

Wolf Rainer Less (Hrsg.)  
Melanie Fleckenstein  
Wolfgang Gottwald  
Bianca Stieglitz

PFLICHTQUALIFIKATIONEN

BAND 1:

Die handlungsorientierte  
Ausbildung für  
**Laborberufe**



**Vogel** Buchverlag

**LABOR  
PRAXIS**

Die handlungsorientierte Ausbildung für Laborberufe  
Band 1: Pflichtqualifikationen

Wolf Rainer Less (Hrsg.)  
Melanie Fleckenstein  
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Gottwald  
Bianca Stieglitz

# Die handlungsorientierte Ausbildung für Laborberufe

## Band 1: Pflichtqualifikationen

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

**Vogel Buchverlag**

**WOLF RAINER LESS,**

Jahrgang 1948, absolvierte 1967 seine Ausbildung zum Chemielaboranten. Über seine berufsbegleitenden Weiterbildungen unterschiedlichster Art wurde er 1977, nach seiner Ausbildung zum Labortechniker, Ausbilder für Chemielaboranten im Ausbildungszentrum der Farbwerke Hoechst AG. 1994 übernahm W. R. Less, zu seiner Teamleiterfunktion 1986 in der Produktionstechnik (Berufsgruppe Chemikanten), die Sprecherfunktion der Aus- und Weiterbildung Labortechnik. Seit 1997 ist er Leiter des Kompetenzzentrums Labortechnik bei PROVADIS Partner für Bildung und Beratung GmbH, die aus der Hoechst AG hervorgegangen ist. 2001 wurde W. R. Less zusätzlich Geschäftsführer der NOVIA Chromatographie- und Messverfahren GmbH, hatte zwischenzeitlich die Führung des Kompetenzzentrums Business Administration bei PROVADIS inne, war Mitglied der AN-Fraktion im Berufsbildungsausschuss der IHK-Frankfurt und Mitglied der Arbeitsgruppe «Neuordnung der Chemielaborantenausbildung» des BAVC Wiesbaden.

**DIPL.-ING. (FH) WOLFGANG GOTTWALD,**

Jahrgang 1948, absolvierte nach seiner Ausbildung zum Chemielaboranten bei der Hoechst AG in Frankfurt eine Weiterbildung als Chemietechniker. Ein anschließendes Studium zum Ingenieur für chemische Technologie wurde 1983 erfolgreich an der FH-Darmstadt abgeschlossen. WOLFGANG GOTTWALD bildete als Ausbilder im Ausbildungszentrum der Hoechst AG und der PROVADIS Partner für Bildung und Beratung GmbH Chemielaboranten aus. In letzter Zeit gestaltete er im Auftrag der NOVIA GmbH Weiterbildungs-Seminare im Bereich der analytischen Chemie. WOLFGANG GOTTWALD war als Bundessachverständiger an der Neuordnung des Chemielaborantenberufs beteiligt und ist Mitglied des Chemielaboranten-Fachausschusses der PAL in Stuttgart.

**BIANCA STIEGLITZ,**

Jahrgang 1973, absolvierte nach einer Ausbildung zur Chemielaborantin bei der ehemaligen Hoechst AG in Frankfurt eine berufsbegleitende Weiterbildung zur Chemietechnikerin bei der PROVADIS Partner für Bildung und Beratung GmbH. Seit 1995 ist sie bei diesem Bildungsunternehmen Ausbilderin für Chemielaboranten. BIANCA STIEGLITZ ist neben ihrer Tätigkeit in der Ausbildung, Dozentin in der Erwachsenenweiterbildung bei PROVADIS in den Bereichen Mathematik, chemisches Fachrechnen sowie anorganische und organische Chemie. Seit 1997 ist sie neben der beruflichen Tätigkeit ebenfalls ehrenamtliche Prüferin für die IHK-Frankfurt im Bereich der Laborantenausbildung.

**MELANIE FLECKENSTEIN,**

Jahrgang 1978, absolvierte nach einer Ausbildung zur Chemielaborantin bei der PROVADIS Partner für Bildung und Beratung GmbH in Frankfurt eine berufsbegleitende Weiterbildung zur Chemietechnikerin. Nach zunächst zweijähriger Forschungstätigkeit im Pharmaunternehmen Sanofi-Aventis Deutschland GmbH ist sie seit 2002 Ausbilderin für Chemielaboranten. MELANIE FLECKENSTEIN bildet darüber hinaus bei PROVADIS Erwachsene mit dem Schwerpunkt Instrumentelle Analytik weiter.

---

**Weitere Informationen:**

**[www.vogel-buchverlag.de](http://www.vogel-buchverlag.de)**



<http://twitter.com/vogelbuchverlag>



[www.facebook.com/vogel.buchverlag](http://www.facebook.com/vogel.buchverlag)



[www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss](http://www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss)

---

**ISBN 978-3-8343-3316-2**

3. Auflage. 2013

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.  
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2006 by

Vogel Business Media GmbH & Co. KG,

Würzburg

Umschlaggrafik: Vogel Business Media GmbH, Würzburg

## Vorwort des Herausgebers

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,  
sehr geehrte Damen und Herren,

vor Ihnen liegt ein Exemplar der völlig neu konzipierten dreiteiligen Buchreihe: «Die handlungsorientierte Ausbildung der Laborberufe».

Nach der Neuordnung der Laborantenberufe im Jahr 2000 entstand ein dringender Bedarf an begleitender Literatur, um der geänderten Lehr- und Lernsituation gerecht werden zu können. Daher sind die 3 Bücher nach einem sehr modernen didaktischen Ansatz konzipiert worden: An realen Prozessen wird die Handlungsorientierung als Leitfaden für die Stoffvermittlung und Stoffwiederholung eingeübt.

Unter Berücksichtigung der aktuellen Veränderungen in Lehr- und Lernstrukturen der Berufsschulen – besonders durch die Einrichtung von Lernfeldern – wurden die Inhalte der 3 Bücher neu gefasst und den geänderten Rahmenbedingungen angepasst.

Die Autoren sind ausnahmslos als professionelle Ausbilder für Chemie- und Biologielaaboranten bei «PROVADIS Partner für Bildung und Beratung» beschäftigt. Sie verfügen über eine profunde Erfahrung bei der Gestaltung und Vermittlung der beruflichen Kenntnisse und Fertigkeiten in der Aus- und Weiterbildung. Durch eine intensive Zusammenarbeit mit Berufsschullehrern aus dem Raum Frankfurt ist ein enger Bezug zu den Inhalten in den Lernfeldern der Berufsschule gesichert.

Die Autorenteams schrieben die 3 Bände unter dem Aspekt, einerseits eine sinnvolle chronologisch-thematische Dreiteilung herzustellen und andererseits die Orientierung an den notwendigen Abschlussprüfungen sicherzustellen.

- Band 1: Pflichtqualifikationen
- Band 2: Wahlqualifikationen
- Band 3: Prüfungsvorbereitung

Mit Band 1 wird gewährleistet, dass der Lernende alle wesentlichen Inhalte bis zur «Ersten gestreckten Prüfung» erlernen kann. Diese Inhalte sind für alle Chemielaboranten im Gültigkeitsbereich der neu geordneten Ausbildungsordnung verbindlich und somit wesentlich für die «Beruflichkeit» des Labornachwuchses.

Lehrer von berufsbildenden Schulen werden von der Buchreihe ebenso profitieren wie ihre Auszubildenden. Aber auch Chemisch-Technische Assistenten, Chemotechniker, Chemieingenieure der ersten Semester und Bachelorstudenten können ihr Wissen mit der Buchreihe effektiv erweitern.

Ich bin sicher, dass den Auszubildenden aus dem gesamten chemischen Umfeld durch diese Buchreihe die Möglichkeit geboten wird, sich im Sinne einer modernen beruflichen Ausbildung nach neuesten didaktischen Grundsätzen das aktuelle Wissen praxis- und handlungsorientiert anzueignen. Lehrenden wird damit ein Lehrmittel an die Hand gegeben, das bei konsequenter Anwendung einen hervorragenden Lehr-erfolg ermöglicht.

## Vorwort des Herausgebers zur 3. Auflage

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,  
sehr geehrte Damen und Herren,

Sie halten das neueste Lehrbuch «Die handlungsorientierte Ausbildung für Laborberufe, Band 1, Pflichtqualifikationen» in Ihren Händen. Wir freuen uns sehr, Ihnen nunmehr die überarbeitete und erweiterte 3. Auflage anbieten zu können, mit Anregungen und Hinweisen aus Ihren Reihen, soweit sie fachlich korrekt und didaktisch zum Konzept dieses Lehrbuches passen.

Es ist erfreulich, dass Band 1 unserer Reihe bereits in der 3. Auflage erscheint. Das ist in Zeiten, in denen das Internet den Kauf von gedruckten Büchern nicht unbedingt fördert, nicht zwingend zu erwarten gewesen.

