



1111
1894

1111
1894

FREIHEIT IN BINDUNG

EX LIBRIS

LÖSEĆ DOM ZWANG



Dr. Helmut Vester

Dv 4121

UuLB Düsseldorf

+4162 634 01

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
- Medizinische SW -
DUSSELDORF
V 4119

EX LIBRIS
UNIVERSITÄT DÜSSELDORF
VON HELMUT OESTER
1914
JULI 1914

GESCHICHTE DER CHEMIE

KURZGEFASSTE DARSTELLUNG

VON

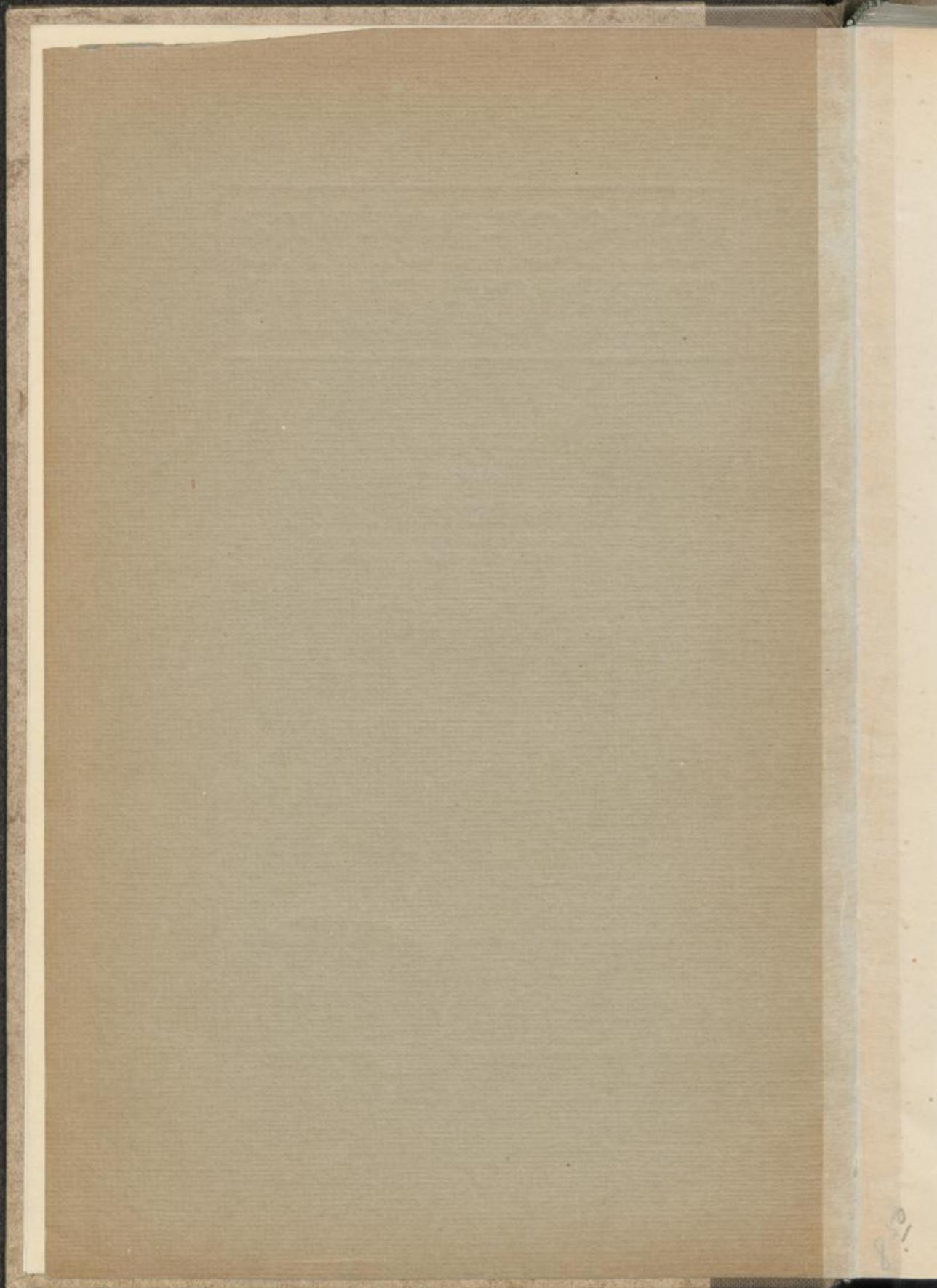
DR. THOR EKECRANTZ

O. PROFESSOR DER CHEMIE UND PHARM. CHEMIE
AN DEM PHARMAZEUT. INSTITUT ZU STOCKHOLM

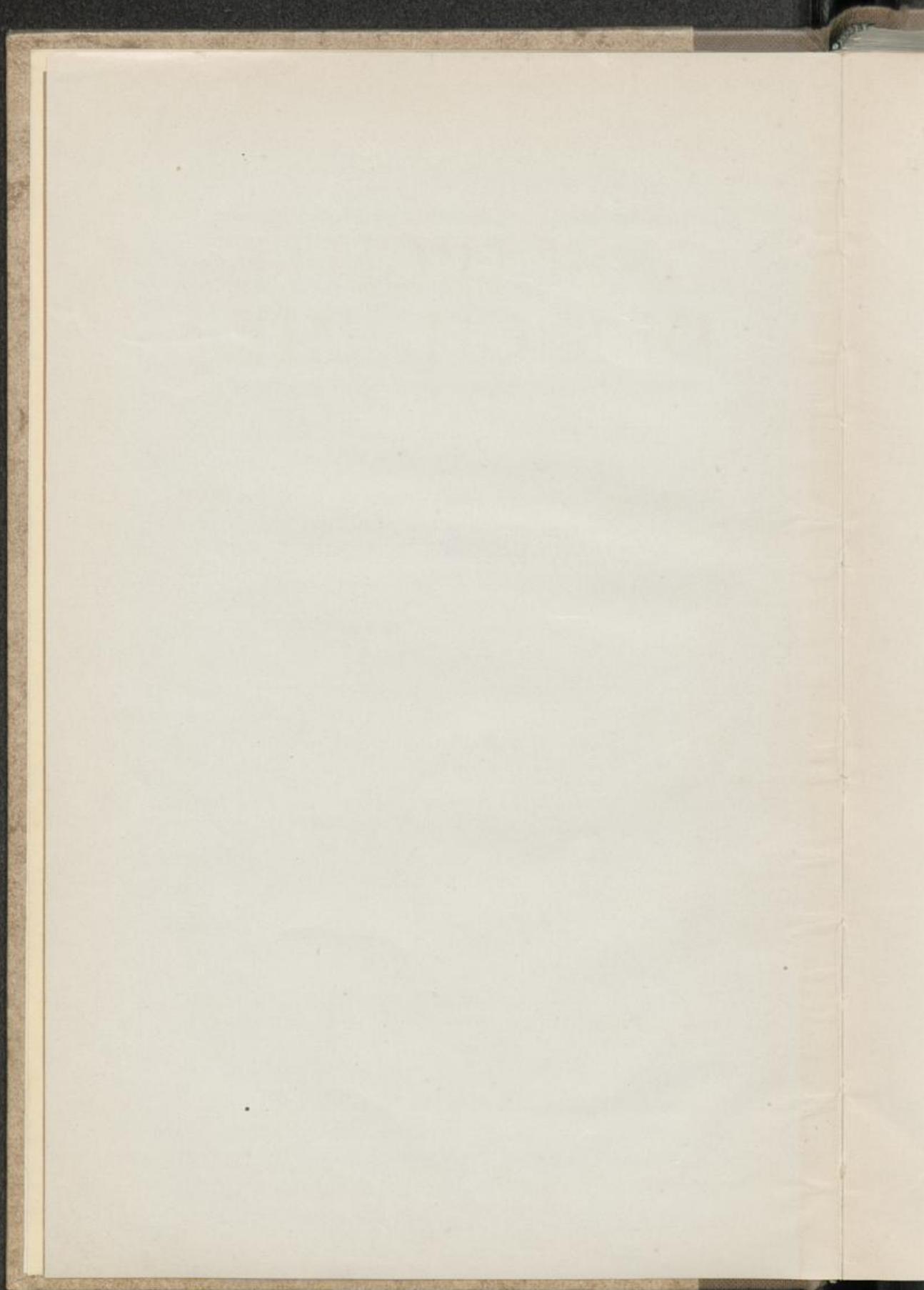
LEIPZIG

AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT M. B. H.

1913.



Geschichte der Chemie



GESCHICHTE DER CHEMIE

KURZGEFASSTE DARSTELLUNG

VON

DR. THOR EKECRANTZ

O. PROFESSOR DER CHEMIE UND PHARM. CHEMIE
AN DEM PHARMAZEUT. INSTITUT ZU STOCKHOLM

AUS DEM SCHWEDISCHEN ORIGINAL VOM VERFASSER BEARBEITET

MIT FÜNFUNDZWANZIG BILDNISSEN
IM TEXT

LEIPZIG

AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT M. B. H.

1913.

GESCHICHTE
DER CHEMIE

Copyright 1913 by Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.
Leipzig

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
- Medizinische Abt. -
DUSSELDORF
V 4119

Druck von E. Haberland, Leipzig-R.

Einleitung.

