



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Chemie

für Schule und Beruf

Ein Lehr- und Lernbuch von Dr. Eckhard Ignatowitz

6. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselderger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten
Europa-Nr.: 70512

Autoren: Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz Studienrat a.D. Waldbronn
Larissa Ignatowitz Oberstudienrätin für Chemie Waldbronn

Lektorat: Dr. E. Ignatowitz, Waldbronn

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

6. Auflage 2020, korrigierter Nachdruck 2024

Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-6324-3

Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: rkt, 51379 Leverkusen, www.rktypo.com

Umschlag: braunwerbeagentur, Radevormwald unter Verwendung der Fotos © koya979@fotolia.com,
© valarti@fotolia.com und © shoot4u@fotolia.com

Druck: LD Medienhaus GmbH, 86153 Augsburg

Vorwort

Das Buch **Chemie für Schule und Beruf** ist ein Lehr- und Lernbuch für die schulische und betriebliche Ausbildung im Unterrichtsfach Chemie.

Es ist vor allem für den Chemieunterricht an den verschiedenen Schulformen des berufsbildenden Schulwesens konzipiert:

- für **Berufsschulen** der Ausbildungsberufe aus dem Berufsfeld Chemie, Physik, Biologie.
Angesprochene Ausbildungsberufe: Chemikant, Produktionsfachkraft Chemie, Chemiefacharbeiter, Fachkraft für Wasserversorgungstechnik bzw. Abwassertechnik, Papiermacher, Färberei-Textilveredler, Textilreiniger, Lacklaborant, Baustoff- und Werkstoffprüfer, Physik- und Biologielaborant, Zahntechniker.
In Österreich Chemieverfahrenstechniker, in der Schweiz Chemie- und Pharmatechnologen.
- für **Berufsfachschulen, Berufsaufbauschulen, Fachoberschulen, Technische Gymnasien.**
- für **Meister-Fachschulen** und **Techniker-Fachschulen** der Berufsfelder Metall- und Kfz-Technik, Elektrotechnik sowie Metallbau und Bautechnik.

Um den unterschiedlichen Vorbildungen der Schüler gerecht zu werden, setzt das Buch keine chemischen Vorkenntnisse voraus. Es beginnt mit einer didaktisch einfachen Darstellung der Grundlagen, die mit vielen bildlichen Darstellungen und Versuchsbeschreibungen untermauert und erläutert werden. Im Verlauf des Buches steigert sich der Schwierigkeitsgrad zu einer anspruchsvolleren Darstellungsweise.

Das Buch ist didaktisch durchstrukturiert: Die Erkenntnisse werden möglichst anhand von Versuchsergebnissen bzw. Analogieschlüssen erarbeitet und dann in Merksätzen und Formeln festgehalten. Übungsbeispiele und Aufgaben vertiefen das erarbeitete Wissen.

Am Schluss jeden größeren Abschnitts folgen zwei Fragenblöcke, die das erworbene Wissen weiter festigen. Die Fragen „Prüfen Sie Ihr Wissen“ sind aus dem Buchtext zu beantworten. Die Fragen „Wenden Sie Ihr Wissen an“ sind komplexere Fragen bzw. Transferfragen.

Das Buch **Chemie für Schule und Beruf** gliedert sich in acht Kapitel:

Im Kapitel **1 Allgemeine Chemie** werden die chemischen Grundlagen ausführlich behandelt. Zuerst werden die Grundbegriffe und die einfachen Gesetzmäßigkeiten eingeführt. Dann werden die Grundlagen durch die moderne Atomvorstellung, die Ionentheorie und physikalisch-chemische Phänomene vertieft.

Kapitel **2 Anorganische Chemie** behandelt systematisch die Elemente nach ihrer Stellung im Periodensystem der Elemente (PSE) sowie deren Verbindungen. Dieser Abschnitt hat „Nachschlagecharakter“.

Kapitel **3 Anorganische Technologie** stellt den Bezug zur chemisch-technischen Berufswelt her. An ausgewählten Bereichen der anorganischen Chemieindustrie werden deren chemische Grundlagen sowie die chemisch-industrielle Ausgestaltung aufgezeigt.

Kapitel **4 Elektrochemie, Korrosion** erläutert die Grundlagen und technischen Anwendungen der Elektrochemie sowie der Korrosion und des Korrosionsschutzes.

Kapitel **5 Organische Chemie** gibt einen systematischen Überblick über die gebräuchlichsten Verbindungsklassen der organischen Chemie und macht mit wichtigen organo-chemischen Stoffen bekannt.

Im Kapitel **6 Organische Technologie** wird an wichtigen Industriezweigen die chemisch-technologische Ausgestaltung der organischen Chemieindustrie vorgeführt.

Kapitel **7 Naturstoffe und Biochemie** behandelt die wichtigsten Naturstoffe und gibt einen Einblick in die Stoffwechselforgänge und die modernen Anwendungen der Biochemie und Gentechnik.

Die Stellung der Chemie im Spannungsfeld zur Umwelt wird an vielen Stellen des Buches und am Schluss im Kapitel **8 Chemie, Mensch und Umwelt** zusammenfassend behandelt.

Bei vollständigem Durcharbeiten in der vorgegebenen Reihenfolge gibt das Buch eine gründliche Einführung in wichtige Bereiche der Chemie. Bei nur begrenzt zur Verfügung stehender Unterrichtszeit ist auch eine auszugswise Bearbeitung möglich. Dazu behandelt man die benötigten Sachthemen aus der allgemeinen, anorganischen und organischen Chemie und vervollständigt mit Sachthemen aus den Technologiekapiteln, die für die spezielle Berufsgruppe bzw. Schulform erforderlich sind.

Bei dieser Arbeitsweise ist das Buch für eine Vielzahl von Ausbildungsberufen und Schulformen einsetzbar.

In der vorliegenden 6. Auflage wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. wesentlich ergänzt: Stöchiometrische Berechnungen Seite 104 (Seiten 65 bis 67), Redoxgleichungen (Seiten 76 und 77), Prolyse (Seiten 80 bis 82), Edelgase (Seite 138), Meerwasserentsalzung (Seite 175), Lithium-Ionen-Akku, Brennstoffzelle (Seiten 192 und 193), nachwachsende Rohstoffe (Seite 252), Arbeitssicherheit (Seiten 295 bis 301), Lernfelder Chemikant (Seiten 302 bis 305), englische Sachwörter (Seiten 306 bis 318).

Inhaltsverzeichnis

<p>Die Bedeutung der Chemie 8</p> <p>Chemiegeräte im Labor, Technikum und Chemiebetrieb 9</p> <p>Arbeitssicherheit und Unfallverhütung beim Umgang mit Chemikalien 10</p> <p>1 Allgemeine Chemie 14</p> <p>1.1 Stoffe, Stoffeigenschaften, Stoffarten 14</p> <p>1.1.1 Der Stoffbegriff 14</p> <p>1.1.2 Physikalische Eigenschaften 15</p> <p>1.1.3 Chemische Eigenschaften 16</p> <p>1.1.4 Einteilung und Trennverfahren der Stoffe 17</p> <p>1.2 Chemische Grundbegriffe 20</p> <p>1.2.1 Die chemischen Elemente (Grundstoffe) 20</p> <p>1.2.2 Abgrenzung: chemische Verbindung/ Stoffgemische 21</p> <p>1.2.3 Atome, Moleküle, Teilchenverbände 22</p> <p>1.2.4 Chemische Formeln 23</p> <p>1.2.5 Atomare Vorgänge bei chemischen Reaktionen 24</p> <p>1.2.6 Reaktionsgleichungen 25</p> <p>1.2.7 Energie bei chemischen Reaktionen 26</p> <p>1.3 Die Luft 27</p> <p>1.3.1 Zusammensetzung, Eigenschaften 27</p> <p>1.3.2 Sauerstoff 29</p> <p>1.3.3 Oxidation, Oxide 30</p> <p>1.3.4 Oxidationsvorgänge in der Technik 31</p> <p>1.3.5 Reduktion, Redoxreaktionen 32</p> <p>1.4 Das Wasser 34</p> <p>1.4.1 Vorkommen und Aufbereitung 34</p> <p>1.4.2 Physikalische Eigenschaften 34</p> <p>1.4.3 Wasser – Lösemittel und Basis des Lebens 35</p> <p>1.4.4 Chemische Zusammensetzung 35</p> <p>1.4.5 Wasserstoff 36</p> <p>1.5 Säuren, Laugen, Salze 38</p> <p>1.5.1 Säuren 39</p> <p>1.5.2 Laugen 43</p> <p>1.5.3 Salze 45</p> <p>1.5.4 Benennung der Salze (Nomenklatur) 46</p> <p>1.6 Gesetzmäßigkeiten bei der Bildung chemischer Verbindungen 48</p> <p>1.6.1 Massengesetze der Verbindungsbildung 48</p> <p>1.6.2 Bindigkeit (Wertigkeit) 49</p> <p>1.6.3 Aufstellen chemischer Formeln 50</p> <p>1.6.4 Empirische Formel, Molekülformel, Valenzstrichformel 51</p> <p>1.6.5 Volumengesetz reagierender Gase 52</p> <p>1.6.6 Satz von Avogadro 53</p> <p>1.7 Bau der Atome 54</p> <p>1.7.1 Moderne Atomvorstellung 54</p> <p>1.7.2 Atomkern 55</p> <p>1.7.3 Atomhülle 56</p> <p>1.7.4 Orbital-Atommodell 57</p> <p>1.8 Periodensystem der Elemente (PSE) 58</p> <p>1.8.1 Kurzform – PSE 58</p> <p>1.8.2 Atombau und Periodensystem 59</p> <p>1.8.3 Vollständiges Periodensystem der Elemente 60</p>	<p>Verhalten bei Bränden 11</p> <p>Umgang und Kennzeichnung der Gefahrstoffe 11</p> <p>Persönliche Schutzausrüstung 12</p> <p>Chemie – eine Naturwissenschaft 13</p> <p>1.9 Massen und Stoffmengen 62</p> <p>1.9.1 Atommasse und Molekülmasse 62</p> <p>1.9.2 Die Stoffmenge und ihre Einheit: das Mol 63</p> <p>1.9.3 Molare Masse 63</p> <p>1.9.4 Molare Volumen 64</p> <p>1.9.5 Die erweiterte Aussage der chemischen Gleichung 64</p> <p>1.10 Stöchiometrische Berechnungen 65</p> <p>1.10.1 Bestimmungsgrößen für Stoffportionen 65</p> <p>1.10.2 Massenanteile der Elemente in chemischen Verbindungen 65</p> <p>1.10.3 Masse der Elemente in Stoffportionen 65</p> <p>1.10.4 Umgesetzte Massen bei chemischen Reaktionen 66</p> <p>1.11 Gehaltsangaben von Mischungen und Lösungen 67</p> <p>1.12 Chemische Bindungsarten 68</p> <p>1.12.1 Verbindungsbestreben und Atombau 68</p> <p>1.12.2 Ionenbindung 69</p> <p>1.12.3 Atombindung 70</p> <p>1.12.4 Polare Atombindung 71</p> <p>1.12.5 Elektronegativität 71</p> <p>1.12.6 Wasserstoffbrückenbindung 72</p> <p>1.12.7 Van der Waals-Bindungskräfte 72</p> <p>1.12.8 Bindungen in Komplexmolekülen 73</p> <p>1.12.9 Metallbindung 73</p> <p>1.13 Elektronenvorgänge bei chemischen Reaktionen 74</p> <p>1.13.1 Oxidation, Reduktion, Redoxreaktionen 74</p> <p>1.13.2 Oxidationszahl 75</p> <p>1.13.3 Aufstellen und Bilanzieren von Redoxgleichungen 76</p> <p>1.14 Ionen – Stoffteilchen mit besonderen Eigenschaften 78</p> <p>1.14.1 Elektrische Leitfähigkeit wässriger Lösungen 78</p> <p>1.14.2 Dissoziation und Hydratation der Salze 79</p> <p>1.14.3 Elektrische Leitfähigkeit von Salzschmelzen 79</p> <p>1.15 Protolyse 80</p> <p>1.15.1 Vorgänge beim Lösen von Chlorwasserstoff in Wasser 80</p> <p>1.15.2 Definition der Säuren und Basen nach Brönsted 80</p> <p>1.15.3 Vorgänge beim Lösen von Ammoniak in Wasser 81</p> <p>1.15.4 Der Begriff Säure-Base-Reaktion 81</p> <p>1.16 pH-Wert 82</p> <p>1.17 Stärke von Säuren 84</p> <p>1.18 Ionenreaktionen in Lösungen 85</p>
--	--