Es hat sich als sinnvoll herausgestellt, und wir sind der mehrfach geäußerten Empfehlung gefolgt, Lernfeld 4, «Stoffe fotometrisch und chromatografisch untersuchen», Band 1 der Reihe zuzuordnen. Kapitel 8 «Fotometrische und chromatografische Methoden» enthält diese Weiterentwicklung. Somit wird in diesem Band jetzt das vollständige Spektrum der Pflichtqualifikationen für die Ausbildung von Laboranten behandelt. Nach unserer Überzeugung ist dieses Buch besonders geeignet, den angestrebten Lern- und Ausbildungserfolg bei konsequenter Durcharbeitung bestens zu unterstützen.

Mein Dank gilt unseren Leserinnen und Lesern, unseren Kolleginnen und Kollegen für die wertvollen Anregungen. Dem Vogel Buchverlag danke ich für die gewohnt hervorragende Zusammenarbeit.

Resonanz zum Buch und den vermittelten Lösungswegen sind uns stets willkommen, weil ein lebendiger Wissensaustausch auch den Lehrbetrieb immer wieder motivieren und inspirieren kann.

Frankfurt-Höchst

Wolf Rainer Less  
PROVADIS Partner für Bildung und Beratung

## Vorwort der Autoren

**Leitspruch:** «Der eigentliche Zweck des Lernens ist nicht das Wissen, sondern das Handeln» (HERBERT SPENCER, 1820–1903, englischer Philosoph und Sozialwissenschaftler).

Die Laborberufe haben sich in den letzten Jahren stark gewandelt. In Großbetrieben hat so gut wie jedes Syntheselabor auch analytische Aufgaben zu erledigen, und analytische Laboratorien müssen sich mit Problemen der Produktherstellung und der Zulassung von Produkten befassen. Der «Allrounder» ist hier ein gefragter Mitarbeiter.

Viele kleinere und mittlere Unternehmen, vornehmlich aus dem Dienstleistungssektor, haben sich jedoch auf einen Arbeitsbereich – z.B. die Auftragsanalytik – konzentriert. Naturgemäß werden dort routinemäßig viele Analysenaufgaben erledigt, die vertieftes Wissen in diesen Bereichen erfordern. Dagegen werden spezielle Kenntnisse und Fertigkeiten über präparative Zusammenhänge nicht unbedingt benötigt. In diesen Unternehmen ist nicht der Allrounder, sondern eher der «Spezialist» erwünscht. Eine moderne Ausbildung muss deshalb aus den Anforderungen der beruflichen Praxis beiden Typen gerecht werden.

Ziel einer soliden beruflichen Ausbildung ist das Erlangen von Kompetenz. Im Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Chemielaborant/Chemielaborantin ist Kompetenz deshalb definiert:

*Kompetenz bezeichnet den Lernerfolg in Bezug auf den einzelnen Lernenden und seine Befähigung zum eigenverantwortlichen Handeln in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen.*

Daher ist es für den Auszubildenden entscheidend, dass Lehrer und Ausbilder die Entwicklung seiner Kompetenz planmäßig, systematisch und konsequent fördern. Typische Aufgaben müssen deshalb während seiner Ausbildung prozessorientiert bewältigt werden:

- ❑ Der Auszubildende hat typische Handlungsschritte für sein berufliches Umfeld auszuführen.
- ❑ Einen Teil der Aufgaben und Ziele muss sich der Auszubildende selbst erschließen («lebenslanges Lernen»).
- ❑ Die Lösung von Problemen sind immer in einen Gesamtprozess einzubetten.
- ❑ Der Gesamtprozess ist zu bewerten.
- ❑ Die Ergebniskriterien müssen festgelegt sein.
- ❑ Alle Prüfungsinhalte sind schon während des Unterrichtes zu berücksichtigen.

Im Rahmen der für die 3 Bände dieser Reihe entwickelten pädagogisch-didaktischen Konzeption wird der Auszubildende folgerichtig handlungs- und prozessorientiert zum Lernziel geführt. Merksätze, Beispiele, Übungen und eine Anleitung für selbständiges Nachforschen unterstützen die Vertiefung des Gelernten nachhaltig. Die 6 Handlungsphasen

- ❑ Informieren,
- ❑ Planen,
- ❑ Entscheiden,
- ❑ Ausführen,
- ❑ Kontrollieren / Präsentieren,
- ❑ Be- und Auswerten

kennzeichnen eine Handlungsorientierung maßgeblich.

Früher wurde z.B. «Fachrechnen» als eigenständiges Fach unterrichtet, oft losgelöst von anderen gleichzeitig vermittelten Themen. Heute wird in einem prozessorientierten Aufgabengebiet das dazugehörige Fachrechnen eingebettet, was den Bezug zur Aufgabe plastisch macht. Es ist für Auszubildende ein Unterschied, ob Rechnen mit chemischen Umsetzungen separat unterrichtet wird oder ob es in der allgemeinen Betrachtung von chemischen Ansätzen zur Herstellung von Syntheseprodukten oder Analysemethoden gelehrt wird. Das verlangt jedoch eine Veränderung im didaktischen Aufbau des Unterrichts durch den Lehrer und eine Anpassung der Lehrmaterialien.

Die Autoren dieses Bandes haben deshalb ein Fachbuch konzipiert, das den handlungsorientierten didaktischen Grundsätzen und der neuen Verordnung der Berufsausbildung im Laborbereich aus dem Jahr 2000 sowie den Vorgaben der KMK (Kultusministerkonferenz) von 2005 Rechnung trägt. Allerdings müssen zuerst fundamentale Grundlagen für die Ausbildung sicher beherrscht werden.

Die Kapitel repräsentieren inhaltlich und chronologisch die Lernfelder des Rahmenlehrplans entscheidend:

- LF 1 Vereinigen von Stoffen
- LF 2 Trennen von Stoffsystemen
- LF 3 Strukturen und Eigenschaften von Stoffen untersuchen
- LF 5 Präparatives Arbeiten
- LF 6a Präparate unterschiedlicher Stoffklassen synthetisieren
- LF 6b Aromatische Präparate synthetisieren
- LF 7 Volumetrische und gravimetrische Analysen durchführen

Zusätzlich und abweichend von der Lernfeldreihenfolge wurden separat in Kapitel 8 die wichtigsten großtechnischen Verfahren aufgenommen.

Lernfeld 4, «Stoffe fotometrisch und chromatografisch untersuchen», überlassen wir unseren Kollegen, die in Band 2: Wahlqualifikationen «Chromatografie» und «Spektroskopie» genau erläutern. Bis auf Lernfeld 4 ist die Zusammenstellung von Band 1 Inhalt der «Ersten gestreckten Prüfung» der Laborberufe.

Es ist erklärtes Ziel, dass neben der schulischen Begleitung die praktisch orientierte betriebliche Ausbildung in den Unternehmen ein Schwerpunkt der dualen Berufsausbildung ist. Die Tätigkeiten, die in den auszubildenden Unternehmen durch die Verordnung von 2002 vermittelt werden sollen, können nicht Bestandteil unseres Lehrbuches sein. Über diese Lehrbereiche gibt es bereits eine Reihe von guten praxisorientierten Büchern, die der weiterführenden Literatur zu entnehmen sind.

Obwohl Band 1 prinzipiell die Ausbildung zum Chemielaboranten behandelt, sind die Autoren davon überzeugt, dass sich Inhalt und Didaktik auch für Assistentenberufe der Chemie eignen und Studenten aus dem labortechnischen Umfeld das Buch gut als Einstiegsleitfaden verwenden können.

Wir bedanken uns bei allen, die zur Entstehung des Buches beigetragen haben, besonders bei unseren Kollegen von PROVADIS Partner für Bildung und Beratung GmbH, Frankfurt-Höchst, und hier vor allem unserem Kollegen Günther Bouchée.

Wir danken auch allen aufmerksamen Lesern, die uns engagiert Korrekturen zur Erstauflage mitgeteilt haben. Weil Wissenschaft und Technik sich ständig und teilweise rasant weiterentwickeln, liegt es auf der Hand, dass nur selbständiges lebenslanges Lernen einen dauerhaften beruflichen Erfolg sichert. Den Schlüssel dazu bietet in erster Linie das Beherrschen fachlicher Kenntnisse und Fertigkeiten auf dem Stand der Technik.

## Vorwort der Autoren zur 3. Auflage

Das Lehrbuch «Die handlungsorientierte Ausbildung für Laborberufe, Band 1, Pflichtqualifikationen» liegt jetzt in der 3. Auflage vor. Nach den Neuordnungen des Laborantenberufes von 2000 und 2009 war es fachspezifisch geboten, die Anforderungen in einem neuen Lehrbuch zusammenzufassen, das den handlungsorientierten Ansatz und die Vorgaben der KMK (Kultusministerkonferenz) besonders berücksichtigt.

In den ersten beiden Auflagen wurde Lernfeld 4 «Stoffe fotometrisch und chromatografisch untersuchen» noch Band 2 unserer Buchreihe zugeordnet. Es wurde jedoch offensichtlich, und Leser gaben auch entsprechende Hinweise, dass die Integration von Lernfeld 4 in Band 1 **die gesamten Pflichtqualifikationen des Laborantenberufes abdeckt**. Die 3. Auflage enthält deshalb folgerichtig mit dem neuen Kapitel 8 dieses Lernfeld.

