Team. Je mehr Fakten und Daten in unserem technischen Geschehen und während des wissenschaftlichen Arbeitens anfallen, desto notwendiger ist es, nach Grundmodellen und Fundamentalgesetzen Ausschau zu halten, um die Mu-

ster zu erkennen, nach denen die Prozesse in der Natur und Technik ablaufen. Analoge Betrachtungen zwischen den Informationssymbolen unserer verbalen Sprache, dem Binärsystem in der Informatik und den Reproduktionscodes der biologischen Systeme und dem biologischen Bauprinzip mögen das verdeutlichen.

Abbildung 2 zeigt die Gemeinsamkeiten von einfachen zu komplexen Bausystemen, sie zeigt den damit verbundenen Energieaufwand. Mit dem Erkennen der Gemeinsamkeiten schälen sich auch zugleich die Unterschiede heraus. Diese Betrachtungsstrategie wurde von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) erstmals formuliert. Heute ist sie Bestandteil modernen wissenschaftlichen Arbeitens und wirkt integrierend in die Steuerungs- und Regelungsmechanismen stofflicher und energetischer Umwandlungen hinein.

„Ein neues System der chemischen Philosophie“ lautete der Titel von John Daltons Buch von 1808, mit dem die moderne Chemie begann. Es war einer der ganz großen Würfe der wissenschaftlichen Literatur: Daß alle Stoffe aus gleichartigen Atomen oder Molekülen bestehen, wurde dargelegt, daß die Substanzen atomweise miteinander chemisch reagieren, alle Stoffe also die Elemente in ganzzahligen Mengenanteilen enthalten.

Komplexe Systeme	Schriftsprache	Wissen aus Wirtschaft und Technologie	Biologisches Speichersystem	Biologisch-chemische Bausteine	Komplexe Systeme
Zunahme der Verdichtung Zunahme der Quantität und Qualität	Text	Bücher Bibliotheken	Programme Dateien	DNS (Erbinformation)	Organismus (Komplexe Zellstrukturen)
	Satz	Sprache und Schrift	Programmiersprache Datensatz	Gen (Teil der DNS)	Zellstrukturen Organellen: Mitochondrien, Chloroplasten)
	Worte	Variabel lang	Befehlswort Daten	Strukturgen (Teil eines Gens)	Biopolymere: Nucleinsäuren, ATP,** Proteine, Kohlenhydrate, Fette
	Silben	Variabel lang Kombination aus 36 Zeichen Unendlich viele Möglichkeiten	Einheitliche Länge 8 Zeichen (1 Byte) $2^8 = 256$ Möglichkeiten z. B.: 00110101 / AABBABAB	Einheitliche Länge 3 Zeichen (Triplet) $4^3 = 64$ Möglichkeiten ACG, ACC, CGT usw. AS ₁ , AS ₂ , AS ₃ *	Biomomere: Nucleotide (Aminobasen, Einfachzucker, Phosphorsäure), Aminosäuren, Acetylrest, Porphyrin
	Elemente	36 Zeichen 26 Buchstaben A – Z 10 Ziffern 0 – 9 Sonderzeichen	2 Zeichen (Binärsystem) z. B. A und B; 0 und 1	4 Zeichen (Aminobasen) A T C G bzw. A U C G	einfache chem. Verbindungen: CH ₄ , NH ₃ , H ₂ S; H ₂ O; CO ₂ chem. Elemente: z. B. H; C; N; P; O; S; Elektrolyte
Symbole und Bauelemente					

nach V. Hopp u. L. Mischnick

Abb. 2. Analogien zwischen Alphabet, Binärsystem und biologisch-chemischen Informationssystemen unter Einbeziehung der Nanotechnologie

* APS = Aminosäure, A = Adenin, C = Cytosin, G = Guanin, T = Thymin, U = Uracil

** ATP = Adenosintriphosphat

John Daltons „Philosophie“ hatte die Vorstellung bereits nahegelegt, und die Quantenmechanik hat sie bestätigt: Die Atome binden sich aneinander mit Hilfe gerichteter Valenz-„Arme“ (und nicht etwa durch kugelsymmetrische Kraftfelder). Die Folge: Moleküle sind räumliche Strukturen. Und immer deutlicher schälte sich die Erkenntnis heraus, daß die makroskopischen Eigenschaften der Stoffe nicht nur von der Zusammensetzung, sondern ebenso von der speziellen Struktur ihrer Moleküle bestimmt werden. Der Chemiker unserer Tage denkt daher prinzipiell räumlich.

Der Computer hat schon bald nach seiner Erfindung in der Chemie „Arbeit bekommen“ – früher als in vielen anderen Wissenschaften. Das konnte im Grunde auch gar nicht überraschen: Das, was die Chemie erforscht und hervorbringt, jede ihrer Hunderttausende, ja Millionen „Verbindungen“, setzt sich aus einer nur kleinen Zahl von Baustein-Sorten zusammen, ist – gemäß Daltons „chemischer Philosophie“ – ein kleiner, großer oder mitunter auch riesiger Komplex aus

einer Handvoll Atomarten. Die Chemie hat also einen in hohem Grad kombinatorischen Charakter – und wer vermöchte wohl besser eine un-absehbare Vielfalt von Kombinationen zu bilden, zu erfassen und zu verwalten als der Computer?

Vom Wissen zur Bildung

Beobachten, Messen und Vergleichen ist die eine Seite der naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden. Sie allein führen nicht zu objektivierbaren Erkenntnissen. Auf der anderen Seite müssen die Forschungs- und Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang mit denen von Nachbardisziplinen gesehen werden. Eine einfache Summierung von Fakten, Daten und Teilwissen bringt uns dem Verständnis der Welt und des immer wieder faszinierenden Menschen keinen Schritt näher. Dazu gehören manuelles Geschick zum Experimentieren und theoretische Modelle, die die Teile zum Ganzen verbinden und veranschaulichen

XII Einführung

– um mit den Worten Werner Heisenbergs* zu sprechen.

Es gilt, das Expertenwissen wieder zu einer Ganzheit und Gesamtschau zusammenzufügen, damit Wissen zur Bildung wird. Dann können die

Naturwissenschaften anregend und beeinflussend auf Weltanschauung und Selbstverständnis wirken. Die Natur erkennen und verstehen, das ist ein wichtiger Beitrag der Ingenieur- und Naturwissenschaften zur Bildung.

* Heisenberg, Werner (1901–1976) dtsh. Physiker. Arbeitsthemen: Heisenbergsche Unschärferelation, Weltformel.