1.19 Ablauf chemischer Reaktionen	86	1.21.1 Wärme – atomistisch betrachtet.	94
1.19.1 Bedingungen für chemische Reaktionen . .	86	1.21.2 Aggregatzustände und atomarer Bau	94
1.19.2 Katalyse	88	1.21.3 Zustandsänderungen bei Gasen.	96
1.19.3 Geschwindigkeit chemischer Reaktionen . .	90	1.21.4 Eigenschaften der Flüssigkeiten	98
1.20 Chemisches Gleichgewicht, Massenwirkungsgesetz	91	1.21.5 Eigenschaften der Feststoffe.	100
1.20.1 Chemisches Gleichgewicht	91	1.22 Kernprozesse	101
1.20.2 Massenwirkungsgesetz	93	1.22.1 Eigenschaften radioaktiver Strahlung	101
1.21 Physikalisch-chemische Stoffeigenschaften.	94	1.22.2 Messung radioaktiver Strahlung	102
		1.22.3 Vorgänge bei der Kernspaltung	103
2 Anorganische Chemie 104			
Übersicht der Rohstoffe	104	2.4.3 Silicium	121
Überblick über die Chemie.	105	2.4.4 Siliciumverbindungen.	122
2.1 I. Hauptgruppe: Wasserstoff und Alkalimetalle	106	2.4.5 Zinn.	123
2.1.1 Natrium	107	2.4.6 Blei	123
2.1.2 Natriumverbindungen	107	2.5 V. Hauptgruppe: Stickstoff-Phosphor-Gruppe	124
2.1.3 Kalium	109	2.5.1 Stickstoff	124
2.1.4 Kaliumverbindungen	109	2.5.2 Stickstoffverbindungen	125
2.1.5 Ammonium-Ion	110	2.5.3 Phosphor.	127
2.1.6 Ammoniumverbindungen	110	2.5.4 Phosphorverbindungen	128
2.2 II. Hauptgruppe: Erdalkalimetalle.	111	2.6 VI. Hauptgruppe: Sauerstoff-Schwefel-Gruppe	129
2.2.1 Beryllium	111	2.6.1 Sauerstoff	129
2.2.2 Magnesium	112	2.6.2 Ozon	130
2.2.3 Magnesiumverbindungen	112	2.6.3 Sauerstoffverbindungen	130
2.2.4 Calcium	113	2.6.4 Schwefel	131
2.2.5 Calciumverbindungen	113	2.6.5 Schwefelverbindungen	133
2.2.6 Strontium	115	2.7 VII. Hauptgruppe: Halogene	134
2.2.7 Barium und Bariumverbindungen	115	2.7.1 Fluor	135
2.3 III. Hauptgruppe: Bor-Erdmetalle-Gruppe	116	2.7.2 Chlor.	135
2.3.1 Bor und Borverbindungen	116	2.7.3 Brom.	136
2.3.2 Aluminium	117	2.7.4 Iod.	137
2.3.3 Aluminiumverbindungen	117	2.8 VIII. Hauptgruppe: Edelgase	138
2.4 IV. Hauptgruppe: Kohlenstoff-Silicium-Gruppe	118	2.9 Nebengruppenelemente	139
2.4.1 Kohlenstoff	118	2.10 Lanthanoiden- und Actinoidenelemente	141
2.4.2 Kohlenstoffverbindungen	119		
3 Anorganische Technologie. 142			
3.1 Großtechnische Produktion anorganischer Grundchemikalien.	143	3.2.2 Mineraldünger und ihre Herstellung	155
3.1.1 Schwefelsäureherstellung nach dem Doppelkontakt-Verfahren.	144	3.2.3 Düngung und Umwelt	157
3.1.2 Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren	146	3.3 Chemie und Technologie der Metallwerkstoffe	158
3.1.3 Chloralkali-Elektrolyse	148	3.3.1 Übersicht und Einteilung der Metalle	158
3.1.4 Sodaherstellung nach dem Solvay-Verfahren.	151	3.3.2 Roheisengewinnung.	159
3.1.5 Salpetersäureherstellung nach dem Ostwald-Verfahren	152	3.3.3 Stahlherstellung.	160
3.1.6 Salzsäureherstellung	153	3.3.4 Wichtige Eisen/Stahl-Werkstoffe	162
3.2 Chemie und Technologie der Mineraldünger	154	3.3.5 Innerer Aufbau der Metalle	163
3.2.1 Grundlagen der Pflanzenernährung.	154	3.3.6 Der Werkstoff Aluminium	164
		3.3.7 Der Werkstoff Kupfer	166
		3.3.8 Weitere technisch wichtige Metalle	168
		3.4 Chemie und Technologie des Wassers	170
		3.4.1 Natürliche Wasserarten und ihre Inhaltsstoffe	170

3.4.2	Trinkwassergewinnung	171	3.5	Chemie und Technologie der Baustoffe	178
3.4.3	Wasserhärte	172	3.5.1	Kalk	178
3.4.4	Wasser für technische Verwendungen (Betriebswässer)	173	3.5.2	Gips	179
3.4.5	Wasserenthärtung	174	3.5.3	Zement	180
3.4.6	Vollentsalzung von Wasser für Chemieanlagen	175	3.6	Chemie und Technologie der keramischen Stoffe und Gläser	182
3.4.7	Meerwasserentsalzung	175	3.6.1	Keramische Stoffe	182
3.4.8	Reinigung industriell verschmutzter Abwässer	176	3.6.2	Glas	184
4	Elektrochemie, Korrosion	186			
4.1	Elektrochemische Grundlagen	186	4.7.3	Reinigen von Rohkupfer durch Elektrolyse	198
4.2	Galvanisches Element	188	4.7.4	Galvanisieren	199
4.3	Galvanische Zellen	189	4.7.5	Anodisches Oxidieren von Aluminium-Bauteilen (Eloxal-Verfahren)	199
4.4	Akkumulatoren	191	4.8	Korrosion	200
4.4.1	Bleiakkumulator (Auto-Starterbatterie)	191	4.8.1	Elektrochemische Sauerstoffkorrosion feuchter Stahloberflächen	200
4.4.2	Lithium-Ionen-Akku	192	4.8.2	Elektrochemische Wasserstoffkorrosion	201
4.5	Brennstoffzelle	193	4.8.3	Elektrochemische Korrosion an Korrosionselementen	201
4.6	Elektrolyse	194	4.8.4	Passivierung	202
4.6.1	Elektrolyse wässriger Lösungen	194	4.8.5	Chemische Korrosion	202
4.6.2	Faradaysche Gesetze	196	4.8.6	Erscheinungsformen der Korrosion	202
4.7	Anwendungen der Elektrolyse	197	4.8.7	Korrosionsverhalten der metallischen Werkstoffe	203
4.7.1	Gewinnung chemischer Grundstoffe	197	4.8.8	Korrosionsschutzmaßnahmen	204
4.7.2	Gewinnung unedler Metalle aus Salzschmelzen (Schmelzflusselektrolyse)	197			
5	Organische Chemie	206			
5.1	Kohlenwasserstoffe	207	5.6	Carbonsäuren	227
5.1.1	Alkane	208	5.6.1	Die Stoffgruppe	227
5.1.2	Eigenschaften der Alkane	210	5.6.2	Die homologe Reihe der Alkansäuren	228
5.1.3	Halogenalkane	211	5.6.3	Eigenschaften der Alkansäuren	228
5.1.4	Ringförmige Alkane: Cycloalkane	212	5.6.4	Wichtige Alkansäuren	229
5.1.5	Alkene	213	5.6.5	Ungesättigte Carbonsäuren	230
5.1.6	Reaktionen der Alkene	215	5.6.6	Dicarbonsäuren	230
5.1.7	Alkine	216	5.6.7	Hydroxycarbonsäuren	231
5.2	Aromatische Kohlenwasserstoffe	218	5.6.8	Aromatische Carbonsäuren	231
5.2.1	Benzol	218	5.7	Ester	231
5.2.2	Chemische Reaktionen und Verbindungen	219	5.7.1	Die Stoffgruppe der Ester	232
5.2.3	Mehrgliedrige Aromate	220	5.7.2	Eigenschaften	232
5.3	Alkohole	221	5.7.3	Wichtige Ester	233
5.3.1	Die Stoffgruppe	221	5.8	Ether	233
5.3.2	Die homologe Reihe der Alkanole	221	5.9	Stickstoffhaltige organische Verbindungen	234
5.3.3	Eigenschaften	222	5.9.1	Amine	234
5.3.4	Chemische Reaktionen	222	5.9.2	Aminocarbonsäuren	235
5.3.5	Wichtige Alkanole	223	5.9.3	Nitroverbindungen	235
5.3.6	Isomerie bei Alkanolen	224	5.9.4	Nitrile (Cyanide)	235
5.3.7	Mehrwertige Alkanole	224	5.10	Schwefelhaltige organische Verbindungen	236
5.4	Aldehyde	225	5.11	Heterocyclische Verbindungen	236
5.4.1	Die Stoffgruppe	225	5.12	Tabellarische Übersicht der organischen Verbindungsklassen	237
5.4.2	Die homologe Reihe der Alkanale	225			
5.4.3	Wichtige Aldehyde	226			
5.5	Ketone	226			