Damit wurde die theoretisch fundierte und praxisnahe Laborantenausbildung konzeptionell weiterentwickelt, die den zu vermittelnden Stoff anhand ausgewählter Prozesse in einem Handlungsstrang aufbereitet und Lernende regelmäßig zu selbstständigen Wissenserwerb auffordert. Zusätzlich wurden mehrere Kapitel überarbeitet und aktualisiert.

Gerne bedanken wir uns bei Lesern und Kollegen, die uns mit Hinweisen und Vorschlägen unterstützt haben.

Wie dem Herausgeber, Herrn Wolf Rainer Less, ist uns weiterhin Resonanz zum Buch und den vermittelten Lösungswegen stets willkommen, damit auch zukünftig Weiterentwicklungen von Wissenschaft und Technik so zeitnah wie möglich in die Ausbildung der Laborberufe einfließen können.

Lösungen der Vertiefungsübungen finden Sie unter dem Onlineservice **InfoClick**.

Frankfurt-Höchst

Melanie Fleckenstein, Wolfgang Gottwald, Bianca Stieglitz

---

Der Onlineservice InfoClick bietet unter [www.vogel-buchverlag.de](http://www.vogel-buchverlag.de) nach Codeeingabe eventuell zusätzliche Informationen und Aktualisierungen. Fordern Sie für Ihr E-Book den Code unter [buch@vogel-buchverlag.de](mailto:buch@vogel-buchverlag.de) an!

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort des Herausgebers</b>	<b>7</b>
<b>Vorwort der Autoren</b>	<b>9</b>
<b>1 Umgang mit dem Buch</b>	<b>19</b>
1.1 Mathematikvortest	20
1.2 Umgang mit Größengleichungen	21
<b>2 Vereinigen von Stoffsystemen</b>	<b>25</b>
2.1 Neutralisation – eine chemische Reaktion	25
2.2 Chemische Formelsprache	27
2.3 Grundlagen der Stöchiometrie	33
2.3.1 Aufstellung einer einfachen Reaktionsgleichung (Neutralisation)	34
2.3.2 Berechnung der Reaktionsverhältnisse	36
2.4 Berechnung von Konzentrationsangaben bei Lösungen	40
2.5 Mischen von Lösungen	49
2.6 Chemische Reaktionen mit verdünnten Eduktlösungen	52
2.7 $pH$ -Wert	58
<b>3 Trennen von Stoffsystemen</b>	<b>67</b>
3.1 Trennen durch Aggregatzustandsänderungen	69
3.1.1 Gasförmiger (gasiger) Zustand	71
3.1.2 Flüssiger Aggregatzustand und der Übergang zum gasförmigen Zustand	77
3.1.3 Gasverflüssigung durch Druckerhöhung	91
3.1.4 Fester Aggregatzustand	92
3.1.5 Phasendiagramm der Aggregatzustände	97
3.2 Reinigung durch Löslichkeitsprozesse	100
3.2.1 Feststoffextraktion	100
3.2.2 Abhängigkeit der Löslichkeit von der Temperatur	102
3.2.3 Abhängigkeit der Löslichkeit von der Struktur des Lösemittels und der des Stoffes	105
3.2.4 Reinigung durch Flüssig-Flüssig-Extraktion	107
3.3 Aufkonzentrierung durch Osmose	114
<b>4 Struktur und Eigenschaften von Stoffen</b>	<b>117</b>
4.1 Atombau	118
4.1.1 Atommodell nach RUTHERFORD	118
4.1.2 Atomkern	118
4.1.3 Isotope	120
4.1.4 Radioaktivität	121
4.1.5 Atommodell nach BOHR	123
4.1.6 Orbitalmodell	124

4.2	Periodensystem der Elemente (PSE)	130
4.2.1	Metalle, Nichtmetalle und Halbmetalle	132
4.2.2	Nebengruppenelemente	133
4.2.3	Ableitung von Stoffeigenschaften anhand der Stellung im PSE	136
4.2.4	Elektronenkonfiguration der Haupt- und Nebengruppenelemente	138
4.3	Chemische Bindung	142
4.3.1	Ionenbindung	144
4.3.2	Unpolare Atombindung	146
4.3.3	Polare Atombindung	148
4.3.4	Elektronegativität	149
4.3.5	Wasserstoffbrückenbindung	151
4.3.6	Van-der-Waals-Kräfte	151
4.3.7	Ionen-Dipol-Bindung durch Hydratation	152
4.3.8	Komplexbindung	154
4.3.9	Metallbindung	157
4.4	Elektronenvorgänge bei chemischen Reaktionen	159
4.4.1	Oxidation, Reduktion, Oxidationsmittel, Reduktionsmittel	159
4.4.2	Redoxreaktion	160
4.4.3	Oxidationszahl	161
4.4.4	Aufstellen von Redoxgleichungen	163
4.4.5	Disproportionierung und Komproportionierung	167
	4.4.5.1 Disproportionierung	167
	4.4.5.2 Komproportionierung	169
4.5	Säuren- und Basensysteme	170
4.5.1	Protolyse	170
	4.5.1.1 Definitionen der Säuren und Basen nach ARRHENIUS und BRÖNSTED	170
	4.5.1.2 Autoprotolyse des Wassers	173
	4.5.1.3 Stärke von Brönsted-Säuren und Brönsted-Basen	174
4.5.2	Definitionen der Säuren und Basen nach LEWIS	176
4.5.3	Salze als Säuren und Basen	177
4.5.4	Wichtige anorganische Säuren	180
4.5.5	Saure und basische Oxide	183

## **5 Physikalisch-chemische Grundlagen analytischer und synthetischer Arbeiten 185**

5.1	Grundlagen von Gleichgewichtsreaktionen	187
5.1.1	Massenwirkungsgesetz (MWG)	188
5.1.2	Quantitativer Verlauf von Gleichgewichtsreaktionen	190
5.1.3	Beurteilung der Gleichgewichtslage	195
5.1.4	Reaktionsbeeinflussung von Gleichgewichtszuständen	196
	5.1.4.1 Beeinflussung der Gleichgewichtslage durch Konzentrationsänderung	196

5.1.4.2	Beeinflussung der Gleichgewichtslage durch Druckveränderung	198
5.1.4.3	Beeinflussung der Gleichgewichtslage durch Temperaturveränderung	199
5.1.4.4	Projektplanung einer Veresterung	200
5.2	Anwendungen des Massenwirkungsgesetzes MWG	202
5.2.1	Anwendungen des MWG auf das Protolysegleichgewicht	203
5.2.2	Abhängigkeit des Protolysegrades $\alpha$ von der Konzentration schwacher Elektrolyte	208
5.2.3	Anwendung des Protolysegleichgewichtes auf die Hydrolyse	209
5.2.4	Auswirkung des Protolysegleichgewichtes auf Puffersysteme	210
5.2.5	Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf das Löslichkeitsprodukt $L_p$	214
5.3	Reaktionskinetik	218
5.3.1	Einfluss der Konzentration auf die Reaktionsgeschwindigkeit $r$	220
5.3.1.1	Reaktionen 1. Ordnung	221
5.3.1.2	Reaktionen 2. Ordnung	223
5.3.2	Einfluss der Temperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit $r$	224
5.3.3	Einfluss der Katalyse auf die Reaktionsgeschwindigkeit $r$	225
5.4	Reaktionsenthalpie	229
5.5	Entropie	234
<b>6</b>	<b>Grundlagen der organischen Synthesechemie</b>	<b>237</b>
6.1	Besonderheit des Kohlenstoffs	237
6.2	Differenzierung zwischen anorganischer und organischer Chemie	238
6.3	Kohlenstoffbindung	239
6.4	Gesättigte Kohlenwasserstoffe	241
6.4.1	Schreibweisen für organische Verbindungen	242
6.4.2	Nomenklatur von Alkanen	245
6.4.3	Isomerie	246
6.5	Radikalische Substitution $S_R$ von Alkanen	249
6.5.1	Eigenschaften von Halogenalkanen	251
6.5.1.1	Nomenklatur der Halogenalkane	252
6.6	Reaktionsmechanismus einer Eliminierung	253
6.6.1	E1- und E2-Reaktion	254
6.6.2	Konkurrenzsituation zur Substitutionsreaktion	255
6.6.3	Bindungsverhältnisse im Alken	256
6.6.4	Eigenschaften von Alkenen	257
6.6.4.1	Nomenklatur von Alkenen	257
6.6.4.2	Isomerie bei Alkenen	258
6.7	Reaktionsmechanismus der elektrophilen Addition	259
6.7.1	Markownikow-Regel	260
6.7.2	Elektrophile Addition an Diene	261
6.8	Wurtz-Synthese	262