Inhalt

0 Gründungszeit und Standorte von Chemieunternehmen

- 0.1 Die Gründungszeit europäischer Chemieunternehmen 1
- 0.2 Chemiestandorte in Deutschland 2

I Chemische Grundlagen

- 1 Chemische Definitionen 12
- 2 Wasser 34
- 3 Säuren 37
- 4 Laugen oder Basen 42
- 5 Der pH-Wert, ein Maß für die Wasserstoffionen-Konzentration 44
- 6 Neutralisationsreaktionen und Salzbildung 46
- 7 Anorganische Oxoverbindungen – Wasserstoffperoxid und Perborate 48
- 8 Kohlenwasserstoffe 56
- 9 Aromatische Verbindungen (Aromaten) 63
- 10 Grundbegriffe der Reaktionskinetik 113
- 11 Grundbegriffe aus der Thermodynamik 134
- 12 Vergleichbare mathematische Funktionen zur Beschreibung von Prozessen in Natur und Technik 145
Literaturhinweise zu Teil I 162

II Einige physikalische Grundlagen

- 1 Kristallsysteme, ein Überblick 167
- 2 Mechanik fester Körper 169
- 3 Mechanik der Gase 172
- 4 Wärmelehre 177
- 5 Elektrizitätslehre 189
- 6 Disperse Systeme 198
Literaturhinweise zu Teil II 213

III Produktionsverfahren zur Herstellung von Chemischen Grundprodukten

- 1 Der Stoff- und Energieumsatz in der chemischen Industrie 222

- 2 Vom Steinsalz zu Chlor, Natronlauge und Soda 273
- 3 Methanchlorierung 286
- 4 Schwefelsäureherstellung nach dem Doppelkontaktverfahren 289
- 5 Vom Rohphosphat zur Phosphorsäure 294
- 6 Aluminium- und Siliciumgewinnung 303
- 7 Vom Luftstickstoff über Ammoniak zum Düngemittel 318
- 8 Harnstoffsynthese 331
- 9 Synthesegaschemie 335
- 10 Ethylen und Propylen als Schlüsselprodukte 357
- 11 Die Herstellung von Bioprotein 363
- 12 Chemie und Umwelt 369
- 13 Die Chemie des Erdöls und der Kohle 413
- 14 Stoffkreisläufe und ihre Verknüpfung zwischen Natur und Technik 439
Literaturhinweise zu Teil III 500

IV Grundlagen der Maschinenkunde in der chemischen Technik

- 1 Werkstoffe 511
- 2 Schraubenverbindungen 537
- 3 Rohre und Rohrleitungen 539
- 4 Absperrvorrichtungen 545
- 5 Kontrolleinrichtungen (Meßgeräte) 552
- 6 Dichtungen an Wellen 573
- 7 Lagerung und Förderung von festen Stoffen 575
- 8 Lagerung und Förderung von Flüssigkeiten 579
- 9 Lagerung und Förderung gasförmiger Stoffe 585
- 10 Dosieren 588
- 11 Heizung und Kühlung 592
- 12 Reaktionsapparate 598
Literaturhinweise zu Teil IV 605

V Grundoperationen

- 1 Grundlagen der chemischen Verfahrenstechnik 610
- 2 Trennung auf thermischem Wege 613
- 3 Mechanische Trennung von Feststoffen und Flüssigkeiten 634
- 4 Trocknen 640
- 5 Zerkleinern 644
- 6 Klassieren von Feststoffen 649
- 7 Mischen 654
- 8 Fermentation 662
Literaturhinweise zu Teil V 663

VI Grundlagen der Arbeitssicherheit

- 1 Sicherheit – die Verantwortung eines jeden Mitarbeiters 669
- 2 Verhalten im Laboratorium und Betrieb 670
- 3 Persönliche Schutzausrüstung 674
- 4 Leitern und Gerüste 678
- 5 Transport 680
- 6 Lagern und Stapeln 681
- 7 Arbeiten an laufenden Maschinen 682
- 8 Arbeiten mit ätzenden Stoffen 684
- 9 Gesundheitsschädlicher Staub 685
- 10 Giftige und gesundheitsschädigende Feststoffe und Flüssigkeiten 686
- 11 Gase und Dämpfe 688
- 12 Brand- und Explosionsgefahr 696
- 13 Gefahren durch Druck 705
- 14 Gefahren des elektrischen Stroms 708

- 15 Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz und nach der Gefahrstoffverordnung, VBG 125 713
- 16 Schlußbemerkung 720
Literaturhinweise zu Teil VI 720

VII Verhalten von Stoffen im Nanobereich

- 1 Definition 724
- 2 Beispiele für physikalisches Verhalten 725
- 3 Oberflächen- und Grenzflächeneffekte 726
- 4 Biologische Systeme im Nanobereich 728
- 5 Kohlenstoff-Nanoröhrchen 729
Literaturhinweise zu Teil VII 729

VIII Anhang

- 1 SI-Einheiten 732
- 2 Das griechische Alphabet 734
- 3 Vorsatzzeichen für Zehnerexponenten 735
Literaturhinweise zu Teil VIII 735
- 4 Zusammenschlüsse europäischer Chemieunternehmen – Übersicht 736

Register 737

0 Gründungszeit und Standorte von Chemieunternehmen

0.1 Die Gründungszeit europäischer Chemieunternehmen

Die Kondratiew-Zyklen

Die moderne Industrialisierung der Welt ging von England aus und setzte mit dem Bau einer Dampfmaschine durch James Watt ein. Die darauf folgenden 200 Jahre waren bis in die Gegenwart immer wieder von neuen Innovationschüben gekennzeichnet. Der berühmte russische Volkswirtschaftler Nikolai Dimitrejewitsch Kondratiew (1892–1930) faßte diese Technologiechübe zu Zyklen zusammen und leitete daraus bestimmte Gesetzmäßigkeiten ab, die als die Kondratiew-Zyklen in die Literatur eingegangen sind. Stalin paßten diese Überlegungen nicht in sein bolschewistisches Fortschrittskonzept, so daß Kondratiew im Moskauer Gefängnis eingesperrt und hingerichtet wurde.

Den einzelnen Schwingungsphasen bzw. Frequenzen ordnete er eine Zeit von 40–60 Jahren zu, bis sie dann von einem neuen Innovationszyklus abgelöst werden. Höhen und Tiefen werden als Begriffe für Zustandsbeschreibungen von Prozessen vermieden. An ihre Stelle treten die Innovations- bzw. Aktivitätsphasen einerseits und die Regenerationsphasen andererseits. Die Unterschiede zwischen ihnen sind bei zeitlicher Verschiebung als Amplituden aufzufassen, die von den Innovationsbooms und den Regenerationsphasen begrenzt werden. Auf diese Weise gelangte Kondratiew zu den langen Wellen der wirtschaftlichen Konjunktur und ihren Basisinnovationen.

Dieses Denkmodell ist auf alle biologischen und soziologischen Prozesse übertragbar, den Lebensrhythmus des Menschen eingeschlossen. Damit wird die gemeinsame Dynamik technischer, wirtschaftlicher, biologischer und soziologischer Vorgänge deutlich und ihre Vernetzung sichtbar. Auf eine Aktivitätsphase folgt immer wieder eine Ruhe-, d. h. Entspannungsphase. Das ist ein von der Natur vorgegebener Rhythmus, ein Vermeiden von Hoch und Tief in der Be-

schreibung von konjunkturellem Aufschwung und Abschwung entdramatisiert die oft hochgespielten Vorgänge an der Börse.

Der 7. Kondratiew wird wegen der zunehmenden Weltbevölkerung von dem soziologischen und psychologischen Verhalten der Menschheit bestimmt. Psycho-soziologische Innovationen werden große Bedeutung gewinnen (Abb. 0-1).