6 Organische Technologie	238		
6.1 Übersicht der Stoffe der organischen Großchemie	239	6.7.3 Polymerisation	254
6.2 Erdöl und Erdgas	240	6.7.4 Polykondensation	255
6.2.1 Entstehung und Gewinnung	240	6.7.5 Polyaddition	255
6.2.2 Fraktionierte Destillation des Erdöls	241	6.7.6 Technologische Einteilung	256
6.2.3 Veredelung der Erdölfractionen	243	6.7.7 Thermoplaste	257
6.3 Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren	245	6.7.8 Duroplaste	260
6.3.1 Ottomotoren-Kraftstoffe	245	6.7.9 Verarbeitung der Kunststoffe	262
6.3.2 Dieselmotoren-Kraftstoffe	246	6.7.10 Elastomere	264
6.4 Petrochemie	247	6.7.11 Silikone	265
6.5 Kohle	249	6.8 Farbmittel	266
6.5.1 Entstehung und Gewinnung	249	6.8.1 Grundlagen der Farbwahrnehmung	266
6.5.2 Verwendung der Kohle	250	6.8.2 Farbstoffe	267
6.5.3 Neue Kohletechnologien	251	6.8.3 Pigmente	268
6.6 Nachwachsende organische Rohstoffe	252	6.9 Reinigungs- und Waschmittel	269
6.7 Kunststoffe (Polymere)	253	6.9.1 Wirkungsweise waschaktiver Substanzen	269
6.7.1 Allgemeine Eigenschaften	253	6.9.2 Waschaktive Substanzen (Tenside)	269
6.7.2 Innerer Aufbau und Synthese von Polymeren	253	6.8.3 Waschmittelzusatzstoffe	270
		6.9.4 Zusammensetzung der Waschmittel	271
7 Naturstoffe und Biochemie	272		
7.1 Fette	272	7.3.1 Eigenschaften, Nachweise	277
7.1.1 Chemischer Aufbau	272	7.3.2 Chemischer Aufbau	277
7.1.2 Fettgewinnung und Verarbeitung	273	7.3.3 Struktur der Proteine	278
7.1.3 Biologische Bedeutung der Fette	274	7.3.4 Biologische Bedeutung	279
7.2 Kohlenhydrate	274	7.4 Stoffwechsellvorgänge	280
7.2.1 Zuckerarten	274	7.4.1 Photosynthese	280
7.2.2 Stärke	276	7.4.2 Verwertung der Nahrungsstoffe	280
7.2.3 Cellulose	276	7.5 Mikroorganismen als Chemieproduzenten	281
7.3 Eiweiße (Proteine)	277		
8 Chemie, Mensch und Umwelt	282		
8.1 Nutzen der Chemie	282	8.5.2 Gewässergüte	289
8.2 Umweltgefährdung durch die Chemie	282	8.5.3 Abwasserreinigung	290
8.3 Chemieproduktion und Umweltschutzbereiche	283	8.6 Umweltschutzbereich Erdboden	292
8.4 Umweltschutzbereich Atmosphäre	284	8.6.1 Das Ökosystem Erdboden	292
8.4.1 Luftverunreinigungen	284	8.6.2 Beseitigung und Entsorgung fester Abfälle	292
8.4.2 Gesetzliche Bestimmungen	285	8.7 Arbeitssicherheit beim Umgang mit Chemikalien	295
8.4.3 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	286	8.7.1 Klassifizierung von Gefahrstoffen	295
8.4.4 Beseitigung der Abgase in Industriebetrieben	287	8.7.2 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	296
8.4.5 Entgiftung der Abgase von Verbrennungsmotoren	287	8.7.3 H-Sätze und P-Sätze	296
8.5 Umweltschutzbereich Gewässer	288	8.7.4 Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	298
8.5.1 Verschmutzung der Gewässer	288	8.7.5 Arbeitsplatz-Grenzwerte	298
		8.7.6 Betriebsanweisung	299
		8.7.7 Gesundheitsgefährliche und die Umwelt belastende Stoffe (Auswahl)	300
Lernfelder für den Ausbildungsberuf Chemikant(in) und Zuordnung der Chemie-Inhalte	302	Sachwortverzeichnis (mit engl. Übersetzung)	306
		Danksagung, Firmenverzeichnis	320

Die Bedeutung der Chemie

Aus der Geschichte ist bekannt, dass schon die Menschen früher Kulturen gewisse chemische Techniken ausübten und Rohstoffe in Werk- und Baustoffe umwandelten. So wurden die Mörtelbereitung, die Metallgewinnung, die Glasherstellung, die Färberei und Gerberei, die Heilmittelbereitung und andere chemische Verfahren schon im Altertum beherrscht.

Zusammenhängende Vorstellungen über das Wesen der chemischen Veränderungen konnte aber erst die moderne Naturwissenschaft etwa ab dem Jahre 1750 entwickeln.

Heute ist die Chemie mit ihren Produkten aus unserer Zivilisation nicht mehr wegzudenken. Sie sind fester Bestandteil unseres Lebens geworden.

Dies verdeutlicht ein Tagesablauf: Schon nach dem morgendlichen Aufstehen greifen wir nach Seife, Zahnpasta und anderen Hygieneartikeln, ziehen wir Kleider an, die aus synthetischen Fasern hergestellt sind, halten wir Porzellangeschirr und Metallbesteck in der Hand usw.

Was immer wir anfassen, es sind Materialien, die durch chemische Herstellungsprozesse entstanden sind.

Die augenfälligste Umwälzung, die der technische Fortschritt mit sich gebracht hat, zeigt sich in der Chemisierung der Volkswirtschaft. Eine Vielzahl von Chemiebetrieben sowie andere Industriebetriebe haben chemische Prozesse zur Grundlage bzw. erzeugen oder verarbeiten Produkte, die durch chemische Umwandlungen hergestellt wurden.

Das gilt z.B. für die pharmazeutische Industrie ebenso wie für die Hersteller von Wasch- und Reinigungsmitteln, Kosmetik- und Hygieneartikeln, für die Glas-, Baustoff- und Papierindustrie, für die metallerzeugende Industrie, für die kunststoff-erzeugende und -verarbeitende Industrie, für die petrochemische Industrie und viele andere Industriezweige mehr (**Bild 1**).

Aber nicht nur die neuen industriellen Bereiche und die modernen Materialien spiegeln die Durchdringung durch die Chemie wieder. Auch die älteren Produktionssektoren, wie z. B. die Landwirtschaft und die Nahrungsmittelherstellung sind mit ihren heutigen großen Erträgen ohne ernteverbessernde Produkte aus der Chemie, wie z. B. Dünger oder Schädlingsbekämpfungsmittel, nicht vorstellbar.

Diese totale Durchdringung aller Lebensbereiche und der Umwelt mit chemischen Produkten macht es unumgänglich, sich mit der Chemie zu beschäftigen, um die Vorgänge im persönlichen Umfeld und in der Arbeitswelt zu verstehen.

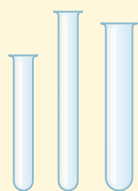


Bild 1: Erzeugnisse chemischer Herstellungsprozesse

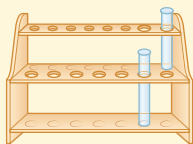
Chemiegeräte im Labor, Technikum und Chemiebetrieb

Beim Experimentieren im Chemielabor sowie bei Probenahmen im Technikum und Chemiebetrieb werden spezielle Chemiegeräte benutzt (siehe unten). Vor Beginn der Arbeiten müssen die sauberen Geräte bereitgestellt sein. Nach der Arbeit sind die Geräte gründlich zu reinigen und sicher aufzubewahren.

Glasgeräte



Reagenzgläser



Reagenzglasgestell



Bechergläser



Stehkolben



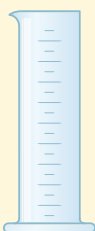
Rundkolben



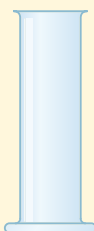
Messkolben

Erlenmeyerkolben
enghalsig

weithalsig



Messzylinder



Standzylinder



Filternutsche



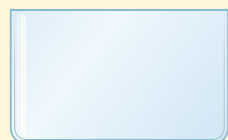
Filterflasche



Wägegglas



Kristallisierschale



Pneumatische Wanne



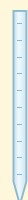
Uhrglas



Abdampfschale



Trichter



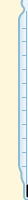
Messpipette



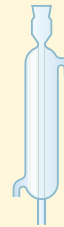
Tropfpipette



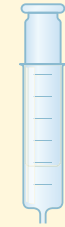
Bürette



Thermometer

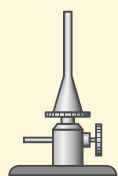


Liebigkühler

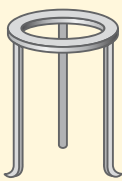


Kolbenprober

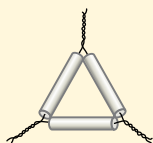
Geräte aus Metall, Porzellan, Holz, Kunststoff



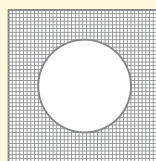
Gasbrenner



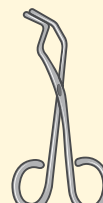
Dreifuß



Tondreieck



Drahtnetz



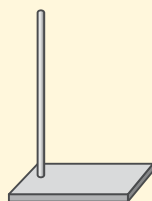
Tiegelzange



Reagenzglashalter



Verbrennungslöffel



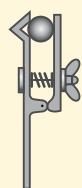
Stativ



Stativring



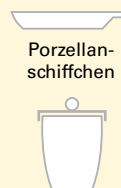
Doppelmuffe



Stativklemme



Spritzflasche



Porzellschiffchen



Porzellantiegel



Spatellöffel



Reibschale mit Pistill

Arbeitssicherheit und Unfallverhütung beim Umgang mit Chemikalien

Das Arbeiten mit Chemikalien birgt Gefahren. Nur durch sachgemäßes Ausführen der Arbeiten und Vorsicht kann eine Gefährdung der eigenen Gesundheit sowie die der Mitarbeiter vermieden werden.