6.8.1	Wurtz-Fittig-Reaktion	263
6.9	Williamson'sche Ethersynthese	264
6.9.1	Eigenschaften von Ethern	265
6.9.2	Nomenklatur von Ethern	266
6.10	Mechanismus der nucleophilen Substitution	267
6.10.1	$S_N1$ und $S_N2$	268
6.10.2	Konkurrenz zur Eliminierung	269
6.10.3	Eigenschaften von Alkoholen	269
6.10.3.1	Primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole	270
6.10.3.2	Mehrwertige Alkohole	270
6.10.3.3	Nomenklatur von Alkoholen	270
6.10.3.4	Keto-Enol-Tautomerie	271
6.11	Oxidation von Alkoholen	272
6.11.1	Oxidation eines primären Alkohols	272
6.11.2	Bestimmung von Oxidationszahlen in organischen Verbindungen	272
6.11.3	Oxidation eines sekundären Alkohols	274
6.11.4	Oxidation von tertiären Alkoholen	274
6.11.5	Weitere charakteristische Reaktionen der Alkohole	275
6.12	Eigenschaften von Aldehyden und Ketonen	276
6.12.1	Nomenklatur von Aldehyden und Ketonen	276
6.12.2	Reaktionen der Aldehyde und Ketone	277
6.12.2.1	Aldol-Reaktion	277
6.12.2.2	Cannizzaro-Reaktion	278
6.13	Eigenschaften von Carbonsäuren	278
6.13.1	Nomenklatur von Carbonsäuren	279
6.13.2	Acidität von Carbonsäuren	280
6.14	Reaktionsschema der säurekatalysierten Veresterung	281
6.14.1	Eigenschaften von Estern	282
6.14.1.1	Nomenklatur von Estern	282
6.15	Reaktionsmechanismus der alkalischen Verseifung	283
6.16	Reaktion von Carbonsäuren zum Säurechlorid	284
6.16.1	Weitere Carbonsäurederivate	285
6.16.1.1	Säureamide	285
6.16.1.2	Säureanhydride	285
6.16.1.3	Nitrile	286
6.16.1.4	Halogensäuren	286
6.16.1.5	Hydroxycarbonsäuren	288
6.16.1.6	Aminosäuren	288
6.17	Metallorganische Verbindungen	290
6.17.1	Grignard-Verbindungen	290
6.17.1.1	Eigenschaften von Grignard-Verbindungen	291
6.17.1.2	Herstellung von Grignard-Verbindungen	291
6.17.1.3	Reaktionen der Grignard-Verbindungen	291
6.18	Reaktion von Methan zu Ethin	294
6.18.1	Bindungsverhältnisse im Alkin	295

6.18.1.1	Eigenschaften von Alkinen	295
6.18.1.2	Nomenklatur von Alkinen	296
6.19	Reppe-Synthesen	296
6.19.1	Vinylierung	296
6.19.2	Ethinylierung	297
6.19.3	Carbonylierung	297
6.19.4	Cyclisierung	298
6.19.4.1	Bindungsverhältnisse in Aromaten	298
6.19.4.2	Unterscheidung Aromat/Nichtaromat	299
6.19.4.3	Eigenschaften von Benzol	300
6.19.4.4	Nomenklatur aromatischer Verbindungen	300
6.20	Reaktion der Hydrierung bzw. Reduktion von Benzol	302
6.20.1	Eigenschaften der Cycloalkane	302
6.20.2	Nomenklatur der Cycloalkane	303
6.21	Mechanismus der elektrophilen Substitution $S_E$ am Aromaten (Kernsubstitution)	304
6.21.1	Halogenierung von Aromaten	306
6.21.2	Nitrierung von Aromaten	307
6.21.3	Sulfonierung von Aromaten	308
6.21.4	Friedel-Crafts-Acylierung	309
6.22	Polymerisation	310
6.23	Mechanismus der elektrophilen Zweitsubstitution	313
6.23.1	Einfluss der Ersts substituente n auf den Eintritt eines Zweitsubstituenten	313
6.24	Seitenkettensubstitution bei Benzolderivaten	316
6.24.1	Chlorierung von Toluol	316
6.24.2	Acetylierung an der Seitenkette	317
6.24.3	Diazotierung / Kupplung	317
<b>7</b>	<b>Quantifizierung durch nasschemische Analysen</b>	<b>321</b>
7.1	Quantifizierung	321
7.2	Untersuchung der Gültigkeit einer analytischen Methode (Validierung)	322
7.2.1	Validierungsparameter Präzision	325
7.2.2	Validierungsparameter «Richtigkeit»	328
7.2.3	Validierungsparameter «Robustheit»	329
7.3	Quantifizierung des Gesamtsulfats mit Hilfe einer gravimetrischen Analyse	330
7.3.1	Schwerlöslichkeit und das Löslichkeitsprodukt $L_p$	333
7.4	Volumetrische Analyse (Maßanalyse)	335
7.4.1	Neutralisationsvolumetrie	336
7.4.1.1	Prinzip der Neutralisationsvolumetrie	336
7.4.1.2	Herstellung einer Natronlaugemaßlösung	338
7.4.1.3	Maßanalytische Quantifizierung	341
7.4.1.4	Verwendung von ungenauer Maßlösung bei der Titration	343
7.4.2	Redox-Titrationen	347

7.4.2.1	Permanganometrische Titrationen	347
7.4.2.2	Ansetzen der Maßlösung und Bestimmung des Titers	348
7.4.2.3	Titration des Prozesswassers von P1_KAP7	351
7.4.3	Iodometrische Titrationen	353
7.4.4	Komplexometrische Titration	359
7.5	Potenziometrische Analysen	364
7.5.1	Arbeiten mit Bezugszellen (Bezugselektroden)	367
7.5.2	Glaselektroden	369
7.5.3	Potenziometrische Titration	370
7.6	Konduktometrische Titration	379
7.6.1	Verlauf der konduktometrischen Titration	383
7.7	Elektrogravimetrie	386
7.8	Diskussion der Methoden zur Analyse des Prozesswassers P1_KAP7	390

## **8 Fotometrische und chromatografische Methoden** **391**

8.1	Chromatografische Wechselwirkungen	391
8.1.1	Verteilungschromatografie	392
8.1.2	Adsorptionschromatografie	393
8.2	Auswertung von Chromatogrammen	393
8.2.1	Parameter eines Chromatogramms (Auswahl)	394
8.2.1.1	Zeitparameter eines Chromatogramms	394
8.2.1.2	Konzentrationsabhängige Parameter im Chromatogramm	395
8.3	Methode der Dünnschichtchromatografie (DC)	396
8.3.1	Prinzip der DC	396
8.3.2	Stationäre Phase in der DC	397
8.3.3	Probenauftrag auf die DC-Platte	398
8.3.4	Auswahl des Fließmittels	399
8.3.5	Entwicklung der DC-Platte	400
8.3.6	Detektion der Analyt- und Vergleichsflecken	401
8.3.7	Kenngrößen zur DC-Trennung	402
8.3.8	DC-Lauf von Prozess P1_KAP8	403
8.4	Einführung in die Spektroskopie	404
8.4.1	Elektromagnetische Strahlung und Spektrum	405
8.4.2	Wellenlänge, Frequenz und Energie	407
8.4.3	Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung	409
8.5	UV/Vis-Spektroskopie	410
8.5.1	Chromophore und auxochrome Gruppen	412
8.5.2	UV/Vis-Spektralfotometer (Zweistrahlmessgerät)	412
8.5.2.1	Strahlungsquellen	413
8.5.2.2	Monochromatoren	413
8.5.2.3	Aufteilung eines Lichtstrahls in einen Proben- und einen Vergleichsstrahl	413
8.5.2.4	Küvetten für die UV/Vis-Spektroskopie	414

8.5.2.5	Detektoren	414
8.5.3	Lösemittel für die UV/Vis-Spektroskopie	415
8.5.4	Bestimmungen mit der UV/Vis-Spektroskopie	415
8.5.5	Kalibrierung und Quantifizierung	416
8.5.6	Quantifizierung des Farbstoffs im Prozess P1_KAP8	416
8.6	Methode der Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC)	418
8.6.1	Prinzip der HPLC	418
8.6.2	Materialien und Geräte der HPLC	419
8.6.2.1	HPLC-Eluenten (mobile Phase)	421
8.6.2.2	HPLC-Pumpen	421
8.6.2.3	HPLC-Injektionssystem	423
8.6.2.4	HPLC-Säule	424
8.6.2.5	Stationäre Phase der HPLC	425
8.6.2.6	Detektoren der HPLC	427
8.6.3	Auswahl der mobilen Phase der HPLC	429
8.6.4	Qualitative Auswertung von HPLC-Chromatogrammen	430
8.6.5	Quantitative Auswertung von HPLC-Chromatogrammen	431
8.6.6	HPLC-Analyse im Prozess P1_KAP8	431
8.7	Methode der Gaschromatografie (GC)	433
8.7.1	Prinzip der GC	434
8.7.2	Materialien und Geräte der GC	434
8.7.2.1	Trägergase	434
8.7.2.2	Injektoren der GC	434
8.7.2.3	GC-Trennsäulen	437
8.7.2.4	Detektoren der GC	442
8.7.3	Headspace-GC mit der Auswertemethode «innerer Standard»	444
8.7.4	Quantitative Bestimmung von Ethanol im Prozess P1_KAP8	445
<b>9</b>	<b>Großtechnische Verfahren</b>	<b>449</b>
9.1	Erdölverarbeitung, Herstellung des Grundstoffes Benzol	450
9.2	Chloralkali-Elektrolyse	453
9.2.1	Amalgam-Verfahren (Quecksilberverfahren)	454
9.2.2	Diaphragma-Verfahren	456
9.2.3	Membran-Verfahren	457
9.2.4	Allgemeiner Vergleich der 3 Verfahren	459
9.3	Ammoniak-Synthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren	460
9.3.1	Herstellung des Ausgangsgemisches	461
9.3.2	Chemische Grundlagen des Haber-Bosch-Verfahrens	461
9.3.3	Ammoniaksynthese in der Praxis	462
9.4	Salpetersäureherstellung nach dem Ostwald-Verfahren	463
9.4.1	Grundlagen der Salpetersäureherstellung	464
9.4.2	Chemische Reaktion	464
9.5	Schwefelsäureherstellung	466
9.5.1	Übersicht der Schwefelsäureherstellung	466
9.5.2	Technische Durchführung der Schwefelsäureherstellung	468