Studiert man die Geschichte der weltbekanntesten Chemiefirmen, so fällt auf, daß die meisten von ihnen im 19. Jahrhundert gegründet wurden (Abb. 0-1 und Tab. 0-1). Sie blicken damit auf eine lange Tradition wissenschaftlichen und produzierenden Arbeitens zurück. Ihre Gründungen fallen in eine Zeit, als die Chemie sich aus der Alchemie zur erkenntnisträchtigen Naturwissenschaft entwickelte. Namen wie *Antoine L. Lavoisier* (1743–1794), *John Dalton* (1766–1844), *Julius Lothar Meyer* (1830–1895), *Dimitrij I. Mendelejew* (1834–1907), *Robert J. Mayer* (1814–1878), *Josiah W. Gibbs* (1839–1903), *Hermann v. Helmholtz* (1821–1894), *James Watt* (1736–1819), *Werner v. Siemens* (1816–1892), *Georg S. Ohm* (1789–1854) und viele andere stehen für die spannenden Entdeckungen der Gesetze der Stoff- und Energieumwandlungen.

Am Ende des 18. Jahrhunderts (1789) hatte *James Watt* in England mit seiner Dampfmaschine die Kohle als Energieträger für eine allgemeine Technik nutzbar gemacht. Zu nennen sind auch *Werner v. Siemens* und *Georg S. Ohm*, die die Gesetze des elektrischen Stroms für den technischen Einsatz von elektrischer Energie anwendeten. Es war auch eine Zeit, in der in Europa die Bevölkerung stark zunahm und Hunger für die Massen selbstverständlicher war als satt zu sein. Viele Menschen wanderten nach den USA und Südamerika aus. Die französische Revolution von 1789 zeigt ebenfalls ihre befreienden Wirkungen. Der Drang nach geistiger Loslösung von feudalen und kirchlichen Herrschaftsstrukturen tat sein übriges (Abb. 0-1).

Mit der *Kohle* gab es einen interessanten und unerschöpflichen *Rohstoff* für die Gründungen von Chemiefirmen. Außerdem ließ sie sich zugleich als *Energiequelle* nutzen. *Wasser* gab es in

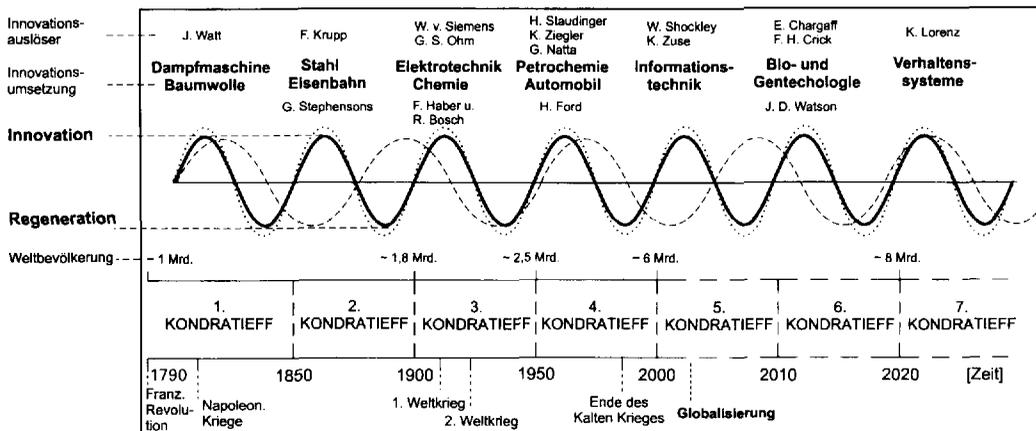


Abb. 0-1. Die Kondratieff-Zyklen – Rhythmische Innovationsfolgen im Laufe des Bevölkerungswachstums und ihrer Industrialisierung.

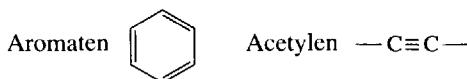
Europa in seinen vielen Flüssen genug. Auf ihnen konnten Rohstoffe und Endprodukte schnell und einfach transportiert werden. Ebenso waren die Flüsse Wasserspender für Kühlung, Reaktionsmedien und Reaktionskomponenten.

Mit der Nutzung der Kohle als Energiequelle wurde auch dem Abholzen der Wälder in Europa Einhalt geboten. Bis dahin war Holz neben der Wasserkraft der einzige Energielieferant. Die *Chemie des 19. Jahrhunderts* war eine *Kohlechemie*. Viele junge Chemieunternehmen dieser Zeit suchten ihr Glück in der Produktion von Farben. Das Kapitel der chemischen Industrie begann mit dem schwierigen Gebiet der *Aromatenchemie*.

Es bedurfte großer Anstrengungen, um eine entsprechende *Aliphatenchemie* auf Kohlebasis zu entwickeln. Die *Carbidchemie* legte dafür ein beredtes Zeugnis großen Erfindergeistes ab. Die Carbidchemie ist eine sehr energieaufwendige Chemie, da für die Kohlehydrierung der Wasserstoff aus dem Wasser bereitgestellt werden muß.

Die Geschichte der Primärchemikalien aus den verschiedenen Rohstoffquellen liest sich zusammengefaßt wie folgt:

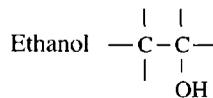
19. Jahrh. Kohlechemie:



20. Jahrh. Petrochemie:



ca. ab 1975 Chemie der nachwachsenden Rohstoffe:



Das Bemühen in der Rohstoffversorgung bestand immer darin, ausreichende C_2 - oder Aromatenbausteine, wie z. B. Acetylen, Ethylen usw., Benzol, Toluol, Xylole und Naphthaline, zur Verfügung zu haben.

0.2 Chemiestandorte in Deutschland

In Deutschland gibt es drei große Regionen mit Chemiestandorten. Sie befinden sich entlang des Rheins, südlich der Donau und in Mitteldeutschland zwischen Saale und Elbe. Die VEB-Chemiekombinate sind inzwischen in Aktiengesellschaften umgewandelt worden und befinden sich in einer Umstrukturierung.

