

E I N H E I T D E S W I S S E N S
HERAUSGEGEBEN VON MAX BENSE

DER CHEMIKER ALS FORSCHER

DIE GRUNDLAGEN DES CHEMISCHEN
WISSENS

VON
WALTER KWASNIK

2. AUFLAGE
MIT 43 ABBILDUNGEN
UND 8 TAFELN



MÜNCHEN UND BERLIN 1943
VERLAG VON R. OLDENBOURG

Copyright 1941 by R. Oldenbourg, München und Berlin
Druck und Einband von R. Oldenbourg, München
Printed in Germany

Inhaltsübersicht.

	Seite
Vorwort.	9
Einleitung	11
Vom Wesen der chemischen Forschung	14
Materie, Energie und Leben	19
I. Hauptteil: Element	22
Der Begriff des Elements	22
Einteilung der Elemente	25
1. Atombau und Periodisches System	25
2. Metalle und Nichtmetalle	31
Elementumwandlung	33
Verbreitung der Elemente	37
Nachweis eines Elements	41
1. Röntgenspektroskopie	41
2. Optische Spektralanalyse	46
3. Atomgewichtsbestimmung	47
Entdeckungsgeschichte einiger Elemente	52
II. Hauptteil: Verbindung	58
Der Begriff der Verbindung	58
1. Definition	58
2. Molekül	60
3. Chemische Namen- und Formelgebung	63
4. Anorganische u. organische Verbindungen	67
Nachweis einer Verbindung	68
1. Möglichkeiten des Nachweises	68
2. Nachweismethoden	71
3. Beispiel für die systematische Untersuchung eines Systems	82
Die Wertigkeit (Valenz)	86
Struktur einer Verbindung.	97

	Seite
Die chemische Bindung	107
1. Bindung im Einzelmolekül	108
2. Bindung zwischen den Einzelmolekülen	111
3. Komplexverbindungen	117
4. Raumchemische Betrachtungen	122
III. Hauptteil: Chemische Reaktion	125
Definition	125
Experimentelle Verfolgung einer Reaktion	132
Chemische Reaktion und Phase	135
Chemisches Gleichgewicht	139
1. Definition	139
2. Beeinflussung des Gleichgewichts	141
3. Katalyse	144
4. Messung eines Gleichgewichts	147
Reaktionsgeschwindigkeit	151
Reaktionen von besonderer technischer Bedeutung	158
IV. Hauptteil: Begleiterscheinungen chemischer Reaktionen	166
Wärme	167
Arbeit	179
1. elektrische Arbeit	179
2. mechanische Arbeit	195
Licht	197
Chemische Energie	207
Anhang: Magnetische Energie	211
Ausklang	221
Literaturhinweise	224
Chemische Fachausdrücke (Zusammenstellung von Definitionen)	227
Anmerkungen	236
Quellenverzeichnis der Abbildungen	239
Sachverzeichnis	241

Gott gab uns die Nüsse,
aber er macht sie nicht auf!

J. W. v. Goethe.

Die Straßen des Chemikers, das sind die Arbeiten, mit denen er in unbekannte Gebiete vordringt. Mag sein, daß viele dieser Straßen niemals einen wirtschaftlichen Verkehr erleben werden. Aber ein guter Weg unter zwölf gebahnten macht die Anlage aller bezahlt. Und kennen wir die Möglichkeiten, die Forderungen der ferneren Zukunft?

R. Kubn.

Der Mann der Wissenschaft, der etwas Neues finden, der Künstler, der etwas Neues schaffen will, muß eigene Wege gehen.

A. Hock.

Gott gab uns die Nüsse,
aber er macht sie nicht auf!

J. W. v. Goethe.

Die Straßen des Chemikers, das sind die Arbeiten, mit denen er in unbekannte Gebiete vordringt. Mag sein, daß viele dieser Straßen niemals einen wirtschaftlichen Verkehr erleben werden. Aber ein guter Weg unter zwölf gebahnten macht die Anlage aller bezahlt. Und kennen wir die Möglichkeiten, die Forderungen der ferneren Zukunft?

R. Kubn.

Der Mann der Wissenschaft, der etwas Neues finden, der Künstler, der etwas Neues schaffen will, muß eigene Wege gehen.

A. Hock.

Vorwort.