9.6	Methanolsynthese	470
9.6.1	Grundlagen der Methanolsynthese	471
9.6.2	Technische Durchführung der Methanolsynthese	471
	<b>Weiterführende Literatur</b>	<b>475</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>477</b>

# 1 Umgang mit dem Buch

In den nachfolgenden Kapiteln dieses Buches wird eine ganzheitliche und handlungsorientierte Form des Wissenstransfers praktiziert. Das bedeutet unter anderem, dass ein exemplarischer Prozess in einem Handlungsstrang ausführlich behandelt wird. Dies erfordert zunächst vom Leser eine erhöhte Aufmerksamkeit und die Bereitschaft, sich völlig in einen Prozess «einzudenken», um den Handlungsfaden nicht zu verlieren. Aber im Gegensatz zu einem Präsenzunterricht kann man in einem Buch beliebig oft zurückblättern und sich damit wieder in einen scheinbar verlorenen Handlungsstrang zurückerarbeiten. Auch kann der Handlungsstrang jederzeit unterbrochen werden. Deshalb bietet diese handlungsorientierte Form der Wissensvermittlung echte Vorteile gegenüber einem Präsenzunterricht.



In einem Handlungsstrang sind meistens mathematische Vorgaben eingebettet. Erfahrungsgemäß werden solche Aufgabenbeispiele oftmals von ungeübten Lernenden nicht richtig durchgearbeitet oder gar nicht erst gelöst. Damit wird das korrekte Erkennen der Handlung unterbrochen und so der erfolgreiche Wissenstransfer in Frage gestellt. Die Oberflächlichkeit beim selbständigen Erlernen eines Wissensgebietes ist eine leider heute oft gemachte Beobachtung.

In die Handlungsstränge dieses Buches sind regelmäßige Aufforderungen zum selbständigen Wissenserwerb eingebaut. Die eigene Erarbeitung von fachlichen Zusammenhängen ist von ausschlaggebender Bedeutung für den weiteren Verlauf einer erfolgreichen Aus- oder Weiterbildung. Die in den Kapiteln angegebenen Themen sind so ausgewählt, dass sie leicht selbst zu erarbeiten sind. Gewöhnlich kann man dabei auf Vorkenntnisse aus der Schule zurückgreifen. Gerade im Zeitalter des Internets bieten sich hier unerschöpfliche Möglichkeiten der Informationsbeschaffung, die jeder Lernende unbedingt nutzen sollte. Man sollte aber auch auf Datenbanken in Bibliotheken o.Ä. zurückgreifen oder andere Informationsquellen nutzen. Im Sinne eines «lebenslangen Lernens» sollte sich jeder Lernende trainieren, selbst Informationen zu beschaffen und – was oft noch wichtiger ist – die Fähigkeit erlernen, geeignete von ungeeigneten Informationen unterscheiden zu können.

Daraus leiten sich folgende Empfehlungen zum Umgang mit dem Buch ab:

1. Arbeiten Sie jeden Handlungsstrang eines Prozesses so lange intensiv und vollständig durch, bis Sie ihn richtig verstanden haben.
2. Sollten Sie die nachfolgenden Vertiefungsübungen problemlos und auf Anhieb lösen können, haben Sie den entsprechenden Teil des Handlungsstranges verstanden. Ist das nicht der Fall, arbeiten Sie unbedingt den Strang so lange durch, bis Sie die Übungen lösen können. Die Wiederholung eines Themengebietes ist ein völlig normaler Vorgang beim Lernen.
3. Arbeiten Sie besonders sorgfältig die mathematischen Teile des Prozesses durch.
4. Trainieren Sie Ihre Fähigkeit zur selbständigen Wissensbeschaffung und nehmen Sie sich Zeit, die angeforderten Informationen selbst zu beschaffen und hinsichtlich der Eignung der Informationen für Ihr Lernen zu bewerten.
5. Entwerfen Sie selbst Fragen, die sich aus dem Handlungsstrang heraus ergeben, formulieren Sie diese schriftlich und beantworten Sie diese Fragen ebenfalls schriftlich. Stellen Sie sich selbst ein Übungsbuch mit Fragen und Antworten zusammen. Auch die Führung von Karteikarten, bei denen sich die

Frage auf der Vorderseite und die Antwort auf der Rückseite befindet, haben sich bewährt. Sie werden überrascht sein, welchen Umfang diese Sammlung schon nach kurzer Zeit hat. Durch die intensive Beschäftigung und durch die eigene Formulierung des Themas wird der Stoff viel besser verstanden und gespeichert.

- Arbeiten Sie während des Lernens parallel mit dem Übungsbuch, Band 3, dieser Reihe. Auch die in Band 3 gestellten Fragen und Aufgaben sollten Sie nach der Durcharbeitung des Prozesses einwandfrei beherrschen.

Die Verfasser des Buches stellen leider immer wieder fest, dass die mathematischen Vorkenntnisse aus den Schulen bei vielen Absolventen entweder in Vergessenheit geraten sind oder nicht richtig trainiert wurden.

Es muss hier in aller Entschiedenheit betont werden, dass das erfolgreiche Absolvieren einer Ausbildung in einem naturwissenschaftlichen Beruf ohne mathematische Grundkenntnisse nicht möglich ist. Alle mathematikbezogenen Aufgaben in diesem Buch sind so gestellt, dass sie mit dem mathematischen Wissensstand eines Realschülers lösbar sind.

Es wurden für den Leser einige typische Mathematikaufgaben zusammengestellt, die vor dem Durcharbeiten des Buches gelöst werden sollten, sozusagen als «Eingangstest». Sollten sich bei den Lösungsversuchen Defizite herausstellen, empfehlen wir unbedingt eine vorhergehende Wiederholung bzw. ein Training des Stoffes in dem jeweiligen mathematischen Aufgabengebiet.

Auch das beste Buch und die beste Informationsbeschaffung nutzen leider nichts, wenn die Daten mathematisch nicht erfasst werden können.

## 1.1 Mathematikvortest

- Bitte lösen Sie folgende Bruchaufgabe:

$$\frac{1}{4} + 1 \frac{3}{6} \cdot \frac{2}{3} - 5 =$$

Ergebnis:  $-3 \frac{3}{4}$

- 26 Teile von 144 Teilen entsprechen wie viel %?

Ergebnis: 18,06 %

- Ein Kapital von 1450 € wurde für ein halbes Jahr angelegt. Die Bank gewährte 2,5% Zinsen p.a. Wie viel Geld wurden nach einem halben Jahr von der Bank überwiesen?

Ergebnis: 1468,13 €

- Ein Zylinder hat einen Durchmesser von 10 cm und eine Länge von 20 cm, wie groß ist sein Volumen?

Ergebnis: 1570 cm<sup>3</sup>

- Addieren Sie folgende Längen und geben Sie das Ergebnis in cm an:  
0,0003 km + 20 dm + 5 m + 233 cm + 1440 mm + 2 000 000 μm

Ergebnis: 1307 cm

- Stellen Sie die folgende Gleichung nach x um:

$$\frac{3x+3}{6} = \frac{4x-6}{9}$$

Ergebnis:  $x = -21$

7. Stellen Sie folgende Gleichung nach  $x$  um:

$$A = B \cdot (1 + x \cdot C)$$

Ergebnis:

$$x = \frac{A - B}{B \cdot C}$$

8. Berechnen Sie den Wert für  $y$ :

$$y = 6,3 \cdot 10^{-4,2}$$

Ergebnis: 0,0003975 oder  $3,975 \cdot 10^{-4}$

Sollten Sie mehr als 2 Aufgaben nicht richtig gelöst haben, empfehlen wir Ihnen dringend vor der Ausbildung oder vor dem Studium dieses Buches eine Auffrischung Ihrer Mathematikkenntnisse.

## 1.2 Umgang mit Größengleichungen

In den folgenden Kapiteln werden neben dem Erklärungstext immer wieder eingebettete exemplarische Rechenaufgaben und deren Lösungen beschrieben. Dabei werden in den Aufgaben überwiegend Größengleichungen angewandt. Nur da, wo Größengleichungen durch Unübersichtlichkeit für Verwirrung sorgen, wurden sie ausnahmsweise weggelassen.