Die Chemie ist die Lehre von der Zusammensetzung der Körper. Die erste Aufgabe der Chemie ist die Ermittlung der einfachen Stoffe, aus welchen die uns umgebende Welt zusammengesetzt ist, und der Aufbau sowohl bereits bekannter wie neuer Verbindungen aus diesen einfachen Stoffen. Hand in Hand mit diesen analytischen und synthetischen Aufgaben geht die Ermittlung der Gesetze, nach denen die chemische Verbindung einfacher Stoffe zu zusammengesetzten Körpern stattfindet.

Die Ableitung des Wortes Chemie ist nicht völlig sicher festgestellt. Man hat geglaubt, das Wort wäre von $\chi\acute{\epsilon}\omega$, cheo, ich gieße, oder von $\chi\upsilon\mu\acute{o}\varsigma$, chymos, Saft abgeleitet, obgleich es sehr unwahrscheinlich ist, daß das Wort Chemie griechischer Herkunft ist. Weit wahrscheinlicher ist wohl, wie zuerst von *Plutarch**) hervorgehoben wurde, die Ableitung von dem Namen, den die Ägypter ihrem Lande gaben. Ägypten wurde nämlich Chemi, Cham oder Chami genannt, das Land der schwarzen Erde, ganz wie in koptischen oder neuägyptischen Sprachen das Wort cham Schwarz bedeutet. Die Chemie sollte also die Wissenschaft aus Chemi oder dem schwarzen Lande sein, die Wissenschaft Ägyptens, d. h. des Landes, wo dieses Studium mit besonderem Eifer betrieben wurde. Als später die Araber die Erbschaft des alten Industrielandes Ägypten antraten, fügten sie dem Namen chemi den arabischen Artikel al hinzu, weshalb die chemische Wissenschaft von dieser Zeit an bis ins Mittelalter hinein alchemi oder alchymi genannt wurde; später kehrte man zu der einfacheren Benennung chemi zurück.

