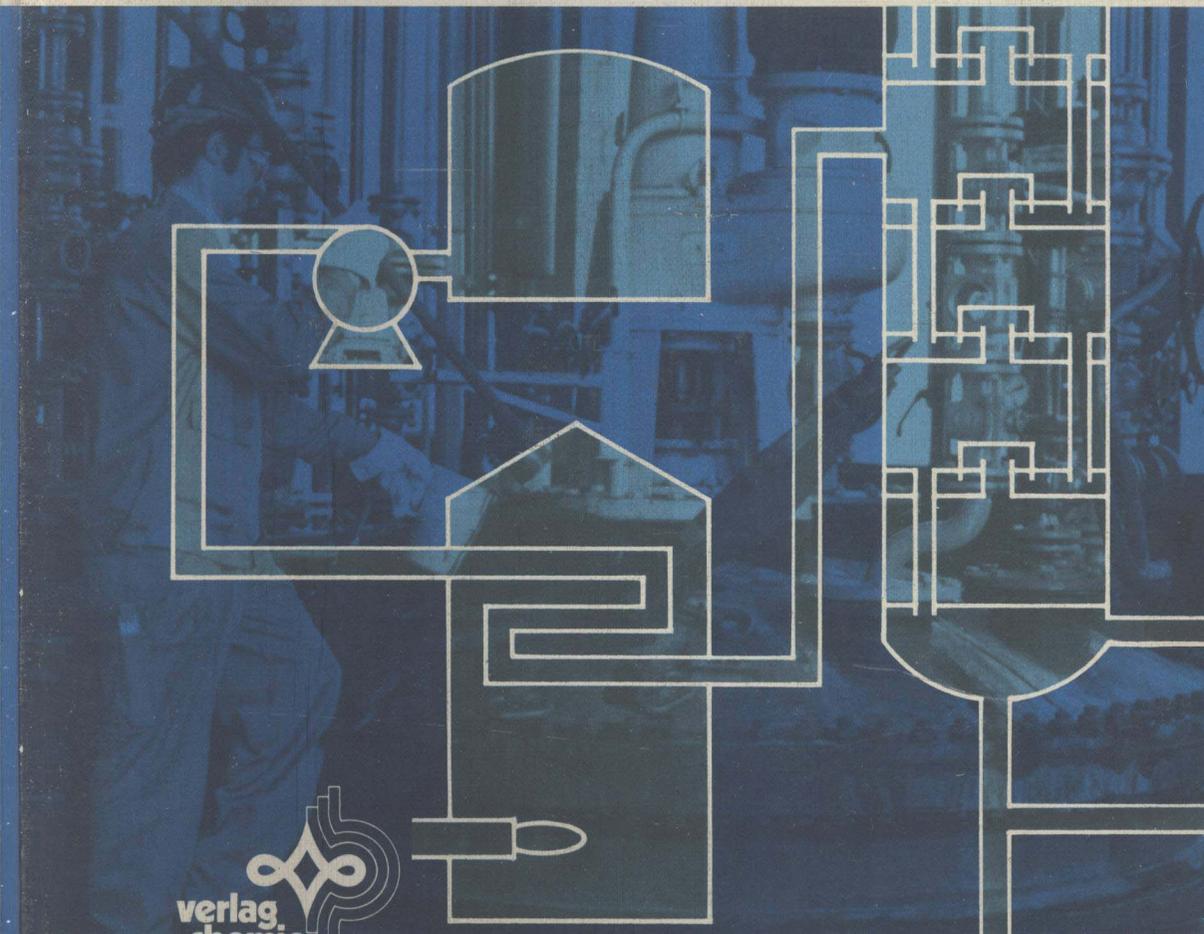


Vollrath Hopp

# Grundlagen der chemischen Technologie

für die  
betriebliche  
Ausbildung



# Grundlagen der chemischen Technologie

für die betriebliche Ausbildung

Vollrath Hopp

unter Mitarbeit von  
Dipl.-Ing. G. Loos  
Ing. (grad.) H. Mayer  
Chem. Techn. F. Merz  
Dipl.-Ing. H. W. Naundorf  
Dipl.-Ing. E. Stärz  
Dipl.-Ing. H. Winterer

Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage



Prof. Dr.-Ing. Vollrath Hopp  
Hoechst AG  
Postfach 800 320  
6230 Frankfurt 80

1. Auflage 1978
- 2., überarbeitete und erweiterte Auflage 1984
1. französische Auflage 1979
1. Nachdruck der 1. französischen Auflage 1980
1. spanische Auflage 1984, erschienen im Verlag Editorial Reverté, S. A., Barcelona

Verlagsredaktion: Dr. Hans F. Ebel  
Herstellerische Betreuung: Dipl.-Ing. (FH) Hans Jörg Maier

Dieses Buch enthält 278 Abbildungen und 38 Tabellen.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Hopp, Vollrath:**

Grundlagen der chemischen Technologie für die betriebliche Ausbildung/Vollrath Hopp. Unter Mitarb. von G. Loos ... - 2., überarb. u. erw. Aufl. - Weinheim; Deerfield Beach, Florida; Basel: Verlag Chemie, 1984.

Franz. Ausg. u.d.T.: Hopp, Vollrath: Bases de technologie chimique pour la formation dans l'entreprise

1. Aufl. u.d.T.: Hopp, Vollrath: Grundlagen für die chemische Technologie in der betrieblichen Ausbildung

ISBN 3-527-26110-9

© Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, 1984

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, Mikroverfilmung 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 nicht eigens als solche markiert sind.

Gesamtherstellung: SDV Saarbrücker Druckerei und Verlag GmbH, D-6600 Saarbrücken  
Printed in the Federal Republic of Germany

## Zum Geleit

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 ersten Auflage

Sieht man sich auf dem Markt für chemische Lehrbücher um, so stellt man fest, daß für Schüler allgemeinbildender Schulen sowie für Studenten ein reichhaltiges Angebot vorliegt. Für die Auszubildenden in der betrieblichen Berufsausbildung ist es dagegen nicht so gut bestellt.

Mit den „Grundlagen für die chemische Technologie“ wird ein lehr- und Unterrichtsbuch für den Nachwuchs in der chemischen Industrie vorgelegt, der sich durch betriebliche Berufsbildung insbesondere für die Arbeit in chemischen Betrieben qualifizieren will.

Dieses Buch wurde in erster Linie für Facharbeiter, Meister, Laboranten und Techniker geschrieben, also für diejenigen Mitarbeiter eines chemischen Unternehmens, die die in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen erarbeiteten Methoden in die Praxis umzusetzen helfen und ohne die eine Knowhow-Entwicklung nicht möglich ist.

Entsprechend wurde die Stoffwahl getroffen. Das Buch gliedert sich in sechs Kapitel:

- I. Chemische Grundlagen
- II. Physikalische Grundlagen
- III. Produktionsverfahren zur Herstellung von chemischen Grundprodukten
- IV. Grundlagen der Maschinenkunde in der chemischen Technik
- V. Messen — Steuern — Regeln
- VI. Grundlagen der Arbeitssicherheit

Die einzelnen Kapitel sollen bewußt nur ein Grundwissen vermitteln, auf Spezialwissen ist verzichtet worden.

Jedes Kapitel endet mit einem Testfragenanhang, damit der Lernende beim Selbststudium die Möglichkeit hat, seinen Kenntnisstand zu überprüfen.

In diesem Buch ist weiterhin der Versuch unternommen worden, nicht nur die chemischen Stoffumsetzungen, sondern auch den damit verbundenen Energieumsatz zu behandeln und immer wieder darauf hinzuweisen.

Stoff- und Energieumsatz zusammen mit chemischer Apparatechnik sind die Merkmale einer chemischen Produktion. Diese Merkmale ergaben auch das Konzept für die Themenwahl dieses Buches.

Der Text wurde so formuliert, daß er vor allem für die praktisch begabten Lernenden leicht zu verstehen ist.