Größengleichungen sind Gleichungen, in denen Zahlen und physikalische Größen verknüpft sind, z.B.  $s = 10$  m (Länge  $s$  gleich 10 m) oder  $m = 0,05$  g (Masse  $m$  gleich 0,05 g). Physikalische Größen sind immer Werte, die gemessen werden können. Z.B. können alle Werte in der folgenden Aussage gemessen werden: «Der Motor meines Autos, das 1,1 t wiegt, hat eine Leistung von 50 kW und ich bin gestern damit 55 km gefahren. Dabei hat das Auto 3,5 L Benzin verbraucht». Die physikalischen Größen dieser Aussage sind in Tabelle 1.1 zusammengefasst.

Für die Angabe der Größe wird grundsätzlich das Formelzeichen (z.B. für Masse  $m$ ), die Zahlengröße (z.B. 1100) und die Einheit (z.B. für Kilogramm kg) verwendet. Dabei wird das Formelzeichen ( $m$ ) in kursiver Form angegeben.

Unter Verwendung der Größengleichungen wird der Satz nun folgendermaßen lauten: «Der Motor meines Autos, das  $m = 1,1$  t wiegt, hat eine Leistung von  $P = 50$  kW, und ich bin gestern  $s = 55$  km mit dem Auto gefahren. Dabei hat das Auto  $V = 3,5$  L Benzin verbraucht.»

**Tabelle 1.1** Größe, Werte und Größengleichungen der Aussage

Begriff, Formelzeichen	Zahlengröße und Einheit	Größengleichung
Masse des Autos $m$	1100 kg	$m = 1100$ kg
Leistung $P$	50 kW	$P = 50$ kW
Strecke $s$	55 km	$s = 55$ km
Benzinvolumen $V$	3,5 L	$V = 3,5$ L

Das physikalische Größensystem ist auf 7 Grundgrößen und die davon abgeleiteten Größen aufgebaut. Die 7 Grundgrößen können nicht auf andere physikalische Größen zurückgeführt werden. Im Internationalen Einheitensystem (SI) werden Grundgrößen oder Basisgrößen verwendet, die in Tabelle 1.2 aufgeführt sind.

Als abgeleitete Größen mit eigenen Namen werden die Größen aus Tabelle 1.3 verwendet. Z.B. werden exemplarisch einige Größengleichungen im folgenden Text verwendet: «Auf einer Waage wird die Masse  $m = 10$  g einer Substanz abgewogen, in einen Messkolben überführt und mit  $V = 500$  mL Wasser versetzt, das eine Temperatur von  $\vartheta = 20$  °C hat».

**Tabelle 1.2** Basisgrößen des SI-Systems

Größe, Formelzeichen	Einheit	Einheitszeichen
Länge $s$	Meter	m
Masse oder Stoffmasse $m$	Kilogramm	kg
Zeit $t$	Sekunde	s
Stromstärke $I$	Ampere	A
(absolute) Temperatur $T$	Kelvin	K
Stoffmenge $n$	Mol	mol
Lichtstärke $I$	Candela	Cd

Physikalische Größen unterscheiden sich von Zahlen. Mit physikalischen Größen dürfen nicht alle Rechenoperationen ausgeführt werden, die prinzipiell für Zahlen erlaubt sind. Für physikalische Größen sind erlaubt:

- Addition und Subtraktion bei gleichartigen Größen,
- Multiplikation und Division; hier ergeben sich allerdings neue physikalische Größen.

Z.B. können  $s = 20$  m und  $s = 400$  cm nicht direkt addiert werden, nach der Umwandlung von  $s = 20$  m in  $s = 2000$  cm ist das mit Gl. 1.1 problemlos möglich.

$$s = 2000 \text{ cm} + 400 \text{ cm} = \underline{2400 \text{ cm}} \quad (\text{Gl. 1.1})$$

Bei der Multiplikation von Größen ergeben sich neue physikalische Größen, z.B. wird durch Multiplikation von 3 Strecken ein Volumen. Ein Backstein hat eine Länge von  $s = 10$  cm, eine Breite von  $b = 6$  cm und eine Höhe von  $h = 6$  cm. Bei der Multiplikation der 3 Strecken ergibt sich das Volumen  $V$  des Backsteins nach Gl. 1.2.

$$V = 10 \text{ cm} \cdot 6 \text{ cm} \cdot 6 \text{ cm} = \underline{360 \text{ cm}^3} \quad (\text{Gl. 1.2})$$

Anders ist es bei «transzendenten Operationen», wie z.B. lg (Logarithmus), sin (Sinus) usw. In transzendenten Operationen müssen immer dimensionslose Größen verwendet werden.

**Tabelle 1.3** Abgeleitete Größen mit eigenen Namen

Größe, Formelzeichen		Einheit	Einheitszeichen
Temperatur	$\vartheta$	Celsius	°C
Kraft	$F$	Newton	N
Druck	$p$	Pascal (oder bar)	Pa, bar
Energie	$E$	Joule	J
Leistung	$P$	Watt	W
Frequenz	$\nu$	Hertz	Hz
Ladung	$Q$	Coulomb	C
Spannung	$U$	Volt	V

Bei umfangreichen Berechnungen werden Größengleichungen (Zahl und Einheit) mit in die verwendete Lösungsgleichung genommen. Falls es möglich ist, werden die Einheiten in der Formel gekürzt. Nach dem Kürzen müsste die Einheit übrig bleiben, die mit Hilfe der Lösungsgleichung errechnet werden soll. Ist das nicht der Fall, muss in jedem Fall nachgeprüft werden, ob ein Fehler vorliegt.

### Beispiel

Der hydrostatische Druck  $p$ , der auf den Boden eines Vorratsbehälters wirkt, kann mit Gl. 1.3 berechnet werden:

$$p = h \cdot \varrho \cdot g \quad (\text{Gl. 1.3})$$

mit:

- $p$  hydrostatischer Druck (N/cm<sup>2</sup>)
- $h$  Eintauchtiefe (m)
- $\varrho$  Dichte der Flüssigkeit (kg/dm<sup>3</sup>)
- $g$  Erdbeschleunigung (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Wie hoch ist der Vorratskessel mit der Flüssigkeit gefüllt, wenn ein hydrostatischer Druck von  $p = 10 \text{ N/cm}^2$  gemessen wird und die Dichte der Flüssigkeit  $\varrho = 780 \text{ kg/m}^3$  beträgt?

Durch Umstellung von Gl. 1.3 erhält man Gl. 1.4:

$$h = \frac{p}{\varrho \cdot g} \quad (\text{Gl. 1.4})$$

Das Einsetzen der Werte in Gl. 1.4 ergibt Gl. 1.5:

$$h = \frac{10 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2}{780 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{cm}^2} \quad (\text{Gl. 1.5})$$

Auf den ersten Blick können nur wenige Einheiten gekürzt werden. Aber durch die Umrechnung von  $\text{N}/\text{cm}^2$  in  $\text{N}/\text{m}^2$  (Umrechnungsfaktor 10 000) und der Einführung der Einheit  $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$  für  $N$  nach Gl. 1.6 können die Einheiten sinnvoll gekürzt werden.

$$10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{100\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2} \quad (\text{Gl. 1.6})$$

Der rechte Ausdruck der Gl. 1.6 wird in Gl. 1.5 eingesetzt und damit  $10 \text{ N}/\text{cm}^2$  ersetzt. Man erhält Gl. 1.7, in der alle Einheiten bis auf «m» weggekürzt werden können.

$$h = \frac{100\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}}{780 \cdot \text{kg} \cdot 9,81 \cdot \text{m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2} = \underline{13,07 \text{ m}} \quad (\text{Gl. 1.7})$$

Als Ergebnis erhält man 13,07 m als Füllstand der Flüssigkeit.



### Merke

Es empfiehlt sich, die beschriebene Vorgehensweise mit Größengleichungen in den Übungen der folgenden Kapitel dieses Buches und in der Praxis konsequent anzuwenden.

## 2 Vereinigen von Stoffsystemen

In diesem Kapitel werden anhand verschiedener Prozesse die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten chemischer Reaktionen mit ihrer typischen Formelsprache erläutert. Die Grundlagen der Stöchiometrie werden an Neutralisationsreaktionen erarbeitet und mit Konzentrations- und Umsetzungsangaben verknüpft. Eine Einführung in den Themenbereich «*pH*-Wert» rundet Kapitel 2 ab.

Dieses Kapitel enthält wesentliche Teile des Lernfeldes 1 aus dem Rahmenlehrplan der KMK (Kultusministerkonferenz) von 2005: «Vereinigen von Stoffen».



### 2.1 Neutralisation – eine chemische Reaktion

Während in den synthetischen Laboratorien die Herstellung neuer chemischer Produkte im Vordergrund steht, wird in den analytischen Laboratorien die Überprüfung von Produkten vorgenommen. Durch eine chemische Analyse wird überprüft, ob eine bestimmte Substanz in einer Probe enthalten ist und meistens auch noch, wie viel Substanz die Probe enthält. Man unterteilt in *quantitative* und *qualitative* Analysenprozesse:

#### □ **Qualitativer Analysenprozess**

Das Labor hat die Aufgabe, zu untersuchen, *welche* Substanzen in der Probe sind.