Die Wissenschaft, die wir Chemie nennen, hat jedoch das Lösen oben genannter Probleme als Leitmotiv nicht immer gehabt; sie hat im Gegenteil in verschiedenen

*) *Plutarch*, einer der fleißigsten Schriftsteller Griechenlands, wurde etwa im Jahr 50 n. Chr. G. in Chaeronea in Böotien geboren und starb etwa im Jahr 120. Außer einer größeren Sammlung biographischer Schriften hat Plutarch unter dem Titel *Ethica* 83 Schriften wechselnden Inhaltes zusammengestellt. Eine derselben, *De Iside et Osiride*, behandelt im Kap. 33 die genannte Frage.

Zeitabschnitten sich mit der Lösung ganz anderer Aufgaben beschäftigt. Durch die Verschiedenheiten der Ziele zu verschiedenen Zeiten werden die Perioden, in welche die Geschichte der chemischen Forschung eingeteilt wird, charakterisiert. Die während eines früheren Zeitabschnittes gemachten Versuche, die so eifrig gesuchten edlen Metalle hauptsächlich durch die Umwandlung der unedlen Metalle darzustellen, schlossen ja gewissermaßen auch die Ermittlung der Bestandteile der Körper in sich; dieser Gesichtspunkt war aber dabei ganz in den Hintergrund gedrängt. In dem darauffolgenden Zeitabschnitte nahmen die Jünger der Chemie zur hauptsächlichsten Aufgabe, den Wert verschiedener Stoffe als Heilmittel festzustellen, eine Richtung, die wesentlich dazu beitrug, die chemische Forschung von ihrem eigentlichen Ziele, der Ermittlung der Zusammensetzung der Körper und der Feststellung der Gesetze, welche die Verbindung der einfachen Körper zu zusammengesetzten regeln, zu entfernen. Erst in der späteren Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts wurde sich die chemische Forschung ihres wirklichen Zieles völlig bewußt, und die Chemiker suchten nun die chemischen Probleme zu lösen bei völligem Absehen von anderen, der chemischen Forschung fremden Gesichtspunkten. Durch die Entdeckungen von grundlegender Bedeutung, die am Ende des achtzehnten Jahrhunderts in der Chemie gemacht wurden, hat die chemische Wissenschaft sich einer Entwicklung fähig gezeigt und eine theoretische Vollendung erreicht, die ihre Wirkungen auf alle Gebiete erstreckt hat.

Wenn auch jetzt das chemische Lehrgebäude fest abgeschlossen scheinen mag, so sind doch viele Zeichen vorhanden, die auf eine fundamentale Veränderung der chemischen Anschauungen hindeuten, deren Wirkungen vielleicht von noch größerer Tragweite werden als die großen epochemachenden Entdeckungen am Ende des achtzehnten und im Anfang des neunzehnten Jahrhunderts.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	V
I. Die Chemie im Altertum	4
Theoretische Spekulationen. — Das chemische Erfahrungsgebiet der Alten. — Technische Anwendung der chemischen Kenntnisse. — <i>Hervorragende Persönlichkeiten während des Altertums.</i>	
II. Die alchimistische Periode	12
Geschichte. — Theoretische Spekulationen. — Einfluß der Alchimie auf die chemische Forschung. — Das chemische Erfahrungsgebiet. — Technische Anwendung der chemischen Erfahrung. — <i>Hervorragende Persönlichkeiten.</i>	
III. Die iatrochemische Periode	32
Einleitung. — Paracelsus und seine Schule. — Van Helmont und seine Zeitgenossen. — Sylvius und seine Schüler. — Technische Verwendung der chemischen Erfahrung. — <i>Hervorragende Persönlichkeiten der Periode.</i>	
IV. Die phlogistische Periode	56
Einleitung. — Boyle und seine Zeitgenossen. — Stahl und die phlogistische Schule. — Die Entwicklung in theoretisch-chemischer Hinsicht. — Die Entwicklung in praktisch-chemischer Hinsicht. — Technische und pharmazeutische Verwendung der chemischen Erfahrung. — <i>Hervorragende Persönlichkeiten.</i>	
V. Fall der phlogistischen Lehre	90
Rückblick auf die phlogistische Periode. — Lavoisier und die phlogistische Hypothese. — Urteile über die chemische Wirksamkeit Lavoisiers. — Die Zeitgenossen und nächsten Nachfolger von Lavoisier. — <i>Hervorragende Persönlichkeiten dieser Epoche.</i>	
VI. Die chemische Forschung nach Lavoisier bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts	105
1. Die Atomtheorie von Dalton. — Die weitere Entwicklung der Atomtheorie von Dalton. — Das Gesetz von Dulong-Petit. — 2. Die elektrochemischen Theorien von Davy und Berzelius. — Das dualistische System von Berzelius. — Chemische Nomenklatur und Zeichen. — Ältere Radikaltheorie. — 3. Reaktion gegen den Dualismus. — Kerntheorie. — Typentheorie.	