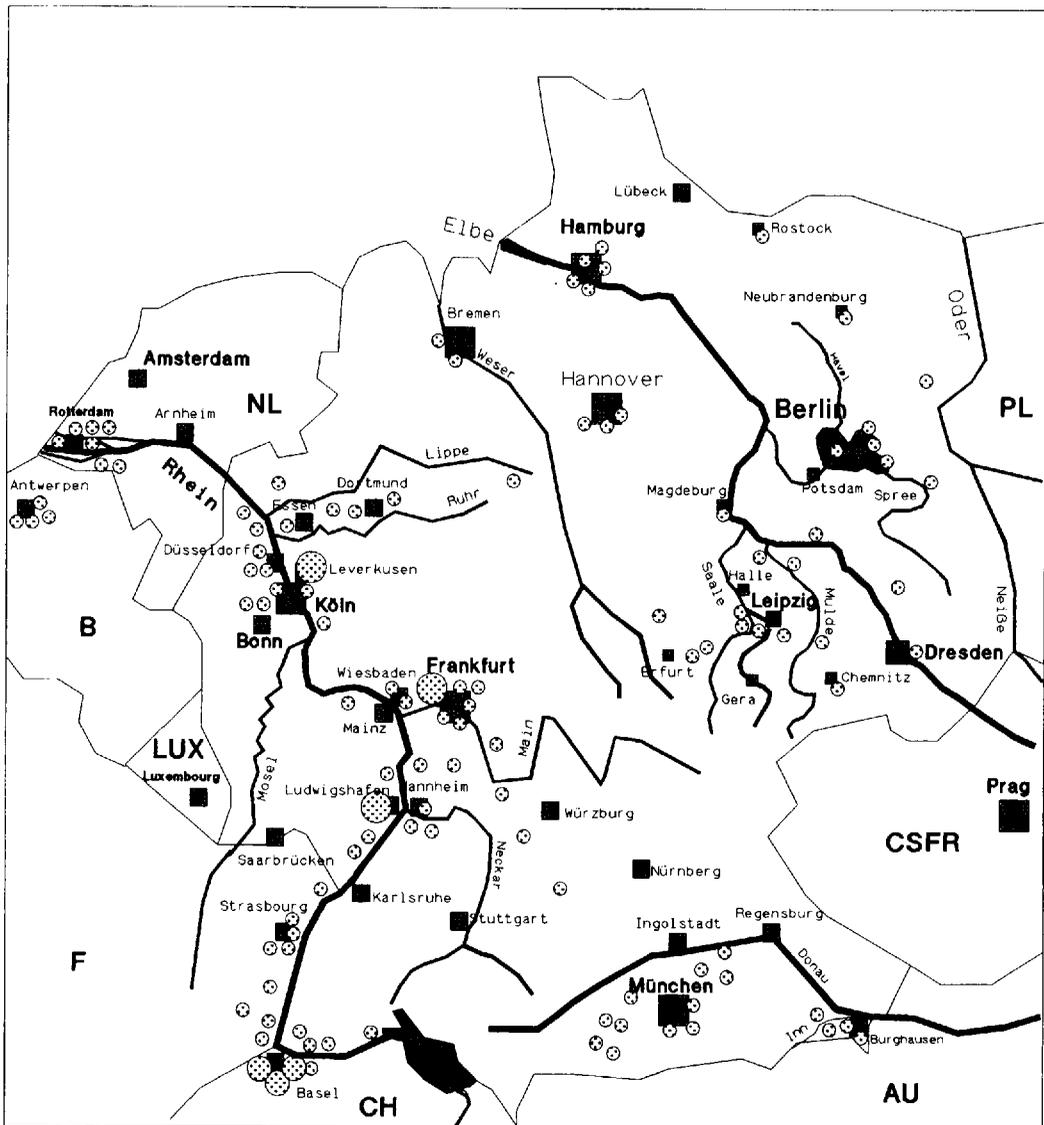


Abb. 0-2. Chemiestandorte entlang des Rheins und in Deutschland.

Rohstoff- und Energieversorgung, Transportmöglichkeiten, Markt- und Kundennähe, qualifizierte Fachkräfte und geeignete politische Rahmenbedingungen waren die Gründe, daß sich in den drei genannten Regionen Chemiefirmen ansiedelten, die sich im Laufe eines Jahrhunderts zu internationaler Bedeutung entfalteten.

Das Merkmal einer chemischen Produktion ist der Stoff- und Energieumsatz. Die Rohstoffe sollten sich entweder in der Nähe der chemi-

schen Fabriken befinden oder sich leicht transportieren lassen.

Bevorzugte Transportwege sind die Flüsse. So ist verständlich, warum sich in der Mitte des 19. Jahrhunderts zahlreiche Chemiebetriebe längs des Rheins und seiner Nebenflüsse, wie Neckar, Main oder Ruhr niedergelassen haben. Die Grundlage der Chemie im letzten Jahrhundert bis zum Ende des zweiten Weltkrieges war die Kohle. Im Ruhrgebiet gab es genug Steinkohle. Auf

Tab. 0-1. Beispiele von Gründungen chemischer Firmen (s. auch Abb. VIII-1, S. 736).

Name und Ort	Gründungsjahr	Erste Produkte
Geigy, Schweiz	1759	Handelshaus für Chemikalien
DuPont: E. J. du Pont de Nemours and Co., USA	1802	Schießpulver
Riedel de Haën, Seelze, seit 1995 zu Allied Signal gehörend	1814	Natriumsulfit, Antimonsalz
Merck AG, Darmstadt	1668 Apotheke 1827 Fabrik	Pflanzeninhaltsstoffe, Morphin
K. Oehler, Offenbach/M (Werk Offenbach der Hoechst AG), seit 1999 zu Clariant gehörend	1842	Teerdestillation, Zwischenprodukte für Farbstoffe
Rütgerswerke AG, Frankfurt/M	1849	Aromatische Kohlenwasserstoffe aus Kohle und Teer
Pfizer, USA	1849	Weinsäure, Kampfer
W. C. Heraeus, Hanau	1851	Chem.-techn. Apparate aus Platin-Gold, Platin-Rhodium
Schering, AG, Berlin	1853 Apotheke	Chemikalien für Photographie und Pharmazie
Chemische Werke Griesheim-Elektron, Frankfurt/M, seit 1999 zu Clariant gehörend	1856	Soda nach Leblanc, Schwefelsäure
Landwirtschaftlich-chemische und Leimfabrik, Biebrich a. Rhein, seit 1999 Industriepark Kalle-Albert	1858	Knochenleim, wasserlösliche Stickstoff- und Phosphordünger
Ciba, Schweiz	1859	Fuchsin
Boehinger Mannheim GmbH, Mannheim, seit 1998 Roche Diagnostics GmbH	1859	Chinin
Hoechst AG, Frankfurt/M	1863	Fuchsin, Anilinöl, seit 1999 in verschiedene Nachfolgefirmen aufgeteilt
Bayer AG, Leverkusen	1863	Fuchsin, Alizarin
Kalle und Co., Biebrich a. Rhein, seit 1999 Industriepark Kalle-Albert	1863	Fuchsin, Violett, Biebricher Scharlach
Solvay u. Cie. S. A., Belgien	1863	Soda
Dr. Theodor Schuchhardt, Görlitz (heute München)	1865	Org. und anorg. Präparate, photographische Chemikalien
BASF AG, Ludwigshafen	1865	Fuchsin, Anthrazenblau, Soda
Agfa (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation), Leverkusen (heute Bayer AG)	1870	Anilin, Fuchsin, Malachitgrün
Cassella AG, Frankfurt/M, seit 1999 zu Clariant gehörend	1870	Zwischenprodukte auf Basis Naphthalinderivate, Teerfarbstoffe
Degussa AG, Frankfurt/M	1873	Edelmetalle und deren Salze
Henkel KGaA, Düsseldorf	1876	Wasserglas, ATA
Eli Lilly a. Co., USA	1876 Apotheke	Pharmazeutika
Linde AG, Wiesbaden	1879	Luftzerlegung

Tab. 0-1. Fortsetzung.