Die chemische Forschung ist im letzten Jahrzehnt durch bedeutsame technische Anwendungsmöglichkeiten stark in den Vordergrund des öffentlichen Interesses getreten. Die Erfindung des Bunas und der anderen neuen Kunststoffe z. B. hat die Aufmerksamkeit der Welt erneut auf den Chemiker gelenkt. Es erschienen zahlreiche populäre Bücher über chemische Probleme und das Leben bekannter Forscher, die „in romanhafter Gestaltung“ und „schwungvollem pathetischem Ton“ die chemische Forschung in den Mittelpunkt ihrer Betrachtungen stellen, dabei jedoch den Anforderungen des Wissens nicht genügen. Nur zu oft wurde so dem Leser ein verzerrtes Abbild von der chemischen Forschung vermittelt.

Dieses Buch versucht nun, dem Leser in sachlicher Form einen Einblick in die Arbeit des forschenden Chemikers zu gewähren. Es will kein Lehrbuch der Chemie sein; an solchen Werken, die zum Teil ganz ausgezeichnet sind, besteht gar kein Mangel. Auch war nicht beabsichtigt, ein Handbuch der Arbeitsmethoden, eine Art Rezeptbuch, dem Leser vorzulegen. Bei der Vielseitigkeit der chemischen Forschung und ihrem stetigen Fortschritt versteht es sich von selbst, daß das vorliegende Buch nicht allumfassend sein kann. Der Verfasser hat die ihm am wichtigsten erscheinenden Fundamente des chemischen Gedankenguts in einem logischen Aufbau (Element — Verbindung — Reaktion usw.) zusammengestellt und darin neben dem „Was“ auch das „Wie“ erläutert. Er war bemüht, durch möglichst viel Beispiele den Inhalt anschaulich zu gestalten. Im Gegensatz zu den chemischen Lehrbüchern, in denen meist die klassischen Beispiele herangezogen werden, hat der Verfasser bewußt aus der neuen und neusten Chemieliteratur Beispiele ausgewählt, um besonders von der Arbeit des modernen Chemikers ein Bild zu entwerfen.

Die neuzeitliche Chemie ist nicht mehr eine „Kochkunst“, wie manche laboratoriumsfeindliche Philologen zu Beginn des vorigen Jahrhunderts gedacht haben. Sie ist eine der geistreichsten der neueren Wissenschaften; ihre Experimente und Theorien vereinigen Kühnheit und Phantasie des Denkens. Das Buch verlangt daher etwas erhöhte Aufmerksamkeit vom Leser. Wer nur in gelangweilter Stunde nach einer unterhaltenden Ablenkung sucht, der lege es lieber ungelesen zur Seite, es würde ihn enttäuschen. Wenn dieses Buch den nach Bil-

dung Strebenden in die Grundlagen des chemischen Wissens und in den Geist der chemischen Forschung einführt, dann, ist das Ziel, daß sich der Verfasser gesteckt hat, erreicht. In diesem Sinne übergibt er das Werk der Öffentlichkeit.

Dr.-Ing. Walter Kwasnik.

Vorbemerkungen zur zweiten Auflage.

Bereits 7 Monate nach Erscheinen der ersten Auflage hat mich der Verlag aufgefordert, die zweite Auflage vorzubereiten. Daraus kann ich wohl mit Genugtuung entnehmen, daß das Buch eine wirklich vorhandene Lücke im Schrifttum ausgefüllt und demnach das von mir gesteckte Ziel erreicht hat. Auch die reiche Anzahl an Buchbesprechungen bestätigte mir dies. Zwei ausländische Verlage haben außerdem das Übersetzerrecht in die italienische und ungarische Sprache erworben. Ich hege daher keinerlei Bedenken, mit der zweiten Auflage erneut vor die Öffentlichkeit zu treten.

Sehr aufmerksam habe ich die Buchbesprechungen in den Fachzeitschriften verfolgt, weil ich vermutete, daraus Anregungen für die spätere Ausgestaltung des Buches und Hinweise auf Mängel zu erhalten. Darin wurden meine Hoffnungen leider nicht ganz erfüllt. Dafür gingen mir aber mehrere wertvolle Anregungen schriftlich oder mündlich aus dem Leserkreis zu. Besonders erwähnen möchte ich hierunter die mir von den Herren Prof. Dr. H. G. Grimm, Dießen am Ammersee und Dr. K. Rast, Merseburg, gemachten Vorschläge. Allen Einsendern bin ich zu großem Dank verbunden und verknüpfe mit dieser Dankespflicht die Bitte, mir auch weiterhin ihre wohlwollende Kritik zuteilwerden zu lassen.