— Der Kampf zwischen der dualistischen und der unitaristischen Auffassung. — Modifikationen der Radikaltheorie. — Entwicklung der Typentheorie. — 4. Verschmelzen der Radikaltheorie mit der Typentheorie. — Theorie der mehrbasischen Säuren. — Die Resttheorie von Gerhardt. — Versuche zur Klassifikation. — Die Atomgewichte von Gerhardt und die Feststellung der Begriffe Molekül, Atom und Äquivalent. — Die Untersuchungen von Wurtz, Hofmann und Williamson. — Die Typentheorie von Gerhardt. — <i>Hervorragende Persönlichkeiten der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts.</i>	
VII. Die Entwicklung in theoretisch-chemischer Hinsicht von der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts bis zur Gegenwart	170
Entwicklung des Valenzbegriffes. — Die Strukturtheorie. — Der Streit über die konstante oder wechselnde Valenzzahl. — Periodisches System der Elemente. — Die elektrolytische Dissoziationstheorie von Arrhenius. — Einige wichtige Fortschritte der experimentellen Chemie im neunzehnten Jahrhundert. — <i>Biographische Notizen von einigen in der späteren Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts hervortretenden Persönlichkeiten.</i>	
VIII. Entwicklung des chemischen Unterrichts	220
Unterrichtsanstalten. — Literatur.	
Sachregister	223
Namenregister	228
Literaturverzeichnis	231

I.

Die Chemie im Altertum.

(Von ältester Zeit bis zum Anfang des vierten Jahrhunderts n. Ch. G.)

Theoretische Spekulationen. — Das chemische Erfahrungsgebiet der Alten. — Technische Anwendung der chemischen Kenntnisse. — Hervorragende Persönlichkeiten während des Altertums.

Die Völker des Altertums waren im Besitze empirischer Kenntnisse von einer Menge chemischer Vorgänge, ohne jedoch irgendwelche Versuche zu machen, die Erfahrungstatsachen unter einheitliche Gesichtspunkte zusammenzufassen und ohne die Lösung dieses oder jenes chemischen Problems anzustreben. Im schroffsten Gegensatz zu dem mangelnden Interesse der Alten an der experimentellen Forschung steht die ausgeprägte Neigung zur Spekulation, die gewöhnlich den Ursprung des Alls zum Gegenstand hatte. *Aristoteles*¹⁾, der für einen langen Zeitraum den Naturwissenschaften Richtung und Ziel angewiesen hat, gab die deduktive Methode als den Weg, der zum Ziele führen werde, an. Statt durch genaues Beobachten der einzelnen Erscheinungen auf allgemeine Gesetzmäßigkeit zu schließen, zog man es vor, vom Allgemeinen Folgerungen auf die Natur der einzelnen Erscheinung zu ziehen.

Was die theoretischen Anschauungen der alten Völker, insbesondere der Griechen und Römer, betrifft, so gestatten die philosophischen Schriften der beiden letzteren Völker, einen ziemlich guten Einblick. Über den Umfang des empirischen Wissens während dieser Epoche geben uns gewisse Teile der Arbeiten des *Aristoteles*, z. B. *περὶ ὄργανοῦ*, *Vom Weltall*, und *περὶ γενέσεως καὶ φθορᾶς* *Weltwerden und Weltuntergehen*, wie auch die von seinem Schüler, *Theo-*

¹⁾ Seite 9, ff.

*phrast*¹⁾), verfaßte Schrift, *περὶ λίθων*, *Von den Steinen*, wertvolle Aufschlüsse. Einen besonders guten Überblick über den Umfang der chemischen Kenntnisse des Altertums geben die von *Dioskorides*²⁾ verfaßte Arbeit *De materia medica* und einzelne Kapitel aus *Historia naturalis* von *Plinius* dem Älteren³⁾).

Eine Frage, die schon in früher Vorzeit den nach Erkenntnis dürstenden Menschegeist beschäftigt hat, ist folgende: Welches sind die letzten Bestandteile, die Elemente, die die Welt bilden? Unter den mannigfachen Anschauungen über diesen Gegenstand ist es eine, die einen besonders großen Einfluß auf die chemische Anschauungsweise während fast zweier Jahrtausende ausgeübt hat, nämlich die Lehre von den Elementen, die, obgleich von *Empedokles*²⁾ zuerst dargestellt, doch gewöhnlich den berühmten Namen des *Aristoteles* trägt. Von weit geringerer Tragweite sind dagegen einige Spekulationen der älteren griechischen Philosophie über den Urstoff, woraus die Welt entstanden sein sollte. Von Ansichten dieser Art seien angeführt diejenige von *Thales*²⁾), welcher das Wasser als den Urstoff aller Dinge betrachtete, während seine Zeitgenossen *Anaximenes*²⁾) und *Heraklit*²⁾) der Ansicht waren, jener, daß die Materie aus Luft entstanden wäre, dieser daß das Feuer der Urstoff wäre, woraus die Welt gebildet ist. Diese Spekulationen des Thales, Anaximenes und Heraklit

¹⁾ *Theophrast*, griechischer Philosoph und Naturforscher, war in Eresos auf Lesbos geboren. Er wurde als Nachfolger von Aristoteles Vorsteher der peripatetischen Schule in Athen.