■ Allgemeine Arbeitsregeln in der chemischen Industrie

1. Im chemischen Labor, im Technikum und im Chemie-Produktionsbetrieb ist Rauchen, Essen und Trinken verboten.
2. Im Chemiebetrieb ist die vorgesehene Arbeitskleidung (Arbeitsanzug oder Schutzanzug) sowie, falls erforderlich, ein Schutzhelm, Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille bzw. Gesichts-Vollschutz zu tragen.
3. Der Arbeitsplatz und die gebrauchten Arbeitsgeräte sind peinlich sauber zu halten. Reste giftiger Stoffe könnten zu Vergiftungen führen. Ist etwas verschüttet worden, so ist es sofort aufzunehmen und sachgemäß zu entsorgen.
4. Am Arbeitsplatz ist für Ordnung zu sorgen: Die Gefäße sowie die Arbeitsgeräte sind sofort nach dem Gebrauch wieder an ihren Platz zu stellen.
5. Unbekannte Chemikalien dürfen nicht direkt mit der Hand angefasst und unter keinen Umständen gekostet werden.
6. Generell sollten im Chemiebetrieb offene Flammen vermieden werden. Sie sind nur in dafür vorgesehenen Bereichen oder Räumen zulässig.
7. Beim Erhitzen von Flüssigkeiten im Reagenzglas darf die Öffnung des Reagenzglases nicht auf das eigene Gesicht oder auf nebenstehende Personen gerichtet sein. Plötzlich herausspritzende Flüssigkeit könnte zu Verbrühungen und Verätzungen führen. Das Reagenzglas ist nur zu etwa 1/4 zu füllen, beim Erhitzen ist durch leichtes Schütteln plötzliches Sieden zu vermeiden.
8. Vor Beginn der Arbeit mit brennbaren Flüssigkeiten muss man sich davon überzeugen, dass sich keine offene Flamme in der Nähe befindet.
9. Reste brennbarer Flüssigkeiten sind nicht in den Ausguss oder die Kanalisation zu schütten, sondern in speziellen Sammelbehältern zu sammeln.
10. Gesprungene oder beschädigte Glasgefäße oder Behälter dürfen nicht mehr benutzt werden. Sie sind in besonderen Abfallkästen zu sammeln und zu entsorgen.
11. Arbeiten, bei denen giftige oder gesundheitsschädliche Gase verwendet werden oder entstehen, sind unter dem Abzug durchzuführen. Giftige Gase sind z. B.: Kohlenstoffmonoxid CO, Schwefelwasserstoff H₂S, Cyanwasserstoff HCN, Chlor Cl₂.

Näheres zur Arbeitssicherheit beim Umgang mit Chemikalien auf Seite 295.

■ Erste Hilfe bei Unfällen

Die Hilfs- und Arzneimittel zur Erste-Hilfe-Versorgung befinden sich im **Erste-Hilfe-Kasten** in einer Erste-Hilfe-Station. Über seinen Standort im Betrieb und seinen Inhalt sollte man sich in einer Arbeitspause informieren.

Verbrennungen: Verbrannte Hautstellen mit sterilen Tüchern abdecken, dann Arzt aufsuchen.

Verätzungen: Verätzte Hautstellen ca. 5 Minuten mit fließendem Wasser bspülen, verätzte Augen ca. 5 Minuten mit Augenspülflüssigkeit oder, falls nicht vorhanden, mit Wasser spülen. Danach sofort Arzt aufsuchen.

Schnittwunden: Kleinere Schnittwunden mit Pflaster oder Mullbinde steril abdecken. Bei stark blutenden Schnittwunden Arm oder Bein abbinden. Schnellstens Arzt rufen.

Gasvergiftungen: Den Vergifteten aus der Gefahrenzone bringen, ruhig lagern, für frische Luft sorgen, bei Atemstillstand künstlich beatmen. Schnellstens Arzt rufen.



Rauchen
verboten



Schutzhelm
tragen



Augenschutz
tragen



Warnung vor
giftigen Stoffen



Warnung vor
feuergefährlichen
Stoffen



Warnung vor
ätzenden Stoffen



Erste-Hilfe-
Station



Fluchtweg oder
Erste-Hilfe-Station



Notdusche



Augenspü-
einrichtung

Auch bei kleinen Unfällen und Verletzungen sollte nach der Erste-Hilfe-Behandlung ein Arzt aufgesucht werden, um eine sachgerechte ärztliche Versorgung zu gewährleisten.

Verhalten bei Bränden

Ist es im Chemielabor oder Chemiebetrieb zu einem Brand gekommen, so ist Ruhe zu bewahren und überlegt zu handeln. Bei kleinen Bränden kann versucht werden, das Feuer selbst zu löschen, bei großen Bränden ist sofort die Feuerwehr zu alarmieren. Bei kleinen Bränden sollten, falls möglich, die Zuleitungs-Gashähne geschlossen werden und rasch alle brennbaren Gegenstände aus der Brandnähe entfernt werden. Dann ist der Brand mit einem Handfeuerlöscher zu bekämpfen. Chemikalienbrände oder Flüssigkeitsbrände **nicht** mit Wasser löschen.

Kleiderbrände sind durch Abdecken mit einer Feuerlöschdecke oder Kitteln, durch Löschen unter der Notdusche oder mit dem Feuerlöscher zu löschen.

Über den Standort des Feuerlöschers, den nächstgelegenen Wandhydranten mit Löschschlauch bzw. das Brandmelder-Telefon sowie Fluchtwege für den Brandfall sollte man durch eine Betriebsunterweisung informiert sein.



Bild 1: Hinweise auf Brandschutzmittel

Umgang und Kennzeichnung der Gefahrstoffe

In jedem Labor, Technikum oder Chemiebetrieb hat man es mit Gefahrstoffen zu tun. Dies sind Stoffe (Chemikalien), von denen eine Gefährdung für die Gesundheit und die Sicherheit der Menschen ausgeht.

Das sichere Arbeiten mit Gefahrstoffen basiert auf der Kenntnis der Schadstoffe, ihrer Eigenschaften und Gefahren sowie geeignete Sicherheits- und Schutzmaßnahmen.

Gefahrstoffe müssen als solche gekennzeichnet sein. Die Gefahrstoff-Kennzeichnung erfolgt mit einem deutlich sichtbaren, aufgeklebten Etikett nach dem *Globalen Harmonisierten System zur Kennzeichnung von Chemikalien*, kurz **GHS** genannt (Bild 2).

Auf dem Etikett steht die chemische Bezeichnung des Stoffs, seine EU-Nummer und ggf. eine Toxizitätskategorie. Daneben stehen Gefahrenpiktogramme und die Signalworte „Achtung“ oder „Gefahr“.

Aus den Gefahrenpiktogrammen können die Hauptgefahren auch von Analphabeten schnell erkannt werden.

So genannte **H-Sätze** (von englisch **H**azard = Gefahr) geben Gefahrenhinweise und **P-Sätze** (von englisch **P**recaution = Schutzmaßnahme) nennen Sicherheitshinweise.

Die wichtigsten H- bzw. P-Sätze sind mit Nummer und Text auf dem Etikett angegeben, von den anderen ist nur die Nummer genannt.

Die Bedeutung der nur mit Nummer genannten H- und P-Sätze kann aus Tabellenbüchern der Chemietechnik oder im Internet (z. B. http://de.wikipedia.org/wiki/H-_und_P-Sätze) eingesehen werden.

Auf alten Gebinden findet man noch Etiketten nach der alten Kennzeichnung gemäß Gefahrstoffverordnung. Sie enthält die alten Gefahrstoffsymbole sowie die alten **Risiko-** und **Sicherheitshinweise**, kurz **R-** und **S-Sätze** genannt. Deren Bedeutung kann ebenfalls aus Tabellenbüchern oder dem Internet entnommen werden (siehe oben).

Die einzelnen Gefahrstoffe, ihre Arbeitsplatz-Grenzwerte (AGW) sowie Angaben über ihre gesundheitlichen Gefahren und ihre sachgerechte Handhabung können aus dem Internet recherchiert werden.

Näheres dazu auf Seite 295.

Schwefelsäure (H ₂ SO ₄)	EU-Nummer 231-639-5	25 Liter
---	------------------------	-------------



Gefahr

H₂SO₄ verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

H₂SO₄ ist gegenüber Metallen korrosiv.
P 280: Schutzhandschuhe, Schutzkleidung, Augen- und Gesichtsschutz tragen
P 301 + P 330 + P 331, P 309, P 310, P 305 + P 351 + P 338

Hersteller mit Anschrift

Bild 2: Beispiel eines Etiketts zur Gefahrstoff-Kennzeichnung nach GHS

Bedeutung der Angaben auf dem obigen Gefahrstoff-Etikett



Ätzwirkung auf die Haut,
Kategorie 1A
Korrosiv gegen Metalle,
Kategorie 1

P 301: Giftig bei Verschlucken

P 330: Mund ausspülen

P 331: Kein Erbrechen herbeiführen

P 309 + P 310: Bei Explosion oder Unwohlsein: Sofort Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.

P 305 + P 351 + P 338: Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen entfernen, weiter spülen.

Methanol R 11-13/25, S 7-16-24-45 (BetrSichV)
Leicht entzündlich. Giftig beim Einatmen und Verschlucken. Behälter dicht geschlossen halten, von Zündquellen fern halten. Nicht rauchen.

Berührung der Haut vermeiden.

Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen).



Leicht entzündlich F



Giftig T

Bild 3: Beispiel einer alten Gefahrstoff-Kennzeichnung

Persönliche Schutzausrüstung

Die persönliche Schutzausrüstung dient zum Schutz des Mitarbeiters vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen und Verletzungen.

Je nach Gefährdungspotential in den verschiedenen Arbeitsbereichen des Chemiebetriebs sind ganz unterschiedliche Schutzausrüstungen zu tragen. Im Chemielabor und im Technikum ist in der Regel ein Laborkittel oder ein Arbeitskittel über der persönlichen Kleidung sowie eine Schutzbrille mit Seitenschutz zu tragen.

Im Chemiebetrieb sollte im allgemeinen ein Arbeitsanzug und Sicherheitsschuhe (mit Stahlkappe) getragen sowie ein Schutzhelm und eine Schutzbrille mit Seitenschutz aufgesetzt werden.

In besonders gefährdeten Betriebsbereichen sind zusätzliche Schutzmittel einzusetzen. Sie werden in den betroffenen Bereichen durch Gebotszeichen gefordert (**Bild 1**).