Die zweite Auflage unterscheidet sich von der ersten nicht wesentlich. Einige Druckfehler, die mir erst nach Erscheinen des Buches aufgefallen sind, wurden richtiggestellt, einzelne Abschnitte dem Fortschritt der Wissenschaft und den Anregungen aus dem Leserkreis folgend, überarbeitet. Mehrere wertvolle Vorschläge konnte ich leider nicht berücksichtigen, weil dem Buch durch die Buchreihe „Einheit des Wissens“, in der es erscheint, ein äußerer Rahmen gesteckt ist.

Möge auch die zweite Auflage des Buches zahlreiche Leser in den Geist der chemischen Forschung einführen und Ihnen Verständnis für die chemische Forschungsarbeit vermitteln!

Der Verfasser.

Einleitung.

Die Natur erscheint uns als eine unendliche Kette von Rätseln und Wundern. Sie zu erforschen und zu ergründen ist die vornehmste Aufgabe, die sich die denkenden Naturfreunde aller Zeiten zu stellen vermochten. Die Erkenntnisse, die wir durch die Forschung im Laufe der Jahrhunderte gewonnen haben, sind unterdessen so umfangreich geworden, daß ein Mensch allein sie nicht mehr beherrschen kann. Auch ist die Anzahl der neuen Probleme, die sich aus der Forschungsarbeit ergeben haben, so ungeheuer gestiegen, daß eine Arbeitsteilung notwendig geworden ist. So hat sich aus Zweckmäßigkeitsgründen eine Gliederung der Arbeitsgebiete herausgebildet.

Die einzelnen Zweige der naturwissenschaftlichen Forschung sind nur nach bestimmten Übereinkünften abgegrenzte Arbeitsgebiete. Die Naturwissenschaften (Chemie, Physik, Geologie, Mineralogie, Botanik, Zoologie, Astronomie usw.) stehen miteinander nicht im Widerspruch. Sie ergänzen sich vielmehr gegenseitig sehr sinnvoll und arbeiten Hand in Hand zur Ergründung der uns umgebenden Natur. Während die Naturgeschichte die Natur nur in ihrem normalen Gang beobachtet, tritt bei der Naturlehre (Chemie, Physik, experimentelle Biologie) als wichtigster Faktor das Experiment dazu. Durch Experimente veranlaßt man die Natur, den bestehenden Naturgesetzen zwangsweise zu folgen, und stellt auf diese

Weise die Gesetzmäßigkeiten fest, nach denen die Natur aufgebaut ist und sich zu verändern pflegt. Je mehr wohldurchdachte Experimente angestellt werden, desto klarer und sicherer sind die Erkenntnisse, die daraus gewonnen werden.

Die Chemie bildet innerhalb der Naturwissenschaften das Teilgebiet, das sich mit dem Stoff beschäftigt. Die Lehre vom Stoff ist die Chemie. Sie umfaßt alle die Erscheinungen, bei denen sich die Zusammensetzung der Stoffe verändert, indem z. B. sich ein Stoff (bzw. mehrere durch Wechselwirkung) in ganz neue Stoffe mit anderen Eigenschaften umwandelt. Die Physik hingegen ist die Lehre am Stoff. Sie beschreibt alle Erscheinungen, besonders Bewegungserscheinungen, bei denen die Zusammensetzung des Stoffes unverändert bleibt, z. B. die Energie in ihren verschiedenen Erscheinungsformen und deren gegenseitige Umwandlung.

Ohne auf die in den chemischen Lehrbüchern enthaltenen Einzelheiten eingehen zu müssen, will nun das Buch, wie im Vorwort angedeutet, ein Bild vom chemischen Wissen entwerfen und gleichzeitig die Methodik des Forschens zeigen.