## VIII *Vorwort*

Auch für die Studenten an Fach- und Fachhochschulen ist dieses Buch als Einstieg in die chemische Technologie zu empfehlen und für alle diejenigen, die nur am Rande mit der chemischen Technologie zu tun haben und sich schnell und leicht im Basiswissen orientieren möchten.

Für die sorgfältige Durchsicht der einzelnen Kapitel und wertvollen Hinweise sei an dieser Stelle Dipl.-Ing. R. Erb, Ffm.-Höchst, gedankt. Auch Herrn Dr. M. Schönberg, Ffm.-Höchst, bin ich zu besonderem Dank verpflichtet. Herr Dr. Schönberg hat die Mühe auf sich genommen, die Werte für die Reaktionsenthalpien nachzurechnen.

Frau Dipl.-Ing. U. Conrad danke ich für die Mitwirkung beim Erstellen des Sachregisters.

Im Namen aller Autoren möchte ich auch Frau M. Weber für das mühevollen Schreiben der Manuskripte und Korrekturen danken.

Frankfurt (M)-Höchst, im Dezember 1977

Vollrath Hopp

## Vorwort zur zweiten Auflage

Die Chemie ist eine Wissenschaft, die sich mit Energie-, Stoff- und Informationsumwandlungen und der Stoffcharakterisierung beschäftigt.

Die Technologie setzt diese Verfahren unter Anwendung natur- und ingenieurwissenschaftlicher Gesetze in den industriellen Maßstab um. Sie bildet damit eine wichtige Voraussetzung zur Sicherung der materiellen Lebensgrundlagen der Menschheit, sie dient der Versorgung einer noch zunehmenden Weltbevölkerung mit Energie, Nahrung, Produkten der Gesundheitspflege, Kleidung und Information.

Die Aufgabe der chemischen Technik ist es, neue Stoffe auf ihre anwendungstechnischen Eigenschaften zu prüfen und geeignete Produkte unter kostengünstigen Bedingungen zur Produktionsreife zu entwickeln. Die chemische Technologie schafft auch die Voraussetzungen für umweltangepaßte Produktionsverfahren.

Diese Aufgaben der industriellen Chemie erfordern in allen Arbeitsbereichen qualifizierte Fachkräfte.

Dieses Lehrbuch mit dem – für die vorliegende 2. Auflage leicht geänderten – Titel „Grundlagen der chemischen Technologie für die betriebliche Ausbildung“ soll Facharbeitern, Meistern, Laboranten und Technikern die Möglichkeit bieten, die erforderlichen fachübergreifenden Kenntnisse für Tätigkeiten in der chemischen Produktion und im Anlagenbau zu erwerben.

In die chemische Technik wirken Grundlagenkenntnisse mehrerer benachbarter Disziplinen hinein, sie müssen im Zusammenhang gesehen werden. In diesem Sinne wurde das Ziel der 1. Auflage, die Produktionsabläufe und die dazugehörigen Maschinen, Apparate und Instrumente in ihrer Beziehung zu chemischen und physikalischen Grundgesetzen zu zeigen, weiter verfolgt.

Die volle Automatisierung kontinuierlicher Verfahren und die speicherprogrammierbare Steuerung von Chargenprozessen bestimmen heute die Produktions- und Fertigungsmethoden in der chemischen Prozeßtechnik. Dieser fast revolutionär verlaufenden Entwicklung wird durch das erweiterte und aktualisierte Kapitel „Messen – Steuern – Regeln“ Rechnung getragen.

Die Sicherheit chemischer Arbeitsweisen hängt von der Zuverlässigkeit der im Maschinen- und Apparatebau verwendeten Werkstoffe und von der Anlagenkonstruktion ab, ebenso sehr aber auch vom umsichtigen Verhalten der Fachkräfte, die mit Chemikalien umgehen und die Produktionsanlagen bedienen und warten. Diese

Aspekte werden im überarbeiteten Kapitel „Grundlagen der Arbeitssicherheit“ berücksichtigt. Zahlreiche Abbildungen von Hinweisschildern und Gebots- bzw. Verbotstafeln vervollständigen dieses Kapitel V.