²⁾ Seite 9, ff.

³⁾ *Plinius* der ältere, römischer Gelehrter, geb. im Jahre 23 n. Chr. in Conrum in Gallia Cisalpina. Bei dem Ausbruch des Vesuv im Jahre 79 war er anwesend an Bord der Flotte bei Misenum. Er ließ sich bei dieser Gelegenheit von seinem Forschereifer dazu verleiten, sich dem gefährlichen Bezirk zu sehr zu nähern und wurde von den Vulkangasen erstickt. Von den Schriften des Plinius ist nur sein ganzes Werk *Historia naturalis* erhalten, das eine wissenschaftliche Enzyklopädie in 37 Büchern bildet.

haben indessen keinerlei Bedeutung für die Entwicklung der chemischen Wissenschaft gewonnen.

*Demokrit*¹⁾, der ein Jahrhundert später lebte, ging bei seinen Spekulationen auch von einem Urstoff aus, den er aber als noch weiter teilbar ansah. Nach Demokrit besteht dieser Urstoff aus einer unendlich großen Anzahl äußerst kleiner Teile, *Atome*, die verschieden sind in bezug auf Form und Größe, nicht aber in bezug auf Qualität. Alle in der Welt stattfindenden Veränderungen beruhen nach Demokrit auf der Trennung und Wiedervereinigung solcher Atome, die er sich in ununterbrochener, lebhafter Bewegung begriffen dachte. Demokrit kann also als erster Verkünder von Ansichten betrachtet werden, die ein paar Jahrtausende später in den Vordergrund der chemischen Wissenschaft treten sollten.

Wie schon hervorgehoben, ist die bekannte Lehre von den vier Elementen zuerst von *Empedokles* ausgesprochen worden. Die vier Elemente, *Luft*, *Wasser*, *Erde* und *Feuer*, sind nach ihm die Grundlagen des Weltgebäudes. Doch betrachtete weder Empedokles noch Aristoteles, der die Lehre von den vier Elementen aufnahm, diese als verschiedene Grundstoffe, sondern nur als verschiedene Eigenschaften, die einer einzigen Urmaterie zukommen. Als Hauptqualitäten nahm Aristoteles diejenigen an, die er durch den Gefühlssinn hatte kennen lernen, *warm*, *kalt*, *trocken*, *feucht*. Jedes der vier Elemente wird durch zwei dieser Qualitäten gekennzeichnet. Die Luft ist warm und feucht, das Wasser feucht und kalt, die Erde kalt und trocken, das Feuer warm und trocken. Die verschiedenen Formen der körperlichen Welt können also sämtlich auf die der Materie innewohnenden Eigenschaften zurückgeführt werden. Von der Annahme, daß die Eigenschaften veränderlich sind, gelangte man zur Überzeugung, daß die Körper selbst ineinander überführt werden können. Es ist leicht zu verstehen, wie man, auf solche Spekulationen ge-

¹⁾ Seite 9 ff.

stützt, zu dem Glauben kommen konnte, daß Wasser sich ohne weiteres in Luft verwandeln kann. Beide haben die Qualität *f e u c h t* gemeinsam; die dem Wasser eigene Qualität *k a l t* kann durch Feuer in die zweite Hauptqualität der Luft, *w a r m*, übergeführt werden. Durch diese Betrachtungsweise wurde der Grund zu der Auffassung gelegt, die im Zeitalter der Alchimie vollständig vorherrschend war: die Möglichkeit der Umwandlung der Metalle in einander.

Aristoteles war indessen der Ansicht, daß die vier Elemente des Empedokles nicht ausreichten um die Naturvorgänge genügend zu erklären. Er nahm daher die Existenz eines fünften Elementes an, das er *ὀψία* nannte.

Dieses fünfte Element besaß eine mehr ätherische Beschaffenheit und hatte die Eigenschaft alles zu durchdringen. Unter dem Namen von „quinta essentia“ hat es im Mittelalter bei den Anhängern der Lehre des Aristoteles eine wichtige Rolle gespielt. Dieses fünfte Element wurde im Mittelalter die Quelle manchen Verdrusses und die Ursache vieler fehlgeschlagener Hoffnungen, weil die unzähligen Versuche, dasselbe zu erhalten, alle scheiterten.

In den ältesten Urkunden der orientalischen Völker, wie der Ägypter, Israeliten, Inder u. a., findet man eine genaue Kenntnis von der Bearbeitung verschiedener Metalle. Man kann mit guten Gründen annehmen, daß die Israeliten wenigstens sechs Metalle kannten, Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Blei und Zinn. Als die charakteristischsten Eigenschaften der Metalle fielen schon früh ihr Glanz, ihre Dehnbarkeit und Festigkeit auf. Über die Entstehung von Metallen und Erzen im Erdinnern machten sich die Völker des Altertums die phantastischsten Vorstellungen.

Die Griechen und noch mehr die Römer kannten eine Menge metallurgischer Prozesse. Bei Dioskorides und Plinius, wie auch bei anderen alten Verfassern, findet man genaue Angaben über Gewinnung der Metalle aus Erzen, je-

doch ohne einen Versuch den chemischen Prozeß zu erklären.