Die angehenden Chemiker, Chemotechniker und Laboranten lernen bekanntlich an den Universitäten, technischen Hochschulen, Chemieschulen oder dem Technikum in den ersten Semestern die Grundlagen der Chemie kennen. Sie werden auch mit den Arbeitsmethoden (präparative Darstellungsverfahren, Analysenmethoden) theoretisch und praktisch vertraut gemacht. An den Schulen, die nicht Hochschulen sind, endet die Ausbildung nach diesem Lehrgang. An den Hochschulen hingegen wird nun der Chemiestudent im Rahmen seiner Diplom- und

Doktorarbeit mit den Forschungsmethoden bekannt gemacht, die der Chemiker anwendet, wenn er in unbekanntes Gebiet vorstößt. In der darauffolgenden Assistentenzeit eignet sich der junge Chemiker besondere Geläufigkeit und Sicherheit im selbständigen Forschen an. In diese vorwiegend an den Hochschulen und Forschungsinstituten gepflegten Forschungsarbeiten soll dem Leser ein Einblick vermittelt werden.

Vom Wesen der chemischen Forschung.

Bezeichnungen wie Atom, Molekül, Verbindung, Komplexsalz, Säure, Base sind Begriffe, die der Chemiker von heute mit einer Selbstverständlichkeit in sein Fachwissen aufgenommen hat. Eine Unzahl von chemischen Verbindungen (man kennt zur Zeit etwa 80000 anorganische und mehrere hunderttausend organische) sind im Laufe der Geschichte hergestellt und studiert worden. Erscheinungen wie Radioaktivität, Hydrolyse und Polymerisation hat man festgestellt. Alle diese Erkenntnisse sind dem forschenden Chemiker in der Regel nicht durch Zufall in den Schoß gefallen. Auch die wenigsten praktisch auswertbaren Erkenntnisse, die wir Erfindungen nennen, sind durch Zufall unser eigen geworden. Vielmehr haben sich die Chemiker durch systematische Forschungsarbeit das Wissen erarbeitet, über das wir heute verfügen. Die Systematik ist die grundlegende Form der Forschungsarbeit. In ihr offenbart sich der Geist des Wissens. Dies gilt nicht nur für den Chemiker, sondern für den Forscher überhaupt. Würde ein Arbeitsgebiet nicht systematisch abgetastet werden, so würden uns viele Erkenntnisse entgehen. Wenn auch der praktische Wert mancher Forschung fürs erste fraglich erscheint, tragen doch sämtliche Erkenntnisse dazu bei, die Gesetzmäßigkeiten aufzudecken, die in der Natur verankert sind. Diese wieder weisen uns neue Wege zur Auffindung von weiteren Gesetzmäßigkeiten. Es

kommt also darauf an, aus dem zusammengetragenen Wissensmaterial durch Sichtung und Ordnung die einheitliche Linie (Gesetz, Gleichung, Definition) herauszuschälen, irrtümliche Beobachtungen auszuscheiden, gleichartige zusammenzufassen usw.

Ein Blick in die Geschichte der Chemie zeigt, daß manche irrtümliche Auffassung bestanden hat, ja vermutlich auch heute noch manche „Erkenntnis“ für richtig gehalten wird, die nicht den Tatsachen entspricht. Der Irrtum ist eine Schwäche des Menschen. Damit rechnet auch jeder Forscher und ist bemüht, durch möglichst vorurteilsfreies Denken und strenge Selbstkritik die Wahrheit zu ergründen. Treten in der Naturwissenschaft Widersprüche auf, so ist dies ein sicheres Zeichen dafür, daß einer von den Forschern einem Irrtum erlegen ist. Der Drang nach Wahrheit treibt dann die Forscher dazu an, durch gründliches Experimentieren und intensives Nachdenken den Irrtum aufzudecken bzw. den Widerspruch zu klären. Die Liebe zur Wahrheit und das Streben nach Wissen um die Natur diktieren dem Forscher sein Arbeitsprogramm.

Die chemische Forschung ist auf Erfahrung begründet. Sie schöpft wie alle Zweige der Naturwissenschaft ihre Kenntnisse aus der Wirklichkeit, und ihr Ziel ist wiederum Wirklichkeit. Von den drei Quellen des menschlichen Wissens: Autorität, Spekulation und Erfahrung benutzt also die Chemie nur die letztere. Während bei der Theologie die Autorität von Personen und Schriftwerken bis heute als Hauptquelle gilt, ist diese für die chemische Forschung nicht nur wertlos, sondern sogar von schädigendem und hinderndem Einfluß, wie dies aus der Geschichte der Alchemie und der Chemie