Name und Ort	Gründungsjahr	Erste Produkte
Deutsche Gelatine Fabriken Gebrüder Koeppf, Göppingen, heute DGF Stoess, Eberbach	1880	Gelatine
Metallgesellschaft, Frankfurt/M, seit 2000 mg technologies	1881	Aufarbeitung von Erzen
Beiersdorf AG, Hamburg	1882	Hansaplast
Edison SpA, USA	1884	Elektr. Energie
C. H. Boehringer Sohn, Ingelheim	1885	Zitronensäure
Knoll und Co., Ludwigshafen (heute BASF AG)	1886	Alkaloide, Methylmorphin
Sandoz AG, Schweiz, 1998 in Novartis eingegangen	1886	Anilinfarbstoffe
Montecatini SpA, Italien	1888	Anorg. Chemikalien
Hoffmann-LaRoche und Co., Aktiengesellschaft, Schweiz	1896	Pharmazeutika
Tropon GmbH, Frankfurt/M – Boston USA	1897	Tropon aus Fleischfasern und Leguminosen
DOW Chemicals, USA	1897	Anorg. Produkte
Monsanto, USA	1901	Gummichemikalien
Norsk Hydro, Norwegen	1903	N-Düngemittel
Röhm GmbH, Darmstadt, ab 2001 zur neuen Degussa gehörend	1907	Chemikalien zur Lederbearbeitung
1. Ammoniakfabrik (BASF)	1912	Ammoniak
Wacker Chemie GmbH, München	1914	Essigsäure, Aceton
Roussel-Uclaf S. A., Frankreich	1920	Pharmazeutika
ICI Imperial Chemical Industries, England	1926 durch Zusammenschluß von 4 engl. Großfirmen	Farben, anorg. Chemikalien, Zwischenprodukte, Polymere, Pharmazeutika
Ruhrchemie AG, Oberhausen, seit 1999 zu Celanese gehörend	1927	Veredlung von Kohle
Rhône Poulenc S. A., Frankreich	1928 durch Fusion der Société des Usines du Rhône (1895) mit Etablissement Poulenc Frères (1858)	
Veba Oel AG, Gelsenkirchen, seit 2000 mit Viag zur E.on fusioniert	1935	Kohle-Hydrier-Benzin
Hüls Aktiengesellschaft, seit 2001 in neue Degussa eingegangen	1938	Synthesekautschuk
Ticona, Kelsterbach, seit 1999 zu Celanese gehörend	1961	Kunststoffe
Montedison SpA, Italien (aus Montecatini SpA und Edison SpA entstanden)	1966	Montecatini 1988 (Anorganika) Edison 1884 (Energie)
Ciba-Geigy AG, Schweiz (Fusion der beiden Firmen Ciba und Geigy)	1970	Farbhölzer, Fuchsin
Zeneca aus ICI hervorgegangen	1993	Pharmazeutika

Tab. 0-1. Fortsetzung.

Name und Ort	Gründungsjahr	Erste Produkte
Dystar GmbH, Frankfurt, Zusammenschluß der Geschäftsbereiche Textilfarben der BASF, Bayer und Hoechst AG	1995	Textilfarben
Astra Zeneca aus ICI und Astra	1995/98	Pharmazeutika
Novartis aus Ciba Geigy und Sandoz	1998	Pharmazeutika, Agrochemikalien
Clariant aus Ciba Geigy und Teile der Hoechst AG	1998	Fein- und Spezialchemikalien
Aventis aus Rhône Poulenc und Teile der Hoechst AG	1999	Pharmazeutika, Agrochemikalien
Syngenta AG, hervorgegangen aus Teilen von Novartis und Astra Zeneca	2000	Agrochemikalien
Degussa AG (neue), fusioniert aus Degussa Hüls und SKW	2001	Fein- und Spezialchemikalien, Biotechnologie, Baustoffchemikalien

dem Rhein konnte sie einfach und kostengünstig bis nach Basel transportiert werden. Als Ergänzung kam später die Braunkohle im Revier zwischen Köln und Aachen sowie das Braunkohlebecken zwischen Halle und Leipzig hinzu.

Das Chemiezentrum in Südbayern ist etwas jünger. Seine Gründung ist auf den billigen elektrischen Strom um die Jahrhundertwende zurückzuführen, der aus der Bewegungsenergie der Flüsse erhalten werden konnte (Abb. 0-2).

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Kohlechemie von der Petrochemie abgelöst. Als zusätzliche Transportwege wurden Pipelines gebaut, in denen Erdöl und Fertigprodukte wie z. B. Ethylen transportiert werden.

Das Rohölnetz in Deutschland hat zur Zeit eine Länge von 3000 km, von denen 2500 km im westlichen Teil liegen.

Der Chemieschwerpunkt in Mitteldeutschland orientiert sich im Tieflandbecken um das Gebiet Halle und Leipzig an den Flüssen Saale, Mulde und Elbe mit ihren Nebenflüssen.

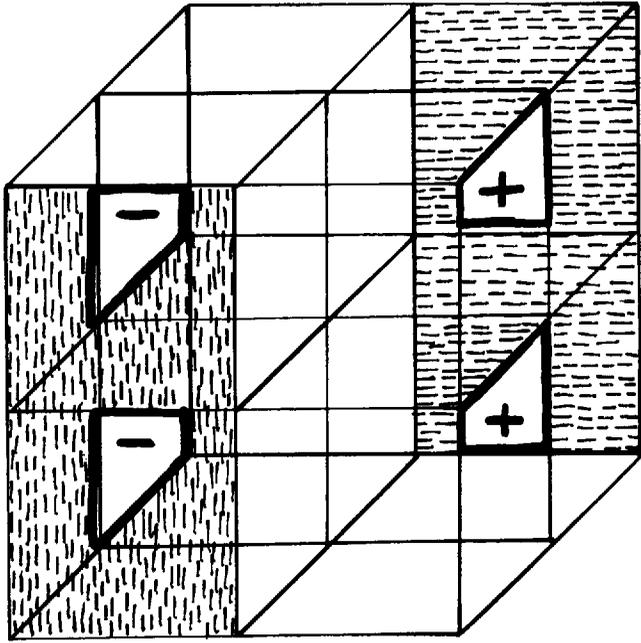
Dort dominierte noch die Acetylenchemie auf der Basis von Braunkohle. Die Petrochemie steckt noch in ihren Anfängen. Eine wichtige Erdölleitung kommt aus Rußland und gabelt sich bei Schwedt an der Oder in eine nördliche Richtung zum Ostseehafen Rostock und eine südliche in die Chemieregion Leipzig/Halle.

Vor der Wende am 9. November 1989 gab es in Ostdeutschland 14 VEB-Chemiekombinate, die im wesentlichen nach Produktklassen zusammengefaßt oder abgegrenzt waren. Diese VEB-Chemiekombinate waren in 100 Kombinatbe-

triebe gegliedert, die sich an 150 verschiedenen Standorten befanden. In ihnen waren 350 000 Menschen beschäftigt. Inzwischen wurden diese ehemaligen Chemiekombinate neu geordnet, verkleinert und teilweise in Aktiengesellschaften umgewandelt. Einige aus der Zeit vor der Spaltung Deutschlands herrührenden Bindungen und Freundschaften wurden wieder mobilisiert, um auf diese Weise die dritte Chemieregion Deutschlands zu modernisieren. Die BASF AG Ludwigshafen, Bayer AG Leverkusen, Degussa AG Frankfurt, Dralle GmbH Hamburg, Henkel KGaA Düsseldorf, Schering AG Berlin, SKW Trostberg AG, Wella AG Darmstadt und ausländische Firmen, wie Dow Chemical, Elf Aquitaine, um nur einige Beispiele zu nennen, entfalten ein reges Engagement auf dem Produktionssektor in dieser dritten Chemieregion Deutschlands.