■ Schutzhandschuhe, Gesichtsschutz, Schutzanzug

Sie sind bei einer Betriebsumgebung mit besonders gefährlichen bzw. ätzenden Stoffen zu tragen, wie z. B. beim Umgang mit größeren Mengen von konzentrierten Säuren und Laugen. Sie schützen die Haut und insbesondere die Augen vor Verletzungen.

Sie sind aus säurebeständigem, undurchlässigem Material gefertigt (gummiartige Kunststoffe). Die Schadstoffe perlen an ihnen ab und können nicht an den Körper gelangen.

■ Atemschutzfilter und Atemschutzmasken

Besteht am Arbeitsplatz die Gefahr mit giftigen Stäuben, Dämpfen und/oder Gasen in Kontakt zu kommen, so muss je nach Gefährdungsart ein Atemschutzfilter, eine Atemschutzmaske (**Bild 2**) oder im Extremfall ein Ganzkörper-Schutzanzug mit integrierter Eigenluftversorgung getragen werden.

■ Gehörschutz

Gehörschutz ist erforderlich, wenn im Arbeitsbereich starker Lärm herrscht, wie er z. B. von Pumpen, Kompressoren oder Apparaten ausgeht. Ohne Gehörschutz würde ansonsten das Hörvermögen geschädigt.

■ Gaswarngeräte am Mann

Beim Arbeiten in Betriebsbereichen, in denen sich Rohrleitungen oder Anlagen mit giftigen Gasen befinden, sind Gaswarngeräte am Mann zu tragen (**Bild 3**). Sie analysieren im Fünfminutentakt die umgebende Luft und geben bei Überschreiten eines Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) ein optisches und akustisches Warnsignal.

Prüfen Sie Ihr Wissen

- 1 Welche persönliche Schutzausrüstung muss generell beim Arbeiten in einem Chemiebetrieb getragen werden?
- 2 Beschreiben Sie in Ihrem Arbeitsbereich den Standort des nächstgelegenen Feuerlöschers und Hydranten.
- 3 Bei welchen Betriebsbedingungen muss eine Atemschutzmaske getragen werden?

Wenden Sie Ihr Wissen an

- 1 Beschreiben Sie kurz, welche Maßnahmen Sie beim Auftreten eines kleinen Brandes ergreifen.
- 2 Woher können Sie sich Informationen über das Gefährdungspotential eines Gefahrstoffes besorgen?
- 3 Was geben die H-Sätze und was die P-Sätze an?



Bild 1: Gebotszeichen für Schutzausrüstungen



Bild 2: Atemschutzmaske mit Filtern



Bild 3: Arbeiten mit Helm, Schutzbrille und Gaswarngerät

Chemie – eine Naturwissenschaft

Schon früh in seiner Entwicklungsgeschichte hat der Mensch begonnen, die Gegenstände und Vorgänge in der ihn umgebenden Natur zu beobachten. Dies war der Beginn der **Naturwissenschaft**.

Heute wird Naturwissenschaft durch Beobachten und Erfassen, durch Experimentieren (Versuche machen) und das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten, auch **Naturgesetze** genannt, betrieben.

Antrieb zu dieser Arbeit ist der Wissensdurst des Menschen sowie das Bestreben, die gewonnenen Erkenntnisse zum Wohle des Menschen nutzbar zu machen.

Die Vielzahl der Naturvorgänge und Naturgesetze hat eine Aufteilung der Naturwissenschaften in zwei Fachgebiete notwendig gemacht: die **Chemie** und die **Physik**.

Chemie

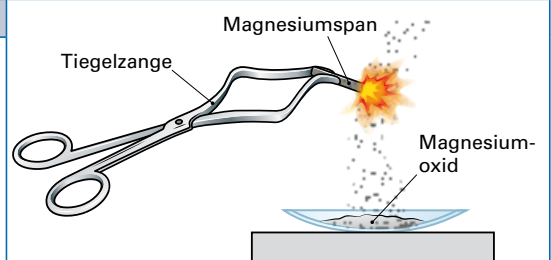
Die Chemie beschäftigt sich mit den Stoffen und ihrer Zusammensetzung sowie den stofflichen Veränderungen bei chemischen Vorgängen. **Beispiel:** Versuch 1

Versuch 1: Verbrennen eines Magnesiumspans

Versuchsbeschreibung: Ein Magnesiumspan wird angezündet. Er verbrennt mit hell leuchtender Flamme. Es entsteht ein weißes Pulver: Es ist Magnesiumoxid.

Versuchsergebnis: Durch Verbrennen entsteht aus metallischem Magnesium weißes Magnesiumoxid.

Erkenntnis: Da sich bei diesem Versuch die Zusammensetzung des Stoffes geändert hat, handelt es sich beim Verbrennen um einen chemischen Vorgang.



Merke → Bei einem chemischen Vorgang ändert sich die Zusammensetzung des Stoffes.

Physik

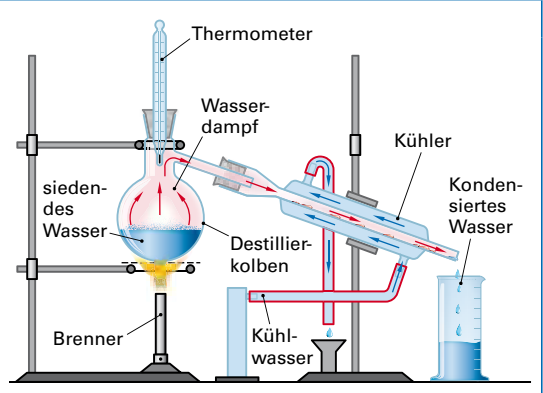
Die Physik beschäftigt sich mit den Zuständen und den Zustandsänderungen der Stoffe ohne Änderung der Zusammensetzung. **Beispiel:** Versuch 2

Versuch 2: Verdampfen und Kondensieren von Wasser

Versuchsbeschreibung: In einer Destillationsapparatur wird in einem Glaskolben Wasser durch Erhitzen verdampft. Es entsteht Wasserdampf (ein unsichtbares Gas). Er strömt in den Kolbenhals und danach in einen Kühler. Dort kühlt sich der Wasserdampf ab und wird in flüssiges Wasser umgewandelt (kondensiert).

Versuchsergebnis: Beim Verdampfen geht Wasser vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über – es bleibt aber Wasser. Auch beim anschließenden Kondensieren zu flüssigem Wasser ändert sich der Zustand des Wassers, nicht jedoch die Zusammensetzung.

Erkenntnis: Da sich bei diesem Versuch der Zustand des Stoffes geändert hat, nicht jedoch die Zusammensetzung, handelt es sich um einen *physikalischen* Vorgang.



Merke → Bei einem physikalischen Vorgang ändert sich der Zustand des Stoffes, jedoch nicht seine Zusammensetzung.

Weitere Beispiele für chemische und physikalische Vorgänge

Chemische Vorgänge	Physikalische Vorgänge
<p>Holz wird verbrannt Holz wandelt sich beim Verbrennen in Kohle, Asche und Verbrennungsgase um; d. h. es entstehen andere Stoffe.</p> <p>Traubensaft gärt Der Zucker im Traubensaft wandelt sich in Alkohol um; d. h. ein anderer Stoff ist entstanden.</p>	<p>Zucker wird in Wasser gelöst Der Zucker wird im Wasser gelöst, dort fein verteilt; er bleibt dabei aber unverändert Zucker.</p> <p>Eis wird geschmolzen Vor dem Gefrieren war der Eiswürfel Wasser. Beim Schmelzen wird er wieder zu Wasser, d. h. ist stofflich unverändert.</p>

1 Allgemeine Chemie

Die Naturwissenschaft Chemie verfügt über eine große Fülle an gesammeltem Wissen. Die Grundlage der Einzelerkenntnisse und des Detailwissens sind *allgemeine Erkenntnisse, Gesetzmäßigkeiten* und *Grundbegriffe*. Mit ihnen muss man sich zuerst beschäftigen.

1.1 Stoffe, Stoffeigenschaften, Stoffarten

Im Mittelpunkt aller chemischen Betrachtungen stehen die Stoffe, die Stoffeigenschaften und die verschiedenen Stoffarten. Was man darunter versteht, soll zunächst festgelegt (definiert) werden.

1.1.1 Der Stoffbegriff

Wir sind von einer Fülle von Gegenständen und Substanzen umgeben, die aus „etwas“ bestehen: Wir nennen es **Stoff** oder **stoffliche Materie (Bild 1)**. Zur Wahrnehmung der Stoffe dienen im allgemeinen unsere Sinnesorgane: Augen, Geruchs-, Geschmacks- und Tastsinn. Damit kann man das Aussehen, den Geruch und die Oberflächenbeschaffenheit eines Stoffes erkennen.

Einige Stoffe, wie z.B. die Luft oder andere farb- und geruchlose Gase, kann man nicht oder nur sehr undeutlich wahrnehmen. Zu ihrer Erkennung gibt es spezielle Methoden.

Gemeinsam ist allen Stoffen, dass sie einen bestimmten Platzbedarf haben, man sagt sie nehmen Raum ein, und dass sie auf einer Waage einen Ausschlag ergeben, das heißt sie besitzen Masse.

Alle Gegenstände und Substanzen bestehen aus Stoffen.

Stoffe nehmen Raum ein und besitzen Masse.

■ Eigenschaften der Stoffe

Stoffe können sehr unterschiedlich sein, z.B. im Aussehen, der Farbe, der Härte, der Dichte usw. Diese Beschreibungen einer Stoffart nennt man **Eigenschaften**. Sie sind das Charakteristische eines Stoffes, das ihn von anderen Stoffen unterscheidet.

■ Erkennen eines Stoffes

Zuerst stellt man die Farbe und das Aussehen des Stoffes fest (Bild 1).

Die **Metalle**, wie z.B. Eisen, besitzen den typischen metallischen Oberflächenglanz. Außerdem unterscheidet man bei ihnen Leichtmetalle mit einer Dichte $\rho < 5 \text{ g/cm}^3$ und Schwermetalle mit $\rho > 5 \text{ g/cm}^3$.

Die **nichtmetallischen Feststoffe**, wie z.B. Schwefel, haben einen anderen, mineralischen Charakter.

Desweiteren kann die **Verformbarkeit** bzw. **Sprödigkeit** eines Stoffes zur Unterscheidung benutzt werden. **Beispiel:** Fensterglas/Kunststoffglas.

Viele Flüssigkeiten und Gase haben einen charakteristischen Geruch, z.B. Benzin oder Alkohol. Um eine **Geruchsprobe** von einer unbekanntem Substanz zu nehmen, öffnet man den Behälter, in dem sich die Substanz befindet, und fächelt sich mit der Hand eine geringe Gas- bzw. Dampfmenge zu.