hervorgeht. Die Kirchenväter z. B. zogen, im unbeirrten Vertrauen auf die Autorität der Bibel, Schlüsse über die Form und stoffliche Grundlage der Erde (ferner über die Stellung der Erde zum Weltall), die nach unserem heutigen Wissen als gänzlich falsch zu bezeichnen sind. Die Spekulation, d. h. die Forschung mittels des Denkens ohne Zuhilfenahme der Erfahrung, hat zwar in der Mathematik unleugbare Erfolge erzielt, für die Chemie ist sie jedoch unfruchtbar. Zur Übersicht, Ordnung und Einteilung sowie zum leichteren Verständnis hat man für die gewonnenen Erkenntnisse Vorstellungshilfen (Theorien, Formeln, Modelle) verwendet. Diese stellen aber nur Symbole dar, die bei ständiger Kontrolle durch die Wirklichkeit ihren Wert behaupten müssen. Ihre Leistungsfähigkeit hängt davon ab, ob sie sich mit den neuen und neuesten experimentellen Ergebnissen in Einklang bringen lassen. Sie sind aber nur Hilfen, die uns in der Forschung vorwärts helfen sollen, niemals Selbstzweck.

Was bei der chemischen Forschung ganz außer Betracht bleibt, ist die von den Philosophen aufgeworfene Frage, ob das aus unseren Sinneswahrnehmungen erworbene Wissen auch etwas real Existierendes ist, ob nicht etwa nur die Empfindungen selbst das allein Vorhandene sind. Derartige Erwägungen sind für den Chemiker gegenstandslos. Die Geschichte der chemischen Forschung lehrt jedenfalls, daß die großen Entdecker nicht auf Grund philosophischer Erkenntniszweifel, sondern unter selbstverständlicher Annahme einer realen Wirklichkeit ihre großen Erfolge errungen haben.

Das materielle Ziel der chemischen Forschung war im Laufe der Geschichte nicht immer das gleiche. Zur Zeit der Alchemisten galt die Herstellung von Gold aus

verschiedenen anderen Stoffen als der „Stein der Weisen“. Das Problem, Elemente in andere zu verwandeln, ist seit der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität (Curie, Joliot, 1934) im Prinzip als gelöst zu betrachten. Nach dem Ende der alchemistischen Zeit, als die systematische wissenschaftliche Forschung auch auf chemischem Gebiet einsetzte, hat man aber ein anderes materielles Ziel höher schätzen gelernt. Man hat eingesehen, daß das Gold nicht das unumgänglich Notwendige des menschlichen Lebens ist, daß die Chemie dagegen viel wertvollere Produkte hervorbringen kann, die besonders in praktischer und kultureller Hinsicht das Gold weit übertreffen. So ist z. B. die Schaffung von Leichtmetallen, die Synthese von Treibstoffen, die Herstellung von künstlichen Arzneimitteln u. a. m. eines der vielen materiellen Ziele, die die chemische Forschung bis zum heutigen Tag noch verfolgt.

Das Studium der Gesetzmäßigkeiten hat zu der folgenreicheren Erkenntnis geführt, daß man Stoffe synthetisieren kann, die die Natur selbst nicht herstellt. Dadurch hat sich für den Chemiker ein Zeitalter erschlossen, in dem die Anzahl neuer chemischer Körper fast ins Unendliche gesteigert wurde. In diesem Zeitalter lebt die Chemie noch jetzt.

Die chemische Forschung ist trotz ihrer systematischen Arbeitsweise nicht etwa gleichförmig und eintönig. Der erfolgreiche chemische Forscher muß vielmehr geistig sehr rege und beweglich sein. Er muß sich entsprechend der Problemstellung schnell dem Stoff anpassen, denn die Natur gibt im Experiment nur klare Antworten, wenn sie vernünftig befragt wird. Zu dieser Anpassungsfähigkeit ist die Voraussetzung erforderlich, daß der Forscher sich in die Problemstellung seelisch einfühlt.