Literaturhinweise:

- Kondratieff N. D. (1926), Die langen Wellen der Konjunktur, Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik Bd. 56, Nr. 3.
- Nefiodew L. A. (1997), Der sechste Kondratieff – Wege zur Produktivität und Vollbeschäftigung im Zeitalter der Information, 2. überarb. Aufl. Rhein-Sieg Verlag, St. Augustin.
- Hopp, V. (2000), Die Zukunft hat schon begonnen, CIT plus. Heft 3 u. 4.



This Page Intentionally Left Blank

I Chemische Grundlagen

- 1 Chemische Definitionen 12**
 - 1.1 Physikalische und chemische Vorgänge 12
 - 1.1.1 Physikalische Vorgänge 12
 - 1.1.2 Phase 12
 - 1.1.3 Dispersion 12
 - 1.1.4 Chemische Vorgänge 12
 - 1.2 Element und Atom als Begriff 13
 - 1.2.1 Element 13
 - 1.2.2 Das Atom und sein Aufbau 14
 - 1.2.3 Das Periodensystem der Elemente 14
 - 1.3 Die Atommasse 16
 - 1.3.1 Absolute Atommasse 16
 - 1.3.2 Relative Atommasse 16
 - 1.3.3 Isotope 16
 - 1.4 Molekül und Molekülmasse 19
 - 1.4.1 Molekül 19
 - 1.4.2 Molekülmasse 19
 - 1.4.3 Stoffmenge und molare Masse 20
 - 1.5 Die chemische Bindung 20
 - 1.6 Der Begriff der Wertigkeit 21
 - 1.7 Die chemische Reaktion 22
 - 1.7.1 Stoffumsatz 22
 - 1.7.2 Energieumsatz 22
 - 1.7.3 Oxidationsreaktionen mit Sauerstoff 24
 - 1.7.4 Reduktionsreaktionen 29
 - 1.8 Metalle 30
 - 1.8.1 Eigenschaften von Metallen 30
 - 1.8.2 Gewinnung von Metallen 30
 - 1.8.3 Halbmetalle 33
- 2 Wasser 34**
 - 2.1 Vorkommen 34
 - 2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften 36
 - 2.3 Physikalische Bezugsgrößen 36
- 3 Säuren 37**
 - 3.1 Schwefelsäure 37
 - 3.2 Schweflige Säure 37
 - 3.3 Phosphorsäure 37
 - 3.4 Salpetersäure 38
 - 3.5 Kohlensäure 38
 - 3.6 Salzsäure 39
 - 3.7 Eigenschaften von Säuren 39
- 3.8 Unterschiedliche Stärken von Säuren 40
- 4 Laugen oder Basen 42**
 - 4.1 Eigenschaften und Verhalten von Hydroxiden 42
 - 4.2 Unterschiedliche Stärken von Laugen 43
- 5 Der pH-Wert, ein Maß für die Wasserstoffionen-Konzentration 44**
 - 5.1 Definition des pH-Wertes 44
- 6 Neutralisationsreaktionen und Salzbildung 46**
 - 6.1 Neutralisation 46
 - 6.2 Eigenschaften von Salzen 46
- 7 Anorganische Oxoverbindungen – Wasserstoffperoxid und Perborate 48**
 - 7.1 Begriffsbestimmung 48
 - 7.2 Anorganische Oxosäuren und ihre Salze 48
 - 7.2.1 Natriumhypochlorit und Chlorkalk 48
 - 7.2.2 Chlorate 49
 - 7.2.3 Perchlorate 49
 - 7.2.4 Permanganate 50
 - 7.2.5 Chromate 50
 - 7.3 Peroxoverbindungen 50
 - 7.3.1 Großtechnische Herstellung von Wasserstoffperoxid 50
 - 7.3.2 Eigenschaften und Verwendung von Wasserstoffperoxid 52
 - 7.3.3 Metallperoxide 52
 - 7.3.4 Harnstoffperoxyhydrat 53
 - 7.3.5 Peroxoborate 53
 - 7.3.6 Natriumpercarbonat, NaPC 54
- 8 Kohlenwasserstoffe 56**
 - 8.1 Gesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe 56
 - 8.2 Ungesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe 60
 - 8.2.1 Die homologe Reihe der Alkene 60

10 I Chemische Grundlagen

- 8.2.2 Die homologe Reihe der Alkine 61
- 8.2.3 Kohlenwasserstoffe mit mehreren Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen 62

- 8.3 Cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe 62

9 Aromatische Verbindungen (Aromaten) 63

- 9.1 Aromatische Grundstruktur 63

- 9.1.1 Einkernige aromatische Kohlenwasserstoffe 63

- 9.1.2 Mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe 63

- 9.2 Heterocyklen 64

- 9.2.1 Fünfringe 64

- 9.2.2 Sechsringe 64

- 9.2.3 Kondensierte Heteroringsysteme 65

- 9.3 Funktionelle Gruppen 65

- 9.3.1 Herstellung substituierter Kohlenwasserstoffe 66

- 9.3.2 Reaktionen an funktionellen Gruppen 68

- 9.4 Chemische Reaktionen 70

- 9.4.1 Substitutionsreaktionen 70

- 9.4.2 Austausch- und Umwandlungsreaktionen 73

- 9.5 Herstellung und Weiterverarbeitung aromatischer Zwischenprodukte 79

- 9.6 Farbstoffe, Farbstoffe und Pigmente 81

- 9.6.1 Begriffsbestimmung 81

- 9.6.2 Anorganische Pigmente 81

- 9.6.3 Chemische und physikalische Eigenschaften der Pigmente 83

- 9.6.4 Optische Eigenschaften pigmentierter Anstriche, Kunststoffe, Betonstoffe usw. 84

- 9.6.5 Leuchtfarbstoffe 86

- 9.6.6 Chemische Herstellungsverfahren wichtiger Pigmente 86

- 9.6.7 Anorganische Füllstoffe 91

- 9.6.8 Chemische Herstellungsverfahren wichtiger Füllstoffe 93

- 9.7 Organische Farbstoffe 95

- 9.7.1 Die Entwicklung synthetischer Farbstoffe 95

- 9.7.2 Farblichkeit organischer Verbindungen 97

- 9.7.3 Qualitätsforderungen und Qualitätsmerkmale von Farbstoffen 98

- 9.7.4 Herstellung synthetischer Farbstoffe am Beispiel von Azofarbstoffen 99

- 9.7.5 Einteilung der organischen Farbstoffe 102

- 9.7.6 Das Färben von textilen Fasern 108

- 9.7.7 Organische Pigmente – Anwendungsgebiete 109

- 9.7.8 Farbstoffe für nichttextile Bereiche 111

- 9.7.9 Weißtöner 112

10 Grundbegriffe der Reaktionskinetik 113

- 10.1 Betrachtung einer chemischen Reaktion 113

- 10.2 Die Reaktionszeit 113

- 10.3 Die Reaktionsgeschwindigkeit 115

- 10.3.1 Allgemeines 115

- 10.3.2 Einfluß der Konzentration der Reaktionspartner auf die Reaktionsgeschwindigkeit 116

- 10.3.3 Reaktionsordnung 118

- 10.3.4 Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit 119

- 10.3.5 Aktivierungsenergie 120

- 10.3.6 Katalysatoren 121

- 10.3.7 Beispiel zur Bestimmung der Reaktionsordnung 121

- 10.4 Reversible und irreversible Reaktionen, Gleichgewichtszustand 122

- 10.5 Das Massenwirkungsgesetz 123

- 10.6 Vom Prinzip des gestörten Gleichgewichtes 123

- 10.7 Reaktionen mit vorgelagertem Gleichgewicht 125

- 10.7.1 Definition 125

- 10.7.2 Die Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid als Beispiel für ein vorgelagertes Gleichgewicht 125