In den Teil III dieser Auflage sind die Themen „Chemie und Umwelt“ und „Biotechnologie“ aufgenommen worden. Die einzelnen Herstellungsverfahren für Grund- und Primärchemikalien sind neu angeordnet und noch mehr unter energetischen Gesichtspunkten abgehandelt worden, der Kohle als zukünftiger Chemierohstoffquelle wurde größere Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Grundlagen der Maschinenkunde sind um die Themen „Mischen und Dosieren“ ergänzt worden. Das Funktionsprinzip des Biohoch-Reaktors und – unter dem Gesichtspunkt des Wärmetausches und der Energiewandlung – das der Wärmepumpen und Kältemaschinen wurde beschrieben.

Neu in dieser 2. deutschen Auflage sind die Literaturhinweise am Schluß der Teile I bis VI. Sie sollen den angehenden Fachmann anregen, sich selbständig der Fachliteratur zu bedienen.

Jedem Teil des Buches ist wieder eine Sammlung von programmierten Testfragen angefügt. Sie sind zur Selbstüberprüfung des Lernenden gedacht.

Dieses Buch wendet sich nicht nur an die angehenden Praktiker in der chemischen Industrie und im Anlagenbau, die den Weg über die berufliche Aus- und Weiterbildung gehen, sondern auch an Studenten der Fachhochschulen und Hochschulen in den ersten Semestern. Darüber hinaus bietet es Ingenieuren und technischen Kaufleuten, die der chemischen Technik von ihrer Ausbildung und Tätigkeit her ferner stehen, die Möglichkeit einer raschen ersten Information. Ganz allgemein wurde wieder versucht, Formulierungen zu finden, die auch dem weniger theoretisch Interessierten die technischen Zusammenhänge verständlich werden lassen.

Ein besonderer Dank sei an dieser Stelle wieder Herrn Dr. M. Schönberg, Hoechst AG, gesagt, der wertvolle Hilfe bei der Berechnung der Reaktionsenthalpie gegeben hat. Herrn Dipl.-Ing. G. Scheinkönig danke ich für das sorgfältige Korrekturlesen.

Herr J. Knödgen hat sich um die fachgerechte Anfertigung der Skizzen und Fließschemata verdient gemacht. Auch ihm gebührt dafür Dank.

Für das mühevollen Schreiben der Manuskripte möchte ich im Auftrage aller Autoren Fräulein S. Stoye und Fräulein Ch. Harbeck einen herzlichen Dank aussprechen.

# Inhalt

<b>I Chemische Grundlagen</b> .....	3
1 Chemische Definitionen .....	5
2 Wasser .....	36
3 Säuren .....	46
4 Laugen oder Basen .....	54
5 Der pH-Wert, ein Maß für die Wasserstoffionen-Konzentration .....	58
6 Neutralisationsreaktionen und Salzbildung .....	61
7 Organische Verbindungen .....	66
8 Kohlenwasserstoffe .....	67
9 Aromatische Verbindungen (Aromaten) .....	80
10 Grundbegriffe der Reaktionskinetik .....	104
Testfragen zum Teil I „Chemische Grundlagen“ .....	117
Literaturhinweise zum Teil I .....	129
<b>II Physikalische Grundlagen</b> .....	133
1 Messen in der Physik .....	135
2 Mechanik fester Körper .....	155
3 Mechanik der Flüssigkeiten .....	168
4 Mechanik der Gase .....	179
5 Grundzüge der Bewegungslehre .....	187
6 Wärmelehre .....	191
7 Elektrizitätslehre .....	211
Testfragen zum Teil II „Physikalische Grundlagen“ .....	227
Literaturhinweise zum Teil II .....	240
<b>III Produktionsverfahren zur Herstellung von chemischen Grundprodukten</b> ..	243
1 Der Stoff- und Energieumsatz in der chemischen Industrie .....	246
2 Vom Steinsalz zum Chlor und zur Natronlauge .....	293
3 Methanchlorierung .....	296
4 Schwefelsäureherstellung nach dem Doppelkontaktverfahren .....	299
5 Vom Rohphosphat zur Phosphorsäure .....	303
6 Aluminiumgewinnung .....	313
7 Vom Luftstickstoff über Ammoniak zum Düngemittel .....	318
8 Harnstoffsynthese .....	330
9 Die Synthesegaschemie .....	333
10 Ethylen und Propylen als Schlüsselprodukte .....	342
11 Die Herstellung von Bioprotein .....	350
12 Chemie und Umwelt .....	357
13 Die Chemie des Erdöls und der Kohle .....	372
Testfragen zum Teil III „Produktionsverfahren zur Herstellung von chemischen Grundprodukten“ .....	386
Literaturhinweise zum Teil III .....	397