Er bedarf wie der neuschaffende Künstler der Intuition. Seine Arbeit ist daher ein Teil seiner Persönlichkeit. Mit dieser Liebe zur Sache muß eng verknüpft sein eine bewundernswerte Geduld und der unerschütterliche Glaube an den Erfolg, trotz aller Fehlschläge und Hindernisse. Wer nicht von vornherein eine überaus große Liebe zur Chemie besitzt, wage sich lieber nicht an die chemische Forschung heran; er würde nach kurzer Zeit den Mut verlieren und den harten Kampf mit der Materie nicht bestehen. So stellt die Forschungsarbeit auch an die Gesinnung des Experimentators einige Anforderungen. Konservative Denkweise und Hang zu Tradition dürften dem Forscher wenig förderlich sein. Der mit Forschung sich befassende Chemiker muß von fortschrittlichem Geist beseelt sein; in dem Streben nach wahren und klaren Erkenntnissen um die Natur muß er fähig sein, jahrelang verfochtene Grundsätze und Ansichten aufzugeben bzw. zu revidieren. Alle Fortschritte der Wissenschaft und Technik muß er aufmerksam verfolgen, um sie gegebenenfalls für seine Arbeit verwerten zu können. Je vorurteilsfreier und kritischer er an seine Probleme herantritt, desto sicherer wird sein Mühen von Erfolg gekrönt sein.

Materie, Energie und Leben.

Die unterste Grundlage der Chemie ist, wie bei den Naturwissenschaften überhaupt, noch völlig unbekannt. Man kann in der Chemie nicht wie z. B. in der Mathematik von wenigen Voraussetzungen ausgehend das ganze Wissensgebäude aufbauen. Vielmehr muß man von den uns am nächsten liegenden Beobachtungen allmählich in die Tiefe eindringen. Der letzte Urgrund wird uns aber vor allem deswegen ungeklärt bleiben, weil wir nur das Wohin, nicht aber das Woher beobachtend verfolgen können. So erscheinen uns Grundbegriffe wie Materie, Energie und Leben als ursprüngliche Tatsachen, die wir als gegeben hinnehmen müssen, ohne ihre Herkunft erklären zu können.

Daß die Chemie die Lehre vom Stoff (Materie) und die Physik die Lehre am Stoff (Energie) ist, haben wir in der Einleitung erfahren. Der Welt der Materie steht also die Welt der Energie gegenüber. Was ist nun Materie? „Was Ausdehnung, Gewicht und Trägheit besitzt, ist Materie“, besagt eine grundlegende Definition. Und was ist Energie? „Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten.“ In diesen Begriffen Materie und Energie liegt also die vereinbarte Grenze zwischen Chemie und Physik. Und doch ist diese Trennschicht nur konventionell, denn Materie tritt nie frei von Energie auf, und ihre Eigenschaften lassen sich nur durch ihr Verhalten gegenüber verschiedenen Energiearten wie

Wärme, Licht, Elektrizität usw. charakterisieren. Wie wir noch später erfahren werden, ist alle Materie aufgebaut aus Atomen und diese aus positiven und negativen elektrischen Einheiten. Die Untersuchungen von Planck und anderen haben indessen ergeben, daß auch die Energie nicht in beliebig kleinen Mengen auftritt, sondern daß auch sie atomistisch aufgebaut ist. Energie und Materie weisen somit letzten Endes gleiche Struktur auf. Die Materie erscheint uns im Vergleich zur Energie nur als eine besondere, und zwar äußerst dichte Anordnungsform der elektrischen Energie. Da uns das Wesen dieser unbekannt ist, muß uns auch das innerste Wesen der Materie verborgen bleiben.

Materie läßt sich in Energie und Energie in Materie umwandeln. Dies ist einwandfrei erwiesen. Gibt z. B. ein Stoff Energie (Licht, Wärme) ab, so ist auch ein entsprechender Masseverlust damit verbunden. Dieser ist aber äußerst gering. Demzufolge muß der Energieinhalt der Materie außerordentlich groß sein. Um ihn größenordnungsmäßig anzuführen, sei folgendes Beispiel genannt: 1 g Eisen liefert, wenn es restlos in Energie umgewandelt würde, soviel Energie, wie beim Verbrennen von ca. 3000 t Kohlen entsteht.

Das zweite Teilgebiet der Naturlehre, das mit der Chemie ebenfalls in enger Fühlung steht, ist die Biologie, die Lehre von den Lebensvorgängen. Auch hier scheint es so, als wenn man einen scharfen und sachlich begründeten Trennungsstrich nicht ziehen könnte, denn der Lebensvorgang kann sich nur in chemischen Stoffen (z. B. im Protoplasma) abspielen, das Lebewesen anderseits ist befähigt, chemische Körper zu synthetisieren (z. B. Zucker durch die Zuckerrübe, Eiweiß durch den