- 10.7.3 Die Michaelis-Menten-Gleichung und die Michaelis-Menten-Konstante 126

- 10.7.4 Von einfachen zu komplexen Molekülstrukturen 128

- 10.8 Kriterien zur Beschreibung von Reaktionen in der chemischen Technik und in biologischen Systemen 130

- 10.8.1 Vergleich chemisch-technischer Systeme mit biologischen Systemen 130

- 10.8.2 Erläuterungen zu den Kriterien zu den Beschreibungskriterien von Reaktionen 130

11	Grundbegriffe aus der Thermodynamik	134
11.1	Thermodynamische Zustände und Systeme	134
11.2	Kinetik von Systemen	134
11.3	Die Verknüpfung der Thermodynamik mit der Reaktionskinetik	134
11.4	Energiebilanzierung	135
11.4.1	Der Heßsche Satz	135
11.4.2	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	135
11.4.3	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	136
11.4.4	Entropiebegriff	137
11.4.5	Freie Reaktionsenergie und freie Reaktionsenthalpie	138
11.4.6	Berechnung von Enthalpien und Entropien	139

12	Vergleichbare mathematische Funktionen zur Beschreibung von Prozessen in Natur und Technik	145
12.1	Zustandsfunktionen	145
12.2	Ausgleichsvorgänge	145
12.2.1	Das Gesetz für allgemeine Ausgleichsvorgänge	145
12.2.2	Ausgleichsvorgänge mit linearem Verlauf	147
12.2.3	Wachstumsprozesse	147
12.2.4	Abklingvorgänge	154
12.2.5	Überlagerungsprozesse	155
12.3	Die Zeit als Parameter in technischen, biologischen, soziologischen und ökonomischen Prozessen	158
12.3.1	Kinetik – Betrachtung zeitabhängiger Prozesse	159
12.3.2	Physikalische, biologische und psychologische Zeitmaße	159
12.3.3	Erfassen von komplexen Vorgängen – Zahl und Zeit	160

Literaturhinweise zu Teil I	162
------------------------------------	------------

1 Chemische Definitionen

1.1 Physikalische und chemische Vorgänge

1.1.1 Physikalische Vorgänge

Die Erscheinungsformen gasförmig, flüssig und fest werden unter dem Begriff Aggregatzustände zusammengefaßt. Die drei Aggregatzustände sind durch die Beweglichkeit der Einzelteilchen des Stoffes gekennzeichnet. Im festen Stoff sind die Einzelteilchen unbeweglich, im flüssigen Stoff sind sie gleitend, d. h. gegeneinander verschiebbar, und im gasförmigen Stoff sind sie frei beweglich.

Der Aggregatzustand eines Stoffes wird von seinem Energieinhalt bestimmt, der von Temperatur und Druck abhängt. Die Änderung des Aggregatzustandes ist ein physikalischer Vorgang.

1.1.2 Phase

Als Phase im physikalischen Sinne wird die Erscheinungsform eines in sich einheitlich (homogen) aufgebauten Stoffes bezeichnet. Sie hebt sich gegenüber ihrer Umgebung und anderen Phasen durch scharfe Trennungsf lächen ab.

Die Aggregatzustände gasförmig, flüssig, fest werden zugleich als verschiedene Phasen ange-

sehen. Dem festen Aggregatzustand eines Stoffes können aber mehrere Phasen entsprechen. Der im festen Aggregatzustand vorliegende Kohlenstoff kommt in den Phasen Diamant, Graphit der seltenen Fullerene* und in der teilweise amorphen Form der Kohle vor.

1.1.3 Dispersion

Liegt eine Phase in einer anderen feinverteilt vor, so spricht man von einer *Dispersion* (lat. Zerstreuung) oder auch von einem *dispersen* (feinverteilten) *System*. Die Phase, die den feinverteilten Stoff enthält, heißt *Dispersionsmittel*. Der feinverteilte Stoff selbst heißt *disperser* (oder *dispergierter*) *Bestandteil*. *Dispersionsmittel und disperser Bestandteil bilden das disperse System*. Einige wichtige disperse Systeme sind Tabelle I-1 zu entnehmen.

1.1.4 Chemische Vorgänge

Wasser, dem das 20fache der zur Verdampfung erforderlichen Energie zugeführt wird, verliert die für das Wasser oder auch für den Wasserdampf typischen Eigenschaften.

Aus dem einheitlichen Stoff Wasser sind zwei neue Stoffe mit völlig anderen Eigenschaften entstanden, nämlich Wasserstoff und Sauerstoff, die im Wassermolekül durch die *Bindungs-*

Tab. I-1. Beispiele wichtiger disperser Systeme.

Bezeichnung des Systems	Dispersionsmittel	Disperser Bestandteil
Rauch, Aerosol	gasförmig	fest
Nebel, Aerosol	gasförmig	flüssig
Schaum	flüssig	gasförmig
Emulsion	flüssig	flüssig
Sol, Suspension	flüssig	fest
fester Schaum	fest	gasförmig, flüssig, fest
Schlamm	flüssig (z. B. Wasser)	fest (z. B. Sand)

* Fullerene sind große Kohlenstoffmoleküle, die eine in sich geschlossene (räumliche) Käfigstruktur aufweisen. Der stabilste und auch bekannteste Vertreter ist das Buckminsterfulleren mit der Summenformel C_{60} .

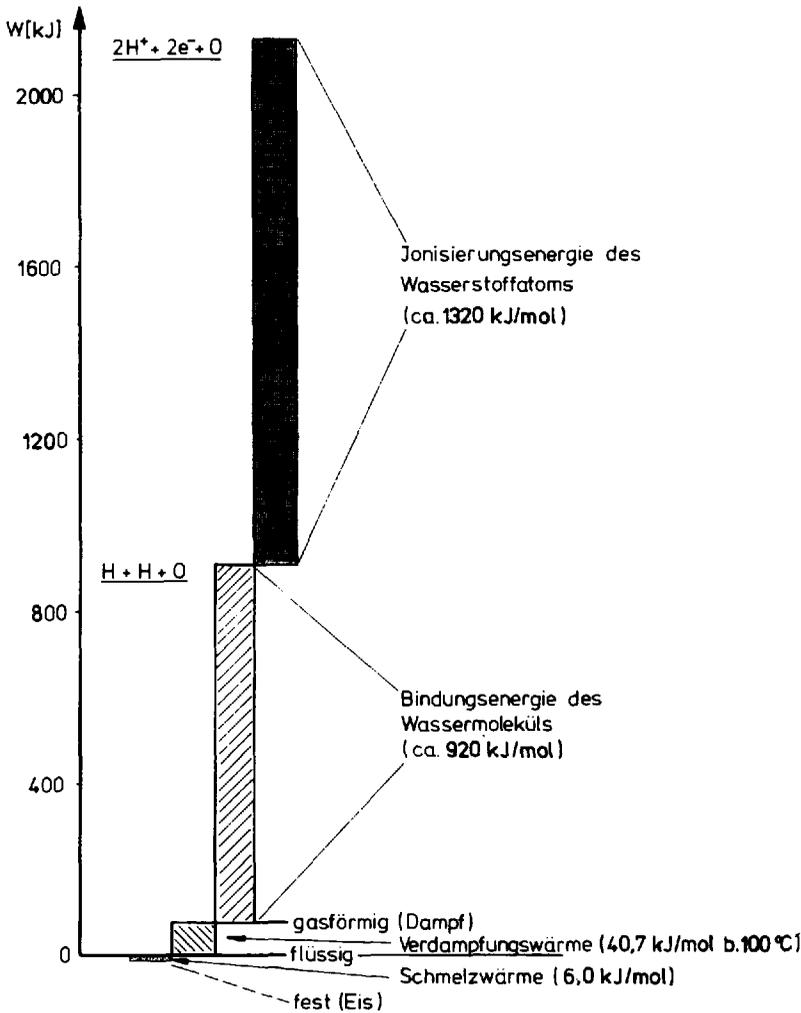


Abb. I-1. Vergleiche zwischen Energien von physikalischen und chemischen Vorgängen.