Die edlen Metalle, Gold und Silber, deren Glühbeständigkeit den Völkern des Altertums nicht entgangen zu sein scheint, waren schon sehr früh, in vorgeschichtlicher Zeit bekannt. Dies ist ja auch durch das Vorkommen der beiden Metalle in gediegenem Zustande leicht zu erklären. Die ungewöhnliche Dehnbarkeit des Goldes erregte früh die Aufmerksamkeit, und man bediente sich derselben, indem man verschiedene Gegenstände mit dünnem Goldblatt überzog. Das später benutzte Verfahren, mit Hilfe von Amalgamen den Gegenständen einen Goldüberzug zu geben, war schon zur Zeit des Plinius lange in Gebrauch gewesen. Die Phönizier vermittelten die Zufuhr von Silber an die Kulturvölker des Altertums aus den reichen Silbergruben in Spanien und Armenien. Schon im Anfang unserer Zeitrechnung wußte man das Silber durch Zusammenschmelzen mit Blei zu reinigen; dagegen scheint es, als ob man zu jener Zeit Silber und Gold in Legierungen noch nicht trennen konnte. Die in der Natur vorkommende Legierung von Gold und Silber wurde von den Griechen *ἤλεκτρος*, *electrum*, genannt und galt für ein besonderes Metall.

Die Angaben über Kupfer, welches Metall vom Uralter her bekannt gewesen ist, beziehen sich gewöhnlich auf seine Legierungen mit anderen Metallen, vorzugsweise auf die Bronze, die bekanntlich schon frühzeitig zu Waffen, Schmuck und zu Werkzeugen benutzt wurde. Das Kupfer wurde teils direkt in gediegener Form gefunden, teils durch Schmelzen von Malachit und ähnlichen Kupfererzen mit Kohle erhalten¹⁾. Die Bronze war allen alten Kulturvölkern weit früher bekannt als ihr zweiter Hauptbestandteil, das Zinn; wenigstens wird dieses Metall in den alt-ägyptischen Urkunden nirgends erwähnt.

Das Zink war ebenfalls als Metall unbekannt, die Legierung des Kupfers mit Zink aber, das Messing, wurde

¹⁾ Die Römer holten ihr Kupfer aus Cypern, daher der Name *cuprum*.

zur Zeit des Plinius durch Zusammenschmelzen von Kupfer, Galmei und Kohle bereitet.

Das Eisen scheint, wenn auch viel später als Kupfer und Bronze, doch schon in sehr früher Zeit bekannt gewesen zu sein. Das Metall wurde in Schmelzöfen dargestellt, doch fehlen nähere Angaben der Verfahrungsweise. Roteisenstein und Magnetit scheinen die hauptsächlich verwandten Eisenerze gewesen zu sein. Nach Xenophon¹⁾ soll die Kunst, Eisen aus den Erzen auszuschmelzen, zuerst einem Völkerstamm an der Küste des Schwarzen Meeres, den Kalyben, bekannt gewesen sein; daher die Benennung des Stahls, *χάλυψ*.

Auch das Metall Blei war schon sehr früh bekannt. Über die Methoden, welche die Völker des Altertums benutzten um das Blei zu gewinnen, wissen wir nur sehr wenig, weil die diesbezüglichen Beschreibungen des Plinius sehr unklar sind. Das Erz kam hauptsächlich aus Spanien und England. Das Löten mit Blei oder einer Mischung von Blei und Zinn war wohl bekannt. Weil auch Kochgeräte aus Blei gefertigt wurden, waren Bleivergiftungen im Altertum recht gewöhnlich. Zinn hat man schon ziemlich früh rein dargestellt, und dieses Metall gewann im Altertum ausgedehnte Verwendung. Während der Römerzeit wurde das Zinn *Plumbum candidum* bezeichnet, zur Unterscheidung von *Plumbum nigrum*, dem Blei.

Über Quecksilber (*ὕδραργυρος*, Wassersilber) findet man die ersten Angaben bei Theophrast, welcher über seine Darstellung aus Zinnober mit Hilfe von Kupfer und Essig berichtet. Theophrast nannte das Quecksilber „flüssiges Silber“.

Dioskorides beschreibt die Darstellung des Quecksilbers aus Zinnober und Eisen, jedoch ohne irgendeinen Versuch

¹⁾ Xenophon, altgriechischer Feldherr und Schriftsteller, geboren in Athen etwa 445 v. Chr. G. Das bekannteste seiner Werke ist die *Anabasis* oder die Schilderung des Rückzuges der Zehntausend nach der Schlacht bei Kunaxa.

zur Erklärung des Vorgangs zu machen. Plinius erwähnt die Reinigung des Quecksilbers vermittels Pressen durch Leder, die Giftigkeit dieses Metalls war ihm ebenfalls bekannt.

Von chemischen Verbindungen, die den Alten bekannt waren, mögen erwähnt werden: Realgar, Auripigment, Soda, Pottasche, Salpeter, Zinnober, Bleiweiß, Mennige, Alaun, Smalte, Eisenoxyd, Kupferoxyd, Grünspan u. a. Die erste bekannte Säure war die Essigsäure in der Form des rohen Weinessigs. Von organischen Stoffen kannte man früh die Stärke, wogegen der Rohrzucker den Alten anscheinend unbekannt war. Fette, feste und flüssige, und flüchtige Öle waren in großer Anzahl bekannt. Wollfett wird von Plinius erwähnt, welcher auch an verschiedenen Stellen Angaben über das Vorkommen und die Wirkungen der Pflanzgifte macht.