<b>IV Grundlagen der Maschinenkunde in der chemischen Technik</b> .....	405
1 Werkstoffe .....	407
2 Schraubenverbindungen .....	413
3 Rohre und Rohrleitungen .....	416
4 Absperrvorrichtungen .....	424
5 Weitere Armaturen .....	433
6 Dichtungen an Wellen .....	434
7 Lagerung und Förderung von festen Stoffen .....	436
8 Lagerung und Förderung von Flüssigkeiten .....	442
9 Lagerung und Förderung gasförmiger Stoffe .....	450
10 Dosieren .....	455
11 Heizung und Kühlung .....	460
12 Trennung auf thermischem Wege .....	469
13 Mechanische Trennung von Feststoffen und Flüssigkeiten .....	473
14 Trocknen .....	481
15 Zerkleinern .....	486
16 Klassieren von Feststoffen .....	490
17 Mischen .....	493
18 Reaktionsapparate .....	506
Testfragen zum Teil IV „Grundlagen der Maschinenkunde in der chemischen Technik“ .....	517
Literaturhinweise zum Kapitel IV .....	529
<b>V Messen – Steuern – Regeln</b> .....	533
1 Meßumformer .....	534
2 Druckmessung .....	535
3 Standmessung .....	537
4 Durchflußmessung .....	542
5 pH-Wert-Messung .....	545
6 Temperaturmessung .....	547
7 Membranregelventil .....	551
8 Regelstrecken .....	552
9 Regler .....	552
10 Leitgerät .....	567
11 Steuerungen .....	568
Testfragen zum Teil V „Messen – Steuern – Regeln“ .....	576
Literaturhinweise zum Teil V .....	583
<b>VI Grundlagen der Arbeitssicherheit</b> .....	587
0 Auszug aus „Richtlinien für Laboratorien“ (Kapitel 5) der BG Chemie ..	588
1 Unfallsicheres Arbeiten, eine fachliche Leistung .....	592
2 Feststellung von Unfallgefahren im Betrieb .....	593
3 Persönliche Körperschutzmittel .....	594
4 Leitern und Gerüste .....	599
5 Transport .....	600

6	Lagern und Stapeln	601
7	Arbeiten an laufenden Maschinen	602
8	Arbeiten mit ätzenden Stoffen	605
9	Gesundheitsschädlicher Staub	606
10	Giftige und gesundheitsschädigende Feststoffe und Flüssigkeiten	607
11	Gase und Dämpfe	609
12	Brand- und Explosionsgefahr	615
13	Gefahren durch Druck	625
14	Gefahren durch elektrischen Strom	629
15	Sicherheitszeichen nach DIN 4844 und der Unfallverhütungsvorschrift 1.4	634
16	Schlußbemerkung	640
	Testfragen zum Teil VI „Grundlagen der Arbeitssicherheit“	641
	Literaturhinweise zum Teil VI	647
	<b>Richtige Antworten zu den Testfragen</b>	649
	<b>Register</b>	653



Teil eines Chemielaboratoriums.