#### □ **Quantitativer Analysenprozess**

Nachdem feststeht, welche Substanzen in der Probe vorhanden sind, kann untersucht werden, *wie viel* die Probe von den Substanzen enthält, man «quantifiziert».

Während früher die Syntheselaboratorien ausschließlich neue chemische Stoffe durch chemische Experimente erzeugten und dann die Produkte auf ihre gewünschten Eigenschaften überprüfen ließen, müssen sich die Labormitarbeiter heute auch immer mehr mit analytischen Aufgaben beschäftigen. Z.B. ist die Fragestellung, ob die gewünschte Verbindung überhaupt vorliegt und wie rein sie ist, auch für Syntheselaboratorien von ausschlaggebender Bedeutung. Für die Ausbildung der Labormitarbeiter bedeutet dies, dass sie sowohl im präparativ-synthetischen Umfeld als auch im analytischen Bereich über Grundkenntnisse und die dazu gehörigen Fertigkeiten verfügen müssen.

In diesem Kapitel stehen jedoch zunächst die Synthese eines einfachen Produktes sowie die daraus resultierenden Fragestellungen im Vordergrund. Dabei werden mit Hilfe chemischer Reaktionen die grundlegenden Begriffe und Gesetzmäßigkeiten erläutert.

Es wird zunächst mit einem einfachen Prozess zur Herstellung des Produktes Natriumsulfat  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  begonnen.

#### Prozess P1\_KAP2

Aus Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) und Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) sollen  $m = 1000$  g des Salzes Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) hergestellt werden.

Dieser Prozess dient nur zur Erarbeitung theoretischer Hintergründe und sollte keinesfalls praktisch nachvollzogen werden. Eine heftige und gefährliche Reaktion wäre die Folge!

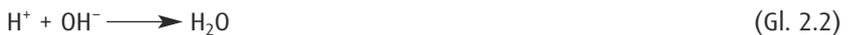


Zunächst werden einige grundlegende Begriffe beschrieben, um die vorliegende Synthesaufgabe vollständig zu erfassen:

1. Unter einer chemischen Synthese versteht man die Herstellung eines neuen Stoffes aus einem oder mehreren Ausgangsstoffen durch gezielte und geplante chemische Reaktion. Bei einer chemischen Reaktion erfahren die Stoffe eine Umwandlung in andere Stoffe.
2. Die Ausgangsstoffe für die Synthese werden «Edukte», die durch die chemische Reaktion entstehenden Stoffe werden «Produkte» genannt.
3. Bei der Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) handelt es sich um eine starke Säure. Säuren enthalten aktive, positiv geladene und sauer wirkende  $\text{H}^+$ -Teilchen und einen negativ geladenen Säurerest:  
 $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{ sauer wirkende } \text{H}^+\text{-Teilchen und der Säurerest Sulfat } (\text{SO}_4^{2-})$ .
4. Bei Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) handelt es sich um eine starke und ätzende Base, die aus 1 positiven Metallrest ( $\text{Na}^+$ ) und aus 1 basisch wirkenden, negativ geladenen  $\text{OH}^-$ -Teilchen besteht.  
 $\text{NaOH} \rightarrow \text{basisch wirkendes } \text{OH}^- \text{ und der Metallrest } \text{Na}^+$
5. Wenn eine Base und eine Säure im idealen Verhältnis chemisch miteinander reagieren, neutralisieren sie sich gegenseitig vollständig. Als Ergebnis dieser Reaktion entsteht ein Salz, als Nebenprodukt zusätzlich noch Wasser. Diese Art der Reaktion nennt man «Neutralisation». Die Reaktion kann durch eine Gleichung beschrieben werden, wobei der Reaktionspfeil die Richtung der Reaktion (von links nach rechts) beschreibt (vgl. dazu Gl. 2.1). Die Edukte stehen links vom Pfeil, die Produkte stehen rechts davon.



6. Bei einer Neutralisationsreaktion ist die treibende Kraft der Zusammenschluss von  $\text{H}^+$ -Teilchen der Säure und  $\text{OH}^-$ -Teilchen der Base zu neutralem Wasser  $\text{H}_2\text{O}$  (s. Gl. 2.2).



7. Das bei der Neutralisation entstehende Salz Natriumsulfat bekommt den Namen von der Base (Natrium) und von der Säure (Sulfat).

Zusammengefasst könnte demnach das Ziel von **Prozess P1\_KAP2** auf «Chemikerdeutsch» lauten: «Stelle durch Neutralisation aus den Edukten Schwefelsäure und Natriumhydroxid 1000 g des Produktes Natriumsulfat her!»

Bei diesem Prozess handelt es sich um eine chemische Reaktion zweier Partner. Dazu müssen die Reaktionspartner (Edukte) intensiv vermischt werden, damit ihre Moleküle die geplante Reaktion vollziehen können. In späteren Kapiteln wird noch genauer erläutert, dass dazu eine bestimmte Anfangsenergie notwendig ist, damit die Moleküle im richtigen Winkel mit der optimalen Aufprallstärke miteinander reagieren können. In diesem Kapitel steht eine einfache Neutralisationsreaktion im Vordergrund, die spontan und mit sehr hoher Geschwindigkeit abläuft.



### Informationssuche

Suchen Sie in entsprechender Literatur, Datenbanken, Lexika oder im Internet (z.B. <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>) nach den Begriffen «Atom» und «Molekül» und erfassen Sie die Zusammenhänge.



## Vertiefungsübung V2.1

Schlagen Sie eine Reaktion für das Produkt «Kaliumchlorid» vor, und benennen Sie die Ausgangssubstanzen!



## Vertiefungsübung V2.2

Was würde passieren, wenn man beispielsweise  $m = 1000$  g Schwefelsäure und  $m = 5$  g Natriumhydroxid zusammengeben würde? Würde eine vollständige Reaktion ablaufen?

Das Ergebnis der Vertiefungsübung V2.2 ist eine unvollständige Reaktion und ist etwas genauer zu betrachten. Zunächst würde die geplante chemische Reaktion (Neutralisation) tatsächlich ablaufen. Es ist offensichtlich und logisch, dass das Natriumhydroxid, das ganz offensichtlich in der Mindermenge ist, sehr schnell verbraucht wird und danach die Reaktion aufhört. Die Hauptmenge der unverbrauchten Schwefelsäure befindet sich ebenfalls im Gemisch und macht es «sauer». Das Synthesegemisch besteht also aus wenig Natriumsulfat und Wasser (entstanden durch die Neutralisation) und noch sehr viel unverbrauchter Schwefelsäure. Da das Edukt Natriumhydroxid vollständig verbraucht wurde, ist es im Synthesegemisch nicht mehr vorhanden.

Es liegt also auf der Hand, dass sich der Laborant bei einer Syntheseplanung vor der Experimentausführung Gedanken machen muss, wie viel er von den einzelnen Edukten zur vollständigen Reaktion einsetzt. Dazu sind Kenntnisse von Grundgesetzen der allgemeinen chemischen Formelsprache und Grundsätze bei der Mengenberechnung notwendig, die im nächsten Abschnitt erläutert werden.

## 2.2 Chemische Formelsprache

Zur genauen Beschreibung von chemischen Verbindungen wird in der Chemie eine Formelsprache verwendet, die mit Hilfe von Symbolen und Zahlen Art und Menge der an der Verbindung beteiligten Elemente beschreibt. Mit dieser Symbolsprache können alle Umwandlungsprozesse während einer chemischen Reaktion beschrieben werden. Bestandteil aller Verbindungen sind die Elemente, die nur aus gleichartigen Atomen bestehen. Diese Elemente werden durch international festgelegte Symbole gekennzeichnet, die aus dem Periodensystem der Elemente entnommen werden können. So sind die Elementsymbole für:

- Natrium → Na
- Schwefel → S
- Sauerstoff → O
- Wasserstoff → H

Verbindungen bestehen aus mehreren Atomen, aus deren Symbolen die Formel der Verbindung aufgebaut ist. Gleichzeitig wird durch einen Zahlenindex, der hinter dem Symbol steht, gekennzeichnet, aus wie vielen Atomen des betreffenden Elementes die Verbindung aufgebaut ist. Der Index «1» wird weggelassen. Z.B. besteht die Verbindung Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  aus:

- 2 Atomen Wasserstoff (2 H),
- 1 Atom Schwefel (S),
- 4 Atomen Sauerstoff (4 O).

Bei der Darstellung einer chemischen Formel gibt es 3 Darstellungsmöglichkeiten, die je nach Anwendung verwendet werden:

- die Summenformel,
- die Strukturformel und
- die rationale Formel.

Am Beispiel des Ethylalkohols (Ethanol) sollen alle 3 Formeln erläutert werden.