*

Von **technischen Verwendungen** der chemischen Kenntnisse begegnen wir bei den Alten der Glasbereitung, Töpferei, Seifebereitung und Färberei.

Glasbereitung. Die Kunst, Geräte aus Glas zu verfertigen, nimmt ihren Ursprung von China und Ägypten. Im letztgenannten Lande war besonders Theben der Mittelpunkt der Glasbereitung. Dort lernten die Phönizier die Bereitungsweise kennen und durch sie die übrigen Völker des Orients. In Griechenland war die Kunst, Gegenstände aus Glas zu machen, wie erweislich schon im fünften Jahrhundert v. Chr. G. bekannt. Plinius ist der erste, der bestimmte Angaben über die Darstellung des Glases durch Zusammenschmelzen von Sand mit Soda macht.

Schon früh wußte man das Glas mit Hilfe von Metalloxyden, besonders von Kupferoxyd, zu färben. Nach den altägyptischen Funden zu schließen, muß die Glasbereitung bei den Ägyptern einen hohen Standpunkt erreicht haben, da

sie genaue Kenntnisse über die Darstellung von Emailen und künstlichen Edelsteinen besaßen.

Töpferei ist sicherlich schon von ebenso hohem Alter wie die Glasbereitung und die Bearbeitung der Metalle. Schon die alten Ägypter wußten ihre einfachen Eisengefäße mit Email zu überziehen. Während einer späteren Periode blühte die keramische Industrie vor allem in Etrurien, wurde aber auch mit Erfolg in einigen Städten in Süditalien und Kleinasien betrieben.

Seifenbereitung. Es ist eine sehr interessante Tatsache, daß die Verseifung von Fetten mit Hilfe von Alkalien, die ja ein ziemlich komplizierter Prozeß der organischen Chemie ist, im Altertum bekannt war. Die Angaben des Plinius machen es wahrscheinlich, daß man in Germanien und Gallien Seife durch Behandeln von animalischem Fett mit Aschenlauge, die man durch Kalkzusatz verstärkte (kaustisierte), bereitet hat. Man unterschied sogar zwischen weicher und harter Seife, je nachdem Pottasche oder Soda¹⁾ zur Bereitung benutzt war.

Auch **Färberei** gehört zu den Künsten, die wesentlich von Ägyptern, Lydiern, Phöniziern und Israeliten gepflegt und entwickelt wurden. Diesen Völkern war die Kunst geläufig, gewisse Farbstoffe mit Hilfe von Beizen auf Stoffen zu fixieren. Unter den Beizmitteln hat der Alaun²⁾ eine besonders wichtige Rolle gespielt. Die Purpurfärbung hatte bei den Phöniziern eine hohe Stufe der Vollendung erreicht. Plinius erwähnt die Anwendung des in der Krappwurzel enthaltenen Farbstoffes und diejenige von Orseille. Das Indigoblau scheint auch früh zur Anwendung gelangt zu sein, sowohl beim Malen wie beim Färben. Zum Malen wurden indessen gewöhnlich Mineralfarben benutzt. Die Schwefelverbindungen des

¹⁾ Letztere aus Meerespflanzen von den Küsten Galliens erhalten.

²⁾ Unter *στυπτηρίς* oder alumen verstanden die Alten allgemein adstringierende Substanzen.

Arsens, Realgar und Auripigment, wurden als Farben auch als Arzneien benutzt.

Die Anwendung künstlich dargestellter Produkte als Heilmittel geht weit zurück, wenn man auch während dieses Zeitalters von einer **pharmaceutischen Chemie** kaum sprechen kann. So dienten beispielsweise Grünspan, Bleiweiß, Bleiglätte, Alaun, Soda und Salpeter zur Bereitung von Salben und anderen Heilmitteln. Die Darstellung von Bleipflaster aus Bleiglätte und Olivenöl war zur Zeit des Dioskorides allgemein im Gebrauch. Eisenrost war ebenfalls eine oft gebrauchte Arznei. Schwefel und eisenhaltiger Kupfervitriol (*chalanthum*) gehörten im Anfang unserer Zeitrechnung zu den am höchsten geschätzten Heilmitteln. Die wichtigen Antimon- und Quecksilberpräparate gelangten erst während der alchimistischen Epoche zur Anwendung.

Hervorragende Persönlichkeiten während des Altertums.

Anaximenes, griechischer Philosoph der ionischen Schule, war in Milet geboren und lebte wahrscheinlich während der Zeit 558—524 v. Chr. G. Er lehrte, daß die Luft, die er für unendlich hielt, der Urstoff des Alls sei. Die Entstehung der Welt ist nach ihm teils durch Verdünnung der Luft, wobei sich das Feuer bildete, teils durch Verdichtung derselben, wobei sich Wind, Wolken, Regen, Wasser, Erde und Gestein bildeten, zustande gekommen. Die Welt-Bildung geschieht in regelmäßigen Perioden von Welt-Getaltung und Welt-Zerstörung. Die Erde stellte er sich als eine von der Luft getragene flache Scheibe vor.