# I Chemische Grundlagen

- 1 *Chemische Definitionen* 5
  - 1.1 Physikalische und chemische Vorgänge 5
    - 1.1.1 Physikalischer Vorgang 5
    - 1.1.2 Phase 5
    - 1.1.3 Dispersion 6
    - 1.1.4 Chemischer Vorgang 6
  - 1.2 Element und Atom als Begriff 7
    - 1.2.1 Element 7
    - 1.2.2 Die chemischen Symbole 8
    - 1.2.3 Das Atom und sein Aufbau 8
    - 1.2.4 Die Atome eines Elements 9
    - 1.2.5 Das Periodensystem der Elemente 9
  - 1.3 Die Atommasse 12
    - 1.3.1 Absolute Atommasse 12
    - 1.3.2 Relative Atommasse 14
    - 1.3.3 Isotope 14
  - 1.4 Molekül und Molekülmasse 16
    - 1.4.1 Molekül 16
    - 1.4.2 Molekülmasse 17
    - 1.4.3 Stoffmenge und molare Masse 17
  - 1.5 Chemische Bindung und Bindungsenergie 18
    - 1.6 Der Begriff der Wertigkeit 19
    - 1.7 Die chemische Reaktion 22
      - 1.7.1 Stoffumsatz 22
      - 1.7.2 Energieumsatz 23
        - 1.7.2.1 Energiebilanz 23
        - 1.7.2.2 Reaktionswärme (Reaktionsenthalpie) 24
    - 1.7.3 Oxidationsreaktionen mit Sauerstoff 26
      - 1.7.3.1 Schnelle Oxidationen 26
      - 1.7.3.2 Langsame Oxidationen 30
  - 1.8 Nichtmetalle 32
    - 1.8.1 Atomare Nichtmetalle 33
    - 1.8.2 Molekulare Nichtmetalle 33
  - 1.9 Metalle 34
    - 1.9.1 Vorkommen der Metalle 35
    - 1.9.2 Reaktionsverhalten der Metalle 35
  - 1.10 Halbmetalle 35
- 2 *Wasser* 36
  - 2.1 Vorkommen 36
  - 2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften 36
  - 2.3 Physikalische Bezugsgröße 37
  - 2.4 Wasserwirtschaft 37
    - 2.4.1 Kreislauf des Wassers 38
    - 2.4.2 Natürliche Wasserarten 38
  - 2.5 Aufbereitung des natürlichen Wassers nach Verwendungszweck 39
    - 2.5.1 Trinkwasser 39
    - 2.5.2 Destilliertes Wasser 39
    - 2.5.3 Wasser für technische Zwecke 39
      - 2.5.3.1 Enthärtung 40
      - 2.5.3.2 Entsalzung 41
    - 2.6 Wasser in einem Chemiewerk 42
      - 2.6.1 Der Wasserhaushalt in einem Chemieunternehmen 42
      - 2.6.2 Wasser als Rohstoff 43
      - 2.6.3 Wasser als Prozeßwasser 43
      - 2.6.4 Abwasser 44
        - 2.6.4.1 Natürliches Gleichgewicht in Gewässern, Wasserverschmutzung 44
        - 2.6.4.2 Abwasserreinigung 45
    - 2.7 Der Wasserbedarf in Privathaushalten 45
- 3 *Säuren* 46
  - 3.1 Schwefelsäure 46
  - 3.2 Schweflige Säure 47
  - 3.3 Phosphorsäure 47
  - 3.4 Salpetersäure 48
  - 3.5 Kohlensäure 48
  - 3.6 Salzsäure 49
  - 3.7 Eigenschaften und Verhalten von Säuren 49
  - 3.8 Unterschiedliche Stärken von Säuren 52
- 4 *Laugen oder Basen* 54
  - 4.1 Eigenschaften und Verhalten von Hydroxiden 54
    - 4.1.1 Spezielle Hydroxide 56
  - 4.2 Unterschiedliche Stärken von Laugen 57
- 5 *Der pH-Wert, ein Maß für die Wasserstoffionen-Konzentration* 58
  - 5.1 Definition des pH-Wertes 58
  - 5.2 pH-Wert-Bestimmung 60
- 6 *Neutralisationsreaktionen und Salzbildung* 61
  - 6.1 Neutralisation 61
  - 6.2 Verschiedene Möglichkeiten der Salzbildung 62
  - 6.3 Eigenschaften von Salzen 62
  - 6.4 Nomenklatur von Salzen 63
  - 6.5 Elektrolyte und Elektrolyse 65
- 7 *Organische Verbindungen* 66
  - 7.1 Aufbau organischer Verbindungen 66