Vorsicht: Keine giftigen Stoffe auf Geruch prüfen.

■ Chemikalien

In der Chemie verwendet man vor allem Substanzen, die mit anderen Stoffen reagieren. Sie werden in speziellen Gefäßen aufbewahrt (**Bild 2**).

In der Chemie nennt man sie **Chemikalien**.



Bild 1: Verschiedene Stoffarten



Bild 2: Chemikalien in Laborgefäßen

■ Unterscheidung der Eigenschaften

Die Eigenschaften eines Stoffes werden in physikalische und chemische Eigenschaften unterteilt.

Die **physikalischen Eigenschaften** beschreiben den Zustand eines Stoffes bzw. eines Körpers ohne stoffliche Veränderungen.

Die **chemischen Eigenschaften** umfassen die Zusammensetzung eines Stoffes, stoffliche Veränderungen sowie die chemischen Reaktionen mit anderen Stoffen.

Physikalische Eigenschaften sind:

- die Farbe, das Aussehen, die Härte
- die Aggregatzustände gasförmig, fest und flüssig
- der Siedepunkt, der Schmelzpunkt
- die Dichte
- die Löslichkeit

Chemische Eigenschaften sind:

- die Zusammensetzung
- das Reaktionsverhalten mit anderen Stoffen
- die Brennbarkeit
- das Korrosionsverhalten
- die Giftigkeit

1.1.2 Physikalische Eigenschaften

■ Aggregatzustände

Je nach Temperatur liegt ein Stoff in verschiedenen Erscheinungsformen vor: als Feststoff, als Flüssigkeit oder als Gas. Man nennt diese Erscheinungsformen der Stoffe **Aggregatzustände**.

Die drei Erscheinungsformen der Stoffe – fest, flüssig, gasförmig – nennt man Aggregatzustände.

Durch Erwärmen bzw. Abkühlen lassen sich die Stoffe in die verschiedenen Aggregatzustände überführen (**Bild 1**). Die Übergänge vom einen in den anderen Aggregatzustand haben besondere Namen, wie z.B. Verdampfen, und erfolgen bei ganz bestimmten Temperaturen.

■ Siedepunkt, Schmelzpunkt

Von Wasser ist bekannt, dass es bei Erwärmung auf 100 °C siedet. Auch die anderen Stoffe siedet bei einer ganz bestimmten, für jeden Stoff spezifischen Temperatur.

Diese Temperatur nennt man *Siedetemperatur*. Da das Sieden bei einem Stoff immer bei derselben Temperatur, „auf den Punkt“ erfolgt, spricht man auch vom **Siedepunkt**.

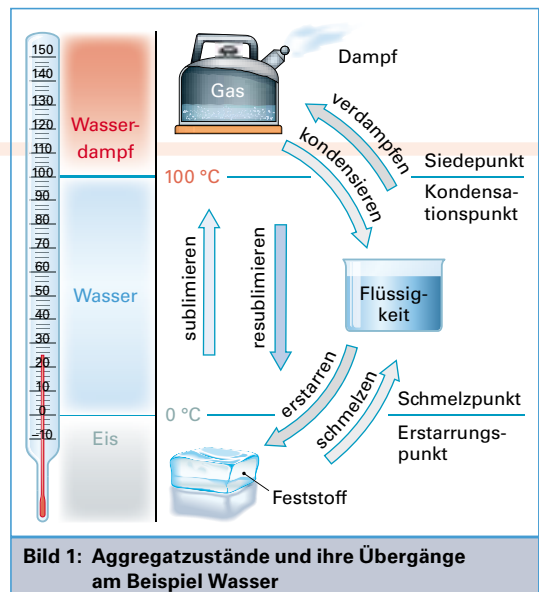
Der Siedepunkt bzw. die Siedetemperatur ist die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit siedet.

Beim Sieden wird der vorher flüssige Stoff gasförmig. Kühlt man das entstandene Gas wieder ab, so wird es bei einer bestimmten Temperatur wieder flüssig, man sagt es *kondensiert*. Das Kondensieren erfolgt bei einem Stoff ebenfalls immer bei einer bestimmten Temperatur, der *Kondensationstemperatur*, auch *Kondensationspunkt* genannt. Versuche zeigen, dass die Kondensationstemperatur und die Siedetemperatur eines Stoffes immer denselben Wert haben.

Kühlt man Wasser auf 0 °C ab, so gefriert es. Es entsteht Eis. Andere Stoffe besitzen ebenfalls eine bestimmte Temperatur, bei der sie erstarren. Man nennt diese Temperatur *Gefrierpunkt* oder *Festpunkt*.

Der Gefrierpunkt ist die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit erstarrt (gefriert).

Beim Gefrieren wird der vorher flüssige Stoff fest. Erwärmt man den entstandenen Feststoff, z.B. das Eis, so wird es bei einer bestimmten Temperatur wieder flüssig, es schmilzt. Diese Temperatur nennt man Schmelztemperatur oder Schmelzpunkt. Auch hier zeigen Versuche, dass die Schmelztemperatur eines Stoffes immer den gleichen Wert hat wie die Gefriertemperatur.



Einige Stoffe zeigen bei der Änderung der Aggregatzustände Besonderheiten. So wandelt sich bei Temperaturen unter $-78,5\text{ °C}$ festes Kohlenstoffdioxid (Kohlensäureschnee) bei Erwärmung direkt vom festen in den gasförmigen Zustand um, ohne vorher flüssig zu werden. Diesen Vorgang nennt man **Sublimieren** (Bild 1, vorhergehende Seite).

Den direkten Übergang vom festen in den gasförmigen Zustand nennt man Sublimieren. Der umgekehrte Vorgang heißt Resublimieren.

■ Dichte

Die Dichte ρ ist definiert als die Masse eines Stoffes pro Volumeneinheit. Sie berechnet sich nach nebenstehender Formel.

Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Bei Feststoffen und Flüssigkeiten wird die Dichte ρ meist in der Einheit g/cm^3 , bei Gasen in der Einheit g/dm^3 (identisch g/L) angegeben. Eisen hat z. B. eine Dichte von $7,86\text{ g/cm}^3$, d. h. ein Würfel aus Eisen der Kantenlänge 1 cm hat die Masse $7,86\text{ g}$ (Bild 1). Wasserstoff hat eine Dichte von $0,089\text{ g/dm}^3$, d. h. ein dm^3 (1 Liter) Wasserstoff hat die Masse $0,089\text{ g}$.

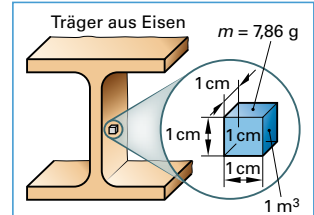


Bild 1: Dichte von Eisen

■ Löslichkeit

Bringt man verschiedene Stoffe in ein Lösemittel (z. B. Wasser), so stellt man fest, dass sich manche Stoffe lösen, andere hingegen nicht. Je nachdem, ob sich viel oder wenig bzw. überhaupt nichts löst, nennt man die Stoffe *leichtlöslich*, *schwerlöslich* oder *unlöslich*. Kochsalz ist z. B. in Wasser leichtlöslich, Gips ist in Wasser schwerlöslich und Eisen ist in Wasser praktisch unlöslich.

Aber auch wenn sich ein Stoff im Lösemittel leicht löst, kann das Lösemittel (z. B. Wasser) nicht unbegrenzte Mengen des Stoffes lösen. Es gibt eine Sättigungsgrenze. Die dann gelöste Masse pro 100 g Lösemittel nennt man **Löslichkeit L**. Die Löslichkeit ist temperaturabhängig.

Die Löslichkeit eines Stoffes gibt an, wie viel Gramm eines Stoffes sich in 100 g Lösemittel bei einer bestimmten Temperatur gerade noch lösen.

Lösungen, die noch Stoff lösen können, nennt man **ungesättigte** Lösungen. Lösungen, die nichts mehr lösen können, heißen **gesättigte** Lösungen.

■ Normzustand

Viele Eigenschaften der Stoffe ändern sich mit der Temperatur und dem Druck. Um einheitliche Eigenschaftsangaben zu erhalten, die man miteinander vergleichen kann, hat man vereinbart, die Eigenschaftswerte im allgemeinen beim sogenannten **Normzustand** zu bestimmen und anzugeben. Beim Normzustand beträgt die **Normtemperatur 0 °C** und der **Normluftdruck 1013 mbar** (1013 hPa). Enthält ein angegebener Eigenschaftswert keinen Zusatz, so gilt er für den Normzustand.

Beispiel: $\rho_{\text{Sauerstoff}} = 1,429\text{ g/dm}^3$.

Gelten die Eigenschaftsangaben für eine andere Temperatur oder einen anderen Druck als den Normzustand, so werden sie mit dem Eigenschaftswert angegeben. Häufig sind z. B. Eigenschaftsangaben für Raumtemperatur (20 °C) sowie für andere markante Temperaturen.

Beispiel: $\rho_{\text{Wasser}}(+4\text{ °C}) = 1,000\text{ g/cm}^3$; $\rho_{\text{Wasser}}(0\text{ °C}) = 0,998\text{ g/cm}^3$.

1.1.3 Chemische Eigenschaften

Die chemischen Eigenschaften eines Stoffes beschreiben sein Verhalten bei chemischen Reaktionen (Bild 2). Beispiele für chemische Reaktionen:

■ Reaktionen beim Erhitzen

Hierzu gibt man eine kleine Menge der zu prüfenden Substanz in ein Reagenzglas und dann über eine Brennerflamme oder hält ein Stück der Substanz direkt in die Brennerflamme.

■ Reaktion mit Säure

Sie wird durch vorsichtiges Übergießen der Substanz mit der Säure und Beobachten der auftretenden Reaktion geprüft.