energie zusammengehalten wurden: Wasser ist also aus zwei anderen Stoffen zusammengesetzt (Abb. I-1).

Führt man einer dieser beiden Komponenten, d. h. entweder dem Sauerstoff oder dem Wasserstoff, noch mehr Energie zu, so tritt eine Spaltung in weitere Stoffe nicht mehr ein. Im Wasserstoff und im Sauerstoff müssen also elementare Stoffe vorliegen, die sich nicht mehr in weitere Komponenten aufspalten lassen.

Bei noch weiterer Zufuhr von Energie nehmen die Stoffe die Eigenschaften von elektrisch geladenen Teilchen an, wenn ihre Ionisierungsenergie überschritten wird.

Physikalische Vorgänge sind immer mit Änderung von Energieinhalten oder Energieformen verbunden. Bei chemischen Vorgängen treten neben Energieumsätzen stets Stoffumwandlungen auf.

1.2 Element und Atom als Begriff

1.2.1 Element

Der elementare Stoff „Wasserstoff“ oder das Element Wasserstoff muß also aus Teilchen zusam-

mengesetzt sein, die alle den gleichen Charakter haben. Diese Teilchen heißen Atome.

Ein Element ist demnach ein Stoff, der aus Atomen nur einer einzigen Art besteht, z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Eisen, Quecksilber.

In der Natur gibt es ca. 92 stabile Elemente. Sie sind die Bausteine für die uns umgebende belebte und unbelebte Natur. Wasserstoff und Sauerstoff sowie der in der Luft vorkommende Stickstoff sind solche Elemente. Als wichtige Elemente sollen weiterhin Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Fluor und Chlor genannt werden sowie die Metalle Eisen, Quecksilber, Kupfer, Gold, Blei, Silber und Platin. Dreizehn weitere Elemente sind künstlich hergestellt worden; sie kommen nicht in der Natur vor.

Dazu kommen weitere 15 Elemente, die aufgrund ihrer hohen Radioaktivität nur eine sehr kurze Existenzdauer, d. h. Halbwertszeit haben (Abb. I-2).

1.2.2 Das Atom und sein Aufbau

Die kleinste, mit chemischen Mitteln nicht weiter zerlegbare Einheit eines Elementes ist das Atom.

Ein Atom besteht aus einem Atomkern und einer Atomhülle. Ein Atomkern ist aus den Elementarteilchen Protonen und Neutronen zusammengesetzt. Die Atomhülle besteht aus Elektronen.

Die Anzahl der Protonen im Kern ist gleich der Anzahl der Elektronen in der Hülle.

Ein Element ist ein Stoff, der aus Atomen einer Art besteht, d. h. aus Atomen mit der gleichen Anzahl Protonen.

1.2.3 Das Periodensystem der Elemente

Die Eigenschaften der Elemente sind äußerst unterschiedlich, sie bedingen ja letztlich die Vielfalt der Natur. Zwischen dem leichten, explosiven Gas Wasserstoff und dem Gold liegt eine Welt. Aber schon ein flüchtiger Vergleich zeigt, daß bestimmte Merkmale in ähnlicher Form immer wieder vorkommen: Man kann die Elemente in Familien oder „Gruppen“ einteilen. Eine Gruppenbildung liegt schon vor, wenn zwischen Wasserstoff als Gas und Gold als Metall unterschieden wird. Eine solche Einteilung kann man verfeinern. Als das eigentlich entscheidende Merkmal stellte sich schließlich die Protonenzahl im Kern der Atome heraus.

Ordnet man die Elemente nach steigender Anzahl der Protonen im Kern, so ergibt sich eine

periodische Änderung der Elementeneigenschaften. Ein darauf gegründetes Ordnungsschema heißt das Periodensystem der Elemente. Die Anzahl der Protonen im Kern, die diese Ordnung bewirkt, heißt Ordnungszahl (Abb. I-2).

Die waagrechten Reihen des Periodensystems, in denen sich die Eigenschaften der Elemente periodisch ändern, heißen Perioden. Die senkrechten Spalten heißen Gruppen. Die in einer Gruppe untereinander stehenden Elemente haben ähnliche chemische und teilweise auch ähnliche physikalische Eigenschaften.

Dabei ergeben sich 8 Gruppen, die man von links nach rechts zählt und mit der entsprechenden Gruppennummer versieht. Ganz links im Periodensystem steht die Gruppe I mit den Alkalimetallen. Die Gruppe ganz rechts mit den Edelgasen wird allerdings meist als Gruppe 0 (Null) bezeichnet. Erdalkalimetalle und Halogene sind andere wichtige Gruppen.

Die Ordnungszahl bestimmt über den Aufbau der Elektronenhülle die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Elemente.

Die Elektronenhülle besteht aus einzelnen Schalen oder Schichten (Orbitalen)*, die mit Elektronen besetzt sind. Die Elektronen der jeweils äußersten Schale eines Elementes bestimmen dessen chemische Eigenschaften. Elektronen bewirken die chemischen Bindungen. Die Anzahl der Elektronen in der Außenschale legt fest, wie viele Bindungen ein Atom eingehen kann oder welche Wertigkeit es hat. Die nähere Betrachtung führt auf ein interessantes Ergebnis.

Die Gruppennummer legt die maximale Wertigkeit der Elemente in der betreffenden Gruppe fest.

Bei den Edelgasen ist die Außenschale gerade bis zur maximalen Anzahl von Elektronen, die auf dieser Schicht „Platz“ haben, aufgefüllt. Hier besteht nur eine äußerst geringe Neigung, Elektronen aufzunehmen oder abzugeben, und daher sind die Edelgase in der Regel „nullwertig“, d. h. nur schwer zur Reaktion zu bringen. Dagegen sind die im Periodensystem davor- und danachstehenden Elemente gerade besonders reaktionsfähig, weil sie leicht ein Elektron aufnehmen bzw. abgeben können.

Wir müssen unsere Diskussion an dieser Stelle abbrechen und auf eine weitere Erörterung des Feinbaus der Elektronenhülle und der Regelmäßigkeit des Periodensystems verzichten. Es war das Ziel dieses Abschnitts, ein grundsätzliches Verständnis für den Bauplan der Atome zu vermitteln.

* orbis (lat.) = Kreis