- 8 *Kohlenwasserstoffe* 67
- 8.1 Gesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe 67
  - 8.1.1 Die homologe Reihe der Alkane (Paraffine) 68
    - 8.1.1.1 Methan 69
    - 8.1.1.2 Ethan, Propan, Butan 70
    - 8.1.1.3 Höhere Alkane 71
    - 8.1.1.4 Isomere Verbindungen 71
    - 8.1.1.5 Nomenklatur der Alkane 73
  - 8.2 Ungesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe 75
    - 8.2.1 Die homologe Reihe der Alkene 75
      - 8.2.1.1 Ethen (Ethylen) 76
      - 8.2.1.2 Propen (Propylen) 76
    - 8.2.2 Die homologe Reihe der Alkine 76
      - 8.2.2.1 Ethin (Acetylen) 77
    - 8.2.3 Kohlenwasserstoffe mit mehreren Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen 78
- 8.3 Cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe 79
- 8.4 Aromatische Kohlenwasserstoffe 79
- 9 *Aromatische Verbindungen (Aromaten)* 80
  - 9.1 Aromatische Grundstruktur 80
    - 9.1.1 Einkernige aromatische Kohlenwasserstoffe 81
    - 9.1.2 Mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe 81
  - 9.2 Heterocyclus 82
    - 9.2.1 Fünfringe 82
    - 9.2.2 Sechsringe 82
    - 9.2.3 Kondensierte Heteroringsysteme 83
  - 9.3 Funktionelle Gruppen 83
    - 9.3.1 Übersicht über wichtige funktionelle Gruppen 84
      - 9.3.1.1 Sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen 84
      - 9.3.1.2 Stickstoffhaltige funktionelle Gruppen 85
      - 9.3.1.3 Schwefelhaltige funktionelle Gruppen 85
      - 9.3.1.4 Halogenhaltige funktionelle Gruppen 85
    - 9.3.2 Herstellung substituierter Kohlenwasserstoffe 86
      - 9.3.2.1 Direkte Substitution an aliphatischen Kohlenwasserstoffen 86
      - 9.3.2.2 Addition an ungesättigte Kohlenwasserstoffe 86
      - 9.3.2.3 Austauschreaktionen an substituierten Kohlenwasserstoffen 87
    - 9.3.3 Reaktionen an funktionellen Gruppen 87
      - 9.3.3.1 Sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen 87
      - 9.3.3.2 Stickstoffhaltige funktionelle Gruppen 89
      - 9.3.3.3 Sulfonsäuregruppe 90
  - 9.4 Chemische Reaktionen 90
    - 9.4.1 Substitutionsreaktionen 91
      - 9.4.1.1 Chlorierung 91
      - 9.4.1.2 Sulfonierung 91
      - 9.4.1.3 Nitrierung 92
      - 9.4.1.4 Alkylierung 92
      - 9.4.1.5 Mehrfachsubstitution, Isomerie, Nomenklatur 93
    - 9.4.2 Austausch- und Umwandlungsreaktionen 95
      - 9.4.2.1 Austauschreaktionen 95
      - 9.4.2.2 Umwandlungsreaktionen 97
  - 9.5 Herstellung und Weiterverarbeitung aromatischer Zwischenprodukte 103
- 10 *Grundbegriffe der Reaktionskinetik* 104
  - 10.1 Betrachtung einer chemischen Reaktion 104
  - 10.2 Die Reaktionszeit 105
    - 10.2.1 Konzentration-Zeit-Kurve 106
  - 10.3 Die Reaktionsgeschwindigkeit 107
    - 10.3.1 Allgemeines 107
    - 10.3.2 Einfluß der Konzentration der Reaktionspartner auf die Reaktionsgeschwindigkeit 109
    - 10.3.3 Reaktionsordnung 112
    - 10.3.4 Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit 112
    - 10.3.5 Aktivierungsenergie 112
    - 10.3.6 Katalysatoren 113
  - 10.4 Reversible und irreversible Reaktionen Gleichgewichtszustand 114
  - 10.5 Das Massenwirkungsgesetz 115
    - Testfragen zum Teil I „Chemische Grundlagen“* 117
    - Literaturhinweise zum Teil I* 129