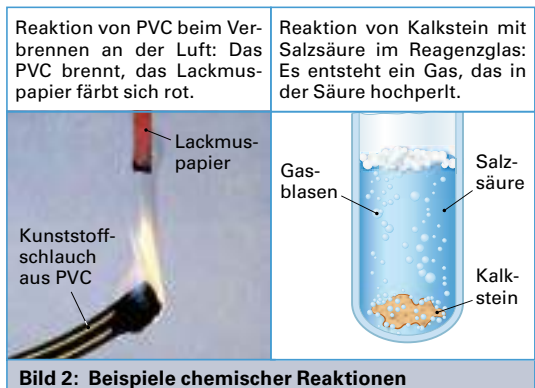


Bild 2: Beispiele chemischer Reaktionen

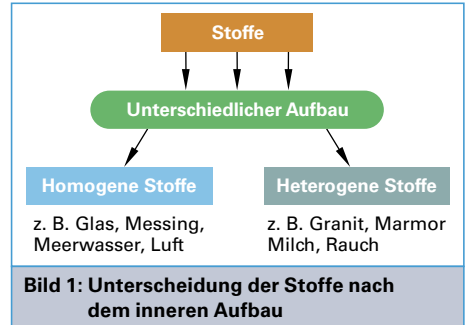
1.1.4 Einteilung und Trennverfahren der Stoffe

Wenn man über die Vielzahl der Stoffe einen Überblick gewinnen will, so muss man die Stoffe ordnen. Auf diese Weise kann man bereits wichtige Hinweise zum Stoffaufbau gewinnen.

■ Unterteilung nach dem Aussehen

Schaut man sich eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffe genauer an, so kann man nach dem Aussehen eine erste Unterscheidung treffen (**Bild 1**): Es gibt Stoffe, die vom Aussehen einheitlich aufgebaut sind, sogenannte **homogene Stoffe** und Stoffe, die sichtbar aus mehreren, verschiedenartigen Bestandteilen bestehen, die sogenannten **heterogenen Stoffe**.

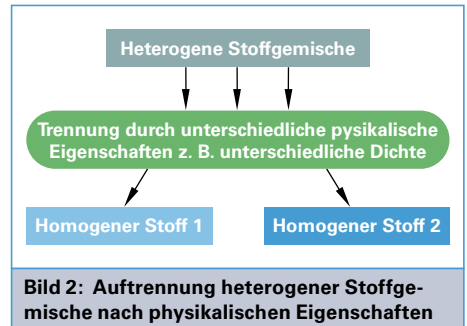
Bei manchen Stoffen ist dieser Unterschied mit dem bloßen Auge sichtbar, wie z. B. bei Granit. Bei anderen heterogenen Stoffen können die verschiedenartigen Stoffbereiche nur durch Betrachten unter dem Mikroskop erkannt werden wie z. B. bei Milch, das aus winzigen Fetttröpfchen in Wasser besteht.



■ Unterteilung durch physikalische Trennverfahren

Bei den **heterogenen** Stoffen handelt es sich um **Stoffgemische** (Gemenge) aus mehreren Bestandteilen.

Die Trennung heterogener Stoffgemische in ihre einzelnen Bestandteile gelingt durch **mechanisch-physikalische Trennverfahren** (siehe unten). Dabei erfolgt die Auftrennung nach den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Bestandteile, wie z. B. der Größe der Stoffteilchen oder der Dichte. Häufig angewandte Trennverfahren für heterogene Gemenge sind das Filtrieren, das Sedimentieren, das Dichtesortieren und das Magnetsortieren.



Ergebnis der Auftrennung heterogener Stoffgemische mit mechanisch-physikalischen Trennverfahren sind die Einzelbestandteile, also homogene Stoffe (**Bild 2**).

■ Physikalische Trennverfahren für heterogene Stoffgemische

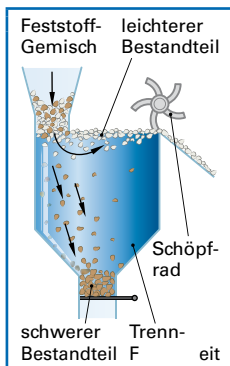
Sedimentieren/Dekantieren

Sedimentieren/Dekantieren ist das Trennen eines Feststoffteilchen-/Flüssigkeits-Gemisches durch Absetzen der schwereren Feststoffteilchen und Abgießen der überstehenden klaren Flüssigkeit. Die Trennung erfolgt aufgrund der größeren Dichte der Feststoffteilchen gegenüber der Flüssigkeit.



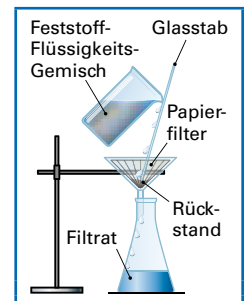
Dichtesortieren

Beim Dichtesortieren wird die unterschiedliche Dichte der verschiedenen Bestandteile eines Stoffgemisches zum Trennen benutzt. Die Trennung erfolgt in einem Flüssigkeitsbad, dessen Dichte niedriger als die Dichte des einen Bestandteils und höher als die Dichte des anderen Bestandteils sein muss. Die Teilchen des leichteren Bestandteils schwimmen auf, die Teilchen des schwereren Bestandteils sinken herab.



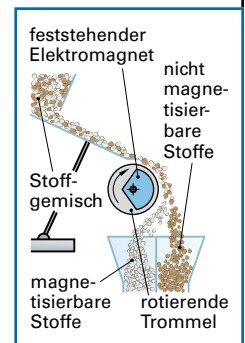
Filtrieren

Filtrieren ist das Trennen eines feinkörnigen Feststoffteilchen-/Flüssigkeits-Gemisches in die Flüssigkeit und den Feststoff. Die Trennung der beiden Bestandteile erfolgt durch ihre unterschiedliche Teilchengröße: die atomar kleinen Flüssigkeitsteilchen durchströmen den Filter (Filtrat) während die Feststoffteilchen in ihm hängen bleiben (Rückstand).



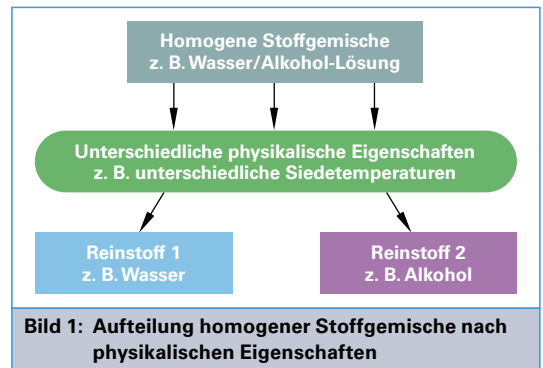
Magnetsortieren

Durch Magnetsortieren kann man magnetisierbare Bestandteile eines Stoffgemisches abtrennen. Dazu läuft das Stoffgemisch über eine rotierende Scheidetrommel, die einseitig einen Elektromagneten enthält. Die magnetisierbaren Teile werden angezogen, während der Rest normal herabfällt. Magnetsortieren wird z. B. zum Abtrennen von Eisenteilen aus Müll angewandt.



Homogene Stoffe erscheinen äußerlich als ein einheitlicher Stoff. Ein Teil der homogenen Stoffe lässt sich jedoch mit physikalischen Trennverfahren in weitere Bestandteile zerlegen. Es handelt sich hierbei also nicht um reine Stoffe (Reinstoffe), sondern um homogene Stoffgemische.

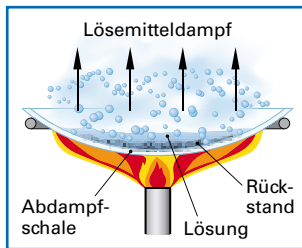
Ihre Aufteilung erfolgt aufgrund unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften der einzelnen Bestandteile, wie z.B. der Siedetemperatur, der Löslichkeit usw. (**Bild 1**). Häufig angewandte Trennverfahren für homogene Stoffgemische sind das Abdampfen, das Destillieren, das Extrahieren und das Absorbieren.



■ Physikalische Trennverfahren für homogene Stoffgemische

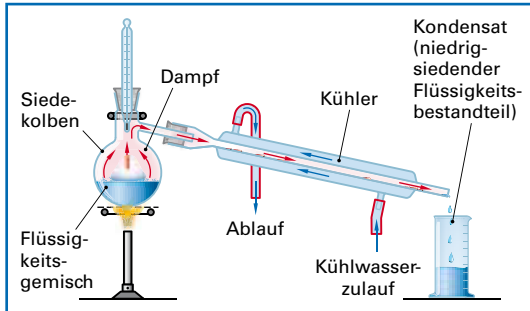
Abdampfen

Durch Abdampfen gewinnt man den gelösten Feststoff aus einer Lösung. Die Trennung erfolgt durch Erhitzen und Sieden der Lösung. Das Lösemittel verdampft, der gelöste Stoff bleibt als Rückstand auf der Abdampfschale zurück.



Destillieren

Das Destillieren dient zur Trennung von Flüssigkeitsgemischen aufgrund unterschiedlicher Siedetemperaturen der Gemischbestandteile.

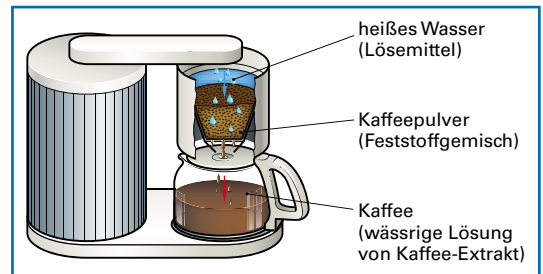


Das Gemisch wird im Siedekolben zum Sieden gebracht. Es verdampft der Bestandteil mit der niedrigeren Siedetemperatur. Der Dampf strömt in einen Kühler, wird dort verflüssigt (kondensiert) und anschließend wird das Kondensat aufgefangen. Nach ausreichend langer Siedezeit befindet sich im Auffangzylinder der niedrig siedende Flüssigkeitsbestandteil. Im Siedekolben bleibt der hoch siedende Flüssigkeitsbestandteil zurück.

Extrahieren

Unter Extrahieren versteht man das Herauslösen von löslichen Bestandteilen aus Feststoffgemischen oder Feststoff-/Flüssigkeits-Gemischen mit Hilfe eines Lösemittels.

Die Zubereitung von Kaffee ist z.B. eine Extraktion von Kaffee-Extrakt aus Kaffeepulver durch siedendes Wasser.



Absorbieren (Gaswäsche)

Absorption ist die Aufnahme von Gasen in eine Flüssigkeit (Waschflüssigkeit) durch physikalisches Lösen oder chemische Anlagerung. **Beispiel:**

Bringt man ein Gasgemisch mit einer geeigneten Flüssigkeit in Berührung, so löst sich der eine Gasbestandteil in der Flüssigkeit. Dies findet z.B. statt, wenn man ein Kohlenstoffdioxid-/Luft-Gemisch mit Wasser in Berührung bringt. Das Kohlenstoffdioxidgas wird im Wasser gelöst. Auch Schwefeldioxid kann so aus Rauchgas ausgewaschen werden.