tierischen Organismus) oder abzubauen (z. B. durch die Verdauung). Und doch besitzt das Leben charakteristische Merkmale, die man mit der Materie vorläufig nicht auf einen gemeinsamen Nenner bringen kann. Das Lebewesen zeichnet sich durch folgende Kriterien aus: Es besitzt die Fähigkeit zu wachsen, sich zu vermehren, sich durch Stoffwechsel zu erhalten, eine bestimmte Gestalt anzunehmen, auf Reize zu reagieren und sterben zu können. Nur wenn alle sechs Eigenschaften beisammen sind, kann man von „Leben“ sprechen. Einzelne dieser Eigenschaften kommen nämlich auch der toten Materie zu. So z. B. besitzt der Alaun die Fähigkeit, eine ihm charakteristische Gestalt anzunehmen (Alaunkristall) und zu wachsen (Wachstum von Alaunkristallen in einer übersättigten Lösung). Dem Element Selen kommt die Fähigkeit zu, auf Reize zu reagieren (bei Belichtung verändert es die elektrische Leitfähigkeit). Der Ursprung und das Wesen des Lebens ist uns wie das der Materie und Energie noch völlig unklar.

So eng wie Materie, Energie und Leben miteinander verknüpft sind, so eng arbeiten auch chemische, physikalische und biologische Forschung zusammen. Deshalb kann es uns nicht wundernehmen, daß zur Erforschung chemischer Probleme zahlreiche physikalische Methoden (z. B. Röntgenspektroskopie, Magnetochemie) und biologische Arbeitsweisen (z. B. Gehaltsbestimmung von Hormonen durch Messung der Wirksamkeit auf Organe) herangezogen werden.

I. Hauptteil: Element.

Der Begriff des Elements.

Die uns umgebende Natur besteht aus Individuen, die sich bei energischer Einwirkung von physikalischen und chemischen Kräften in einfachere Bestandteile zerlegen lassen. Führt man den Zerlegungsprozeß möglichst weitgehend durch, so gelangt man schließlich zu Stoffen, die mit Hilfe chemischer Agenzien, elektrolytischer Vorgänge und hoher Temperaturen nicht mehr zerlegbar sind. Diese Grundstoffe nennt man Elemente. Unter einem Element versteht man demnach einen Stoff, der durch kein chemisches Verfahren in ungleichartige Bestandteile zerlegt werden kann. Der denkbar kleinste Teil eines Elements heißt Atom (vom griechischen *ατομος* = unteilbar). Die Einzelatome kann man sich ähnlich aufgebaut vorstellen wie ein Planetensystem. Sie bestehen aus einem Massenkern, um den in wohldefinierten Bahnen, ähnlich den Planeten des Himmelssystems elektrisch negativ geladene Teilchen, Elektronen, kreisen. Der Massenkern wiederum ist aus elektrisch positiv geladenen Partikeln zusammengesetzt, die wir Protonen nennen. Der Atomkern eines jeden Elements hat eine bestimmte Anzahl von Protonen, so z. B. der Kern des Wasserstoffatoms 1, der des Heliums 2, der des Lithiums 3 usw. Diese Zahl nennen wir die Kernladungszahl eines Elements. Im Hinblick auf die Protonen kann man daher den Begriff des Elements auch

folgendermaßen definieren: Ein Element ist ein Stoff, dessen sämtliche Atome die gleiche Kernladung haben. Soviel Protonen im Kern eines Elements vorhanden sind, soviel Elektronen kreisen um ihn herum. Positive und negative elektrische Ladung halten sich also das Gleichgewicht, so daß das Atom nach außen hin elektrisch neutral erscheint.

Der Vergleich des Atomaufbaus mit einem Planetensystem (Rutherford, 1911, und andere) ist für das Verständnis der chemischen Funktionen vorzüglich geeignet. Deshalb soll auf diesen Vergleich näher eingegangen werden, obwohl man heute weiß, daß diese Gegenüberstellung nur bis zu einem gewissen Grade richtig ist. Wie ein Atom in Wirklichkeit aussieht, kann mit Sicherheit nicht angegeben werden, denn man kann ja ein Atom nicht beobachten, sondern nur seine Spaltprodukte (wie Protonen und Elektronen) messend verfolgen und daraus Rückschlüsse auf den vermutlichen Bau des Atoms ziehen. Alle bisher entwickelten Atomtheorien sind in erster Linie Vorstellungshilfen.