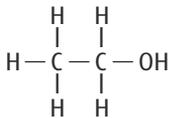
Wenn Ethylalkohol einer chemischen Analyse unterworfen wird, die Art und Anzahl der an der Verbindung beteiligten Elemente bestimmt, erhält man:

- Kohlenstoff C → 2 Teile,
- Wasserstoff H → 6 Teile,
- Sauerstoff O → 1 Teil.

Daraus kann die *Summenformel* aufgestellt werden, die nur Art und Anzahl der Atome in der Verbindung wiedergibt. Die Summenformel von Ethylalkohol lautet:



Die *Strukturformel* gibt zunächst auch Art und Anzahl der an der Verbindung beteiligten Elemente wieder, macht aber darüber hinaus eine Aussage, *wie* die Elemente miteinander verknüpft sind. Die Strukturformel von Ethylalkohol lautet:



Die *rationelle Formel* wird von Praktikern gerne benutzt, weil sie ähnlich wie die Strukturformel die Funktion der Verbindung aufzeigt, aber einen geringeren Aufwand beim Schreiben benötigt. Die rationale Formel von Ethylalkohol ist:



Man erkennt aus der rationalen Formel und aus der Strukturformel, dass die -OH-Gruppe im Ethylalkohol eine besondere Funktion (funktionelle Gruppe) besitzt. Die funktionelle Gruppe bestimmt in hohem Maß die Eigenschaft der Verbindung, z.B. die Wasserlöslichkeit von Ethylalkohol. Aus der Summenformel  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  ist die Bedeutung der OH-Gruppe nicht zu erkennen.

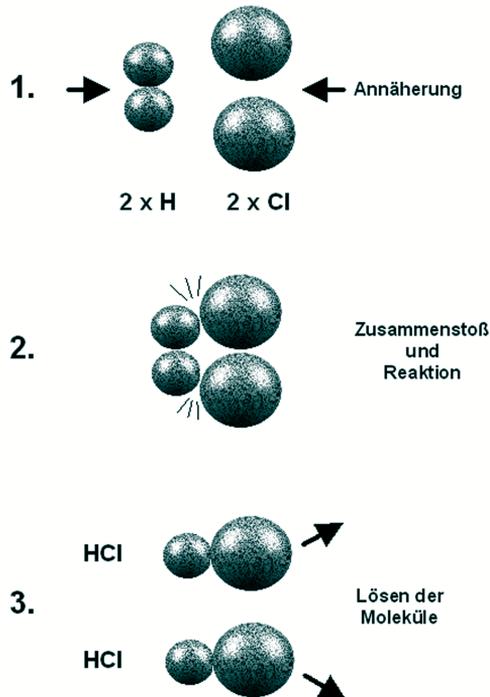
Dimethylether hat z.B. die rationale Formel:



Bildet man daraus die Summenformel, erhält man  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ , dieselbe Summenformel, die auch Ethylalkohol hat. Mit Hilfe der Summenformel wären die beiden Verbindungen nicht zu unterscheiden, mit Hilfe der Strukturformel oder rationalen Formel gelingt das sofort:



Bei der Berechnung der «molaren Masse» einer Verbindung bietet die Verwendung der Summenformel Vorteile, weil sie in kompakter Form die Elemente und ihre Anzahl aufzeigt. Um die chemische Formelsprache anwenden und verstehen zu können, muss zunächst

**Bild 2.1**

Reaktion von 2 Atomen  
Wasserstoff und 2 Atomen  
Chlor zu 2 Molekülen  
Chlorwasserstoff

der Begriff «Materie» erklärt werden. Darunter wird i.Allg. eine Bezeichnung für alles Stoffliche verstanden, also alles, was uns umgibt und aus dem wir selbst bestehen. Materie ist definiert durch ihre «Masse» und durch ihre «innere Struktur». Dabei ist Materie aus Atomen oder Molekülen aufgebaut. Reagieren mehrere Atome miteinander zu einem neuen Verband, bilden sie ein Molekül. Aber auch Moleküle können mit anderen Atomen zu einem neuen Molekül reagieren. Z.B. reagieren 2 Wasserstoffatome ( $\text{H}_2$ ) mit 2 Chloratomen ( $\text{Cl}_2$ ) zu 2 Molekülen Chlorwasserstoff ( $\text{HCl}$ ) (siehe Bild 2.1).

In Kapitel 4 werden die Begriffe «Atom» und «Molekül» noch ausführlicher und genauer diskutiert.

Materie tritt in den 3 folgenden Aggregatzuständen auf:

- fester Aggregatzustand,
- flüssiger Aggregatzustand,
- gasförmiger (gasiger) Aggregatzustand.

Man betrachte zunächst einen Stab aus reinem Eisen. Er ist unbestritten fest, hat also den Aggregatzustand «fest». Der feste Aggregatzustand ist dadurch geprägt, dass der Gegenstand eine feste Form mit einem definierten Volumen einnimmt. Da Eisen ein chemisches Element ist (chemisches Zeichen  $\text{Fe}$ ), besteht der Stab aus Atomen.

Besteht der Stab nur aus Eisen, ist also kein weiterer Stoff (auch nicht als Verunreinigung) im Stabmaterial nachweisbar, so ist er ein «Reinstoff».

### Definition «Reinstoff»

Als Reinstoff bezeichnet man einen Stoff, der einheitlich zusammengesetzt ist und mit physikalischen Trennmethode(n) (z.B. Destillation oder Filtration) nicht in seine Bestandteile aufgetrennt werden kann.



Reinstoffe können Verbindungen oder Elemente sein. Reinstoffe haben klar definierte physikalische Eigenschaften, die zur Charakterisierung verwendet werden, z.B.

- Schmelzpunkt  $\vartheta_m$  (Index «m» von melting point)
- Siedepunkt  $\vartheta_b$  (Index «b» von «boiling point») oder
- Dichte  $\rho$

Reinstoffe gibt es in der Realität nur sehr selten. Gewöhnlich ist das Eisen mit anderen Stoffen «verunreinigt» oder mit anderen Stoffen gezielt «legiert». Solche losen oder festen Gemische werden auch «Gemenge» genannt.



### Definition «Gemenge»

Unter einem Gemenge versteht man einen Stoff, der aus mindestens 2 Reinstoffen besteht.

Die verschiedenen Arten der Gemische, die nach den Aggregatzuständen der vermischten Stoffe unterschieden werden, lassen sich in 2 Gruppen unterteilen:

- Homogene Gemische sind vermischte Reinstoffe, die nicht mit dem bloßen Auge als Gemische zu erkennen sind. Sie sind «einphasig».
- Heterogene Gemische (Dispersionen) sind als Mischungen mit dem bloßen Auge erkennbar, sie sind «mehrphasig». (Näheres dazu siehe Kapitel 3.)



### Informationssuche

Suchen Sie in entsprechender Literatur, Datenbanken, Lexika oder im Internet (z.B. <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>) nach dem Begriff «Phase» und erfassen Sie die Zusammenhänge.

Im Gegensatz zum festen Eisen, das nur aus Eisenatomen aufgebaut ist, besteht das Wasser aus Molekülen, die aus 2 Wasserstoffatomen und 1 Sauerstoffatom aufgebaut sind.

Wasser ist zwischen  $\vartheta = 0\text{ °C}$  und  $\vartheta = 100\text{ °C}$  eine Flüssigkeit. Eine definierte Menge an flüssigem Wasser nimmt ein bestimmtes Volumen ein, hat aber keine feste Form, sondern passt sich dem Aufbewahrungsgefäß an. Flüssigkeiten lassen sich kaum komprimieren. Diese Eigenschaft nutzen Konstrukteure, in dem sie in einer Bremsanlage eines Autos die Kraft des Fahrers vom Bremspedal zum Bremszylinder über eine nichtkomprimierbare Flüssigkeit (Bremsflüssigkeit) weitertransportieren lassen.

Wasser hat in der chemischen Formelsprache die Formel  $\text{H}_2\text{O}$ , es besteht aus den Atomen Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Durch die klein geschriebene Zahl 2 («Index unten 2»), wird angezeigt, dass vom Wasserstoff 2 Atome und vom Sauerstoff nur 1 Atom (keine Indexzahl bedeutet immer 1) im Molekülverband vorhanden sind (s. Bild 2.2).

Der noch fehlende Aggregatzustand «gasförmig» ist gekennzeichnet durch eine Formlosigkeit und leichte Volumenveränderbarkeit. Gase sind sowohl leicht komprimierbar als auch wieder leicht entspannbar.

Reine Luft besteht überwiegend aus den Gasen Sauerstoff  $\text{O}_2$ , Stickstoff  $\text{N}_2$ , Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$ , Argon Ar und Helium He. Es ist ein homogenes Gemisch. Die Edelgase Argon und Helium bestehen aus Atomen, sind also Elemente. Die anderen Gase (außer  $\text{CO}_2$ ) sind «bimolekular», d.h., sie sind aus 2 Atomen aufgebaut.

Das Molekül Natriumsulfat  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ist aus 3 Atomsorten aufgebaut:

- Natrium Na, davon 2 Atome
- Schwefel S, davon 1 Atom
- Sauerstoff O, davon 4 Atome.