Ergebnis der Auftrennung homogener Stoffgemische mit den üblichen physikalischen Trennverfahren sind reine Stoffe, die sogenannten **Reinstoffe** (Bild 1). Eine weitergehende Auftrennung der Reinstoffe mit physikalischen Trennverfahren ist nicht möglich

Reinstoffe sind Stoffe, die sich durch physikalische Trennverfahren nicht weiter zerlegen lassen. Jeder Reinstoff hat für ihn typische, arteigene physikalische Eigenschaften. .

■ Auftrennung von Reinstoffen durch chemische Zerlegung

Viele Reinstoffe können mit chemischen Zerlegungsverfahren weiter aufgeteilt werden.

Als geeignetes Verfahren zur chemischen Zersetzung von Stoffen ist das Erhitzen bekannt.

Beispiel: Der Reinstoff Quecksilberoxid (ein orangefarbenes Pulver) wird in einer Versuchsanordnung erwärmt (**Versuch**).

Versuchsergebnis: Bei rund 450 °C zerfällt das Quecksilberoxid in Quecksilber und Sauerstoff.

Quecksilberoxid ist demnach ein Stoff, der aus zwei Stoffen, nämlich Quecksilber und Sauerstoff, besteht.

Reinstoffe, die sich chemisch zerlegen lassen, nennt man **chemische Verbindungen**.

Chemische Verbindungen sind Reinstoffe, die aus mehreren Stoffen aufgebaut sind und nur durch chemische Verfahren getrennt werden können.

Die Zerlegung einer chemischen Verbindung in die Einzelstoffe heißt **Analyse**. Den umgekehrten Vorgang, die Verbindung mehrerer Stoffe zu einer chemischen Verbindung, nennt man **Synthese**.

Würde man die Zersetzungsprodukte von obigem Versuch, Quecksilber oder Sauerstoff, ebenfalls erhitzen, so würde auch bei sehr hohen Temperaturen keine weitere Zerlegung stattfinden.

Es handelt sich bei Quecksilber und Sauerstoff um Stoffe, die mit chemischen Methoden nicht weiter zerlegbar sind. Solche Stoffe nennt man **chemische Elemente** oder **Grundstoffe**.

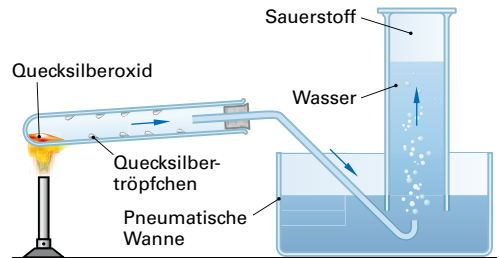
Chemische Elemente sind Stoffe, die durch chemische Methoden nicht zerlegt werden können.

Für die Stoffeinteilung ergibt sich daraus folgender Schluss: Reinstoffe können chemische Verbindungen oder Elemente sein (**Bild 1**).

Zusammenfassend lassen sich die Stoffe wie folgt unterteilen (**Bild 2**):

- Ein Stoff kann ein Reinstoff oder ein Stoffgemisch (Gemenge) sein.
- Stoffgemische können homogene oder heterogene Gemische sein.
- Reinstoffe können aus einem Element (Grundstoff) oder einer chemischen Verbindung bestehen.

Versuch: Thermische Zersetzung von Quecksilberoxid



Versuchsbeschreibung: Orangefarbenes Quecksilberoxidpulver wird in einem feuerfesten Reagenzglas erhitzt. Nach Erreichen der Zersetzungstemperatur (450 °C) verschwindet orangefarbene Masse.

An den kälteren Wänden des Reagenzglases bilden sich metallisch glänzende Tröpfchen: es ist Quecksilber. Gleichzeitig entsteht ein Gas, das in einer Auffangvorrichtung, einer pneumatischen Wanne, aufgefangen wird: es ist Sauerstoff.

Achtung: Die quecksilberhaltigen Versuchsrückstände sachgemäß entsorgen.

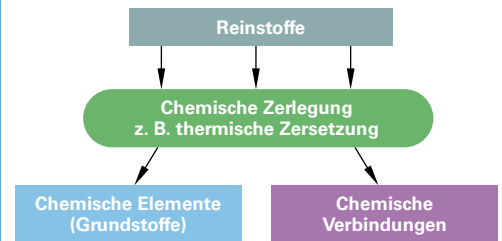


Bild 1: Zerlegung von Reinstoffen mit chemischen Verfahren

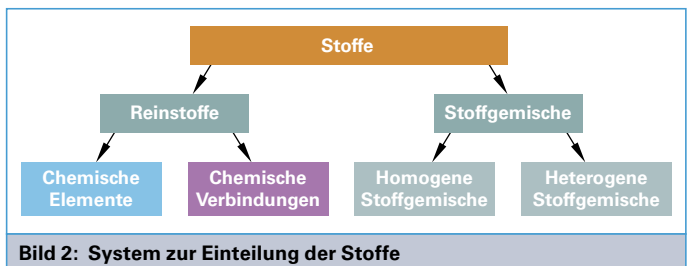


Bild 2: System zur Einteilung der Stoffe

Prüfen Sie Ihr Wissen

1 Was ist der Unterschied zwischen chemischen und physikalischen Eigenschaften?

2 Was versteht man unter dem Normzustand?

3 Was ist eine chemische Verbindung?

Wenden Sie Ihr Wissen an

1 Welche der genannten Eigenschaften sind physikalische und welche chemische Eigenschaften: Dichte, Brennbarkeit, Löslichkeit, Siedepunkt?

2 Wie kann man eine Lösung von Kochsalz in Wasser wieder in ihre Bestandteile trennen?

3 Was bezeichnet man als Analyse und was als Synthese? Nennen Sie jeweils zwei Beispiele.

1.2 Chemische Grundbegriffe

Die chemischen Grundbegriffe benötigt man für eine genauere Betrachtung chemischer Vorgänge.

1.2.1 Die chemischen Elemente (Grundstoffe)

Es gibt 88 natürliche chemische Elemente. Aus ihnen bauen sich alle Stoffe auf der Erde auf. Einige wichtige natürliche chemische Elemente sind in unten stehender **Tabelle** aufgeführt.

■ Chemische Symbole

Zur schnelleren und kürzeren Schreibweise hat man für jedes Element ein Symbol vereinbart. Es sind Abkürzungen der lateinischen oder griechischen Namen der Elemente.

Wasserstoff heißt z. B. auf lateinisch **Hydrogenium**, sein Symbol ist **H**. Sauerstoff heißt lateinisch **Oxygenium**, sein Symbol ist **O**. Stickstoff heißt auf lateinisch **Nitrogenium**, sein Symbol ist **N**, usw.

Da *ein* Buchstabe zur Kennzeichnung aller Elemente nicht ausreicht, werden auch zwei Buchstaben als Symbol verwendet, wie z. B. **Fe** für Eisen (lateinisch **Ferrum**) oder **Cu** für Kupfer (lateinisch **Cuprum**) usw.

■ Aggregatzustand der chemischen Elemente

Der Aggregatzustand der Elemente bei Raumtemperatur (20 °C) und Atmosphärendruck (1,0133 bar) ist:

- 11 Elemente sind gasförmig: Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Fluor, Chlor und die Edelgase Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon, Radon.
- 2 Elemente sind flüssig: Quecksilber, Brom.
- Alle übrigen Elemente sind Feststoffe.

■ Metall-/Nichtmetall-Charakter

Eine weitere wichtige physikalische Eigenschaft der Elemente ist ihr **Metall-** bzw. **Nichtmetallcharakter**. Häufig teilt man die Elemente danach ein.

Der überwiegende Teil der Elemente sind Metalle (siehe rechts). Sie haben den typischen metallischen Glanz und sind gute Leiter für den elektrischen Strom und die Wärme, wie z. B. Kupfer, Aluminium, Eisen.

Die **Nichtmetalle** sind zum großen Teil gasförmig, wie z. B. Wasserstoff und Sauerstoff. Die festen Nichtmetalle haben meist keinen metallischen Glanz, sie sind überwiegend Nichtleiter für den elektrischen Strom und schlechte Wärmeleiter. **Beispiel:** Phosphor, Schwefel.

Die **Halbmetalle** sind Elemente, die sowohl metallische als auch nichtmetallische Eigenschaften besitzen, wie z. B. Silicium, Bor, Arsen oder Selen.

■ Häufigkeit der chemischen Elemente

Die Häufigkeit der Elemente auf der Erde ist sehr unterschiedlich (Bild 1). Die genannten Prozentzahlen beziehen sich dabei auf den der Untersuchung zugänglichen Teil der Erdkruste (bis ca. 20 km Tiefe) sowie auf die Atmosphäre. Rund die Hälfte dieses Teils der Erdmasse besteht aus Sauerstoff (49,5 %). Silicium ist mit 27,5 % das zweithäufigste Element. Acht weitere Elemente, nämlich Aluminium, Eisen, Calcium, Kalium, Natrium, Magnesium, Wasserstoff und Titan nehmen insgesamt 21 % in Anspruch.

Addiert man die Gehalte der zehn genannten Elemente, so erkennt man, dass zehn chemische Elemente rund 99 % der Masse der Erdkruste ausmachen. Die restlichen 78 Elemente teilen sich das restliche 1 % der Erdmasse.

Nichtmetalle	Symbol	Metalle	Symbol
Wasserstoff	H	Silber	Ag
Sauerstoff	O	Aluminium	Al
Kohlenstoff	C	Gold	Au
Stickstoff	N	Calcium	Ca
Schwefel	S	Kupfer	Cu
Phosphor	P	Eisen	Fe
Chlor	Cl	Quecksilber	Hg
Iod	I	Magnesium	Mg
Silicium	Si	Natrium	Na
Helium	He	Blei	Pb
Argon	Ar	Zink	Zn

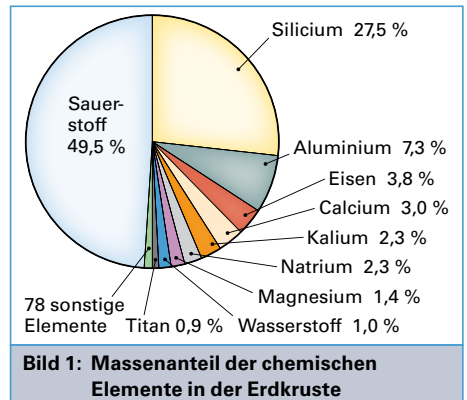
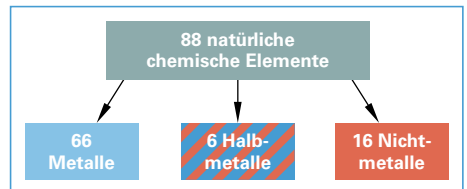


Bild 1: Massenanteil der chemischen Elemente in der Erdkruste