Die Griechen teilten die Natur in vier Elemente ein, nämlich Feuer, Wasser, Luft und Erde (Empedokles, 450 v. Chr.). Diese Einteilung ist unlogisch und oberflächlich, denn das Feuer ist ein chemischer Prozeß, das Wasser eine chemische Verbindung, die Luft ein Gemisch gasförmiger Elemente und die Erde, wie man leicht feststellen kann, ein kompliziertes Gemenge von den verschiedenartigsten Substanzen. Heute kennen wir 88 Elemente und wissen, daß noch 4 weitere existieren, die allerdings noch nicht isoliert werden konnten. Die Namen der Elemente und ihre chemischen Symbole sind in der Zahlentafel 1 dem Alphabet nach geordnet angeführt.

Zahlentafel 1. Verzeichnis der Elemente.

	Sym- bol	Ord- nungs- zahl	Atom- gewicht		Sym- bol	Ord- nungs- zahl	Atom- gewicht
Aktinium . . .	Ac	89	227 (?)	Niob	Nb	41	92,91
Aluminium . .	Al	13	26,97	Osmium	Os	76	190,2
Antimon	Sb	51	121,76	Palladium . . .	Pd	46	106,7
Argon	Ar	18	39,944	Phosphor . . .	P	15	31,02
Arsen	As	33	74,91	Platin	Pt	78	195,23
Barium	Ba	56	137,36	Polonium . . .	Po	84	210 (?)
Beryllium . . .	Be	4	9,02	Praseodym . .	Pr	59	140,92
Blei	Pb	82	207,21	Protaktinium .	Pa	91	231
Bor	B	5	10,82	Quecksilber .	Hg	80	200,61
Brom	Br	35	79,916	Radium	Ra	88	226,05
Chlor	Cl	17	35,457	Radon	Rn	86	222
Chrom	Cr	24	52,01	Rhenium	Re	75	186,31
Dysprosium . .	Dy	66	162,46	Rhodium	Rh	45	102,91
Eisen	Fe	26	55,84	Rubidium . . .	Rb	37	85,48
Erbium	Er	68	167,2	Ruthenium . . .	Ru	44	101,7
Europium . . .	Eu	63	152,0	Samarium . . .	Sm	62	150,43
Fluor	F	9	19,000	Sauerstoff . . .	O	8	16,0000
Gadolinium . .	Gd	64	156,9	Schwefel	S	16	32,06
Gallium	Ga	31	69,72	Selen	Se	34	78,96
Germanium . .	Ge	32	72,60	Silber	Ag	47	107,880
Gold	Au	79	197,2	Silizium	Si	14	28,06
Hafnium	Hf	72	178,6	Skandium . . .	Sc	21	45,10
Helium	He	2	4,003	Stickstoff . . .	N	7	14,008
Holmium . . .	Ho	67	163,5	Strontium . . .	Sr	38	87,63
Illinium	—	61	—	Tantal	Ta	73	180,88
Indium	In	49	114,76	Tellur	Te	52	127,61
Iridium	Ir	77	193,1	Terbium	Tb	65	159,2
Jod	J	53	126,92	Thallium . . .	Tl	81	204,39
Kadmium . . .	Cd	48	112,41	Thorium	Th	90	232,12
Kalium	K	19	39,096	Thulium	Tm	69	169,4
Kalzium	Ca	20	40,08	Titan	Ti	22	47,90
Kassiopeium .	Cp	71	175,0	Uran	U	92	238,07
Kobalt	Co	27	58,94	Vanadium . . .	V	23	50,95
Kohlenstoff . .	C	6	12,010	Wasserstoff . .	H	1	1,0081
Krypton	Kr	36	83,7	Wismut	Bi	83	209,00
Kupfer	Cu	29	63,57	Wolfram	W	74	183,92
Lanthan	La	57	138,92	Xenon	X	54	131,3
Lithium	Li	3	6,940	Ytterbium . . .	Yb	70	173,04
Magnesium . .	Mg	12	24,32	Yttrium	Y	39	88,92
Mangan	Mn	25	54,93	Zäsium	Cs	55	132,91
Masurium . . .	Ma	43	98 (?)	Zer	Ce	58	140,13
Molybdän . . .	Mo	42	95,95	Zink	Zn	30	65,38
Natrium	Na	11	22,997	Zinn	Sn	50	118,70
Neodym	Nd	60	144,27	Zirkonium . . .	Zr	40	91,22
Neon	Ne	10	20,183	—	—	85	—
Nickel	Ni	28	58,69	—	—	87	—