# 1 Chemische Definitionen

## 1.1 Physikalische und chemische Vorgänge

### 1.1.1 Physikalischer Vorgang

Unsere stoffliche Umwelt zeigt viele Erscheinungsformen. Es gibt *gasförmige* Stoffe wie die uns umgebende Luft. Sie setzt sich im wesentlichen aus Sauerstoff – der zum Atmen und zur Unterhaltung der Lebensvorgänge benötigt wird – und Stickstoff – der beispielsweise ein wichtiger Rohstoff zur Düngemittelherstellung ist – zusammen. Daneben enthält Luft auch noch kleine Mengen an Kohlendioxid und Edelgasen. Weiterhin kennen wir *flüssige* Stoffe wie Wasser und Öl und *feste* Stoffe wie Kohle oder die Metalle. Aus festen Stoffen werden die Gegenstände, mit denen wir täglich umgehen, zusammengefügt.

*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 Stoff *Wasser* ist bei normalem Druck (Luftdruck) unterhalb 0 °C fest, zwischen 0 °C und 100 °C ist er flüssig und oberhalb 100 °C ist Wasser gas- bzw. dampfförmig. Soll ein Stoff aus dem festen Zustand in den flüssigen überführt werden, muß ihm *Energie*, d. h. Wärme, zugeführt werden. Bei der Überführung von Eis in flüssiges Wasser wird Schmelzwärme benötigt. Bei der Umwandlung des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Zustand muß Verdampfungswärme zugeführt werden.

Umgekehrt wird bei dem Übergang vom gasförmigen in den flüssigen Zustand Wärme frei, ebenso bei der Umwandlung vom flüssigen in den festen Zustand.

*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 angesehen. Dem festen Aggregatzustand eines Stoffes können aber mehrere Phasen entsprechen. Der im festen Aggregatzustand vorliegende Kohlenstoff kommt in den Phasen Diamant, Graphit und amorphe Form der Kohle vor.

Unterscheidungsmerkmale für verschiedene Phasen sind der Aufbau und die Struktur der einzelnen homogenen Stoffe, z. B. ihre Kristallformen.

### 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.*

Ein disperses System ist z. B. der Schlamm. Darin bildet das Wasser das Dispersionsmittel und der feinverteilte Sand den dispersen Bestandteil.

Sowohl der dispergierte Stoff als auch das Dispersionsmittel können gasförmig, flüssig oder fest auftreten. (Allerdings gibt es keine Dispersionen gasförmig – gasförmig.) Einige wichtige disperse Systeme sind nachstehender Tabelle zu entnehmen (Tab. I – 1).

**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

Das Herstellen einer Dispersion wird als *Dispergieren* bezeichnet, d.h. ein Stoff wird in einem Dispersionsmittel fein verteilt. Dieser Vorgang kann durch Zugabe von spezifisch wirkenden Zusatzstoffen, den Dispergierhilfsmitteln, unterstützt werden.

### 1.1.4 Chemischer Vorgang

Wasser, dem das 20fache der zur Verdampfung erforderlichen Energie zugeführt wird, verliert die für das Wasser oder auch 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 *Bindungsenergie* 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 Änderungen von Energieinhalten oder Energieformen verbunden. Bei *chemischen Vorgängen* treten neben Energieumsätzen stets Stoffumwandlungen auf.