Aristoteles, der vielseitigste Forscher des klassischen Altertums, wurde in Stagira, einer kleinen griechischen Koloniestadt an der Küste Traciens, mutmaßlich im Jahre 384 v. Chr. G. geboren. Sein Vater Nikomachos war Leibarzt des Königs Amyntas in Mazedonien. Aristoteles kam früh zur Akademie in Athen um Plato zu hören und blieb dort bis zu dessen Tode im Jahre 347. Im Jahre 343 berief ihn Philipp von Mazedonien zum Lehrer seines dreizehnjährigen Sohnes Alexander. Später kehrte Aristoteles nach Athen zurück und ging nach dem

Tode Alexanders des Großen in die Verbannung nach Chalcis auf Euboea, wo er im Jahre 322 gestorben ist. Die naturwissenschaftlichen Arbeiten des Aristoteles sind hauptsächlich in seiner *Physik* enthalten.

Demokrit, griechischer Philosoph, wurde in Abdera etwa 460 v. Chr. G. geboren. Von seinen zahlreichen Schriften, die sehr verschiedene Fragen berühren, sind nur Fragmente erhalten. Nach Demokrit sind die Prinzipien des Alls teils die *Atome*, d. h. unendlich viele, unteilbare und undurchdringliche Körper, verschieden in bezug auf Größe, Masse und Form, qualitativ aber gleich, teils der *leere Raum*. Durch ihr eigenes Gewicht haben die Atome ursprünglich eine fallende Bewegung in vertikaler Richtung. Wegen der verschiedenen Gewichte der Atome und der daraus folgenden verschiedenen Fallgeschwindigkeit, werden die leichteren Atome jedoch aus ihren Bahnen geworfen, es entsteht eine Wirbelbewegung, wodurch Atom-Konglomerate sich bilden. In dieser Weise sind vor allem die Himmelskörper, deren Zahl unendlich ist, aber auch andere Körper entstanden. Wegen ihrer schnellen Bewegung behalten die Himmelskörper ihren glühenden Zustand. In der Mitte des Weltalls befindet sich die Erde. Demokrit sagt, daß alle wirkliche Verschiedenheit der Dinge sich auf ihre verschiedene Masse und Dichte beziehe. Ihre übrigen Eigenschaften finden ihre Erklärung in der Einwirkung der genannten Verschiedenheiten auf unsere Sinnesorgane. Lebend ist, was in sich eine größere Anzahl runder, glatter und dadurch beweglicher Atome enthält. Durch den Druck der Luft bei der Atmung wird dieser Seelenstoff im Körper zurückgehalten, welcher sich übrigens überall befindet, denn alle Dinge sind etwas lebendig. Von den Dingen erhalten wir dadurch Kenntnis, daß sich Atome von demselben losmachen und in unsere Seele durch Poren eindringen.

Dioskorides (Pedakios Dioskorides Anazarbaios), griechischer Naturforscher und Arzt, war aus Anazarbos in Cilicien gebürtig und lebte im ersten Jahrhundert nach Chr. G. In seinem hervorragendsten Werke, in lateinischer Übersetzung „*De materia medica*“ genannt, beschreibt Dioskorides beinahe sechshundert Pflanzen mit Angabe ihrer medizinischen Anwendung. Außerdem hat er eine Arbeit über die giftigen Heilmittel, ein Werk in drei Büchern über giftige Tiere und eins über leicht zu beschaffende einfache und zusammengesetzte Arzneien verfaßt. Bei Dioskorides kann man Versuche zu einer chemischen Bereitung von metallischen Heilmitteln auffinden,

aber diese werden dann lokal, gegen Hautkrankheiten, nicht innerlich angewendet.

Empedokles, griechischer Philosoph, geboren 490 v. Chr. G. in Agrigentum in Sizilien, starb auf dem Peloponnesus, wahrscheinlich verbannt, um 430. Nach seiner Ansicht sind die Weltprinzipien zwei, ein körperlicher Urstoff und eine Kraft, die jenen in Bewegung versetzt. Der Urstoff besteht aus den vier Elementen Feuer, Wasser, Luft und Erde, die von zwei entgegengesetzten Kräften beeinflusst und bestimmt sind, einer einigenden (der Liebe) und einer entzweierenden (dem Haß, dem Streit). Ursprünglich war alles eine Einheit unter der ungestörten Herrschaft der Liebe. Später machte die entzweierende Kraft ihren Einfluß geltend und im Streit zwischen diesen beiden Kräften sind die Welt und die einzelnen Dinge entstanden. Die Weltentwicklung strebt dahin, alles unter der Herrschaft der einigenden Kraft wiederzuvereinigen.

Heraklit, griechischer Philosoph aus Ephesus, lebte ums Jahr 500 v. Chr. G. Das Feuer ist nach Heraklit der Urstoff aller Dinge, belebt und durchdringt alles. Die ganze Schöpfung ist in einem Zustand steter Wandlung begriffen, so daß das Leben des einen den Tod des anderen bedeutet. Die Ordnung der Dinge ist ebensowenig das Werk eines Gottes wie eines Menschen, sondern des ewig lebenden Feuers, das nach einem ebenso ewigen Gesetz sich entzündet, erlischt und sich wieder entzündet. Die Seele der Menschen wie die der Götter ist ein Ausfluß des Feuers. „Während unseres Lebens sind unsere Seelen in uns tot und werden nur durch unsern Tod zum Leben erweckt.“ Die Darstellungsweise Heraklits ist sehr dunkel und schwerverständlich, weshalb er auch mit Recht „der Dunkle“ genannt worden ist.

Thales, einer der „sieben Weisen“ Griechenlands, wurde in Milet geboren und hat dort um 600 v. Chr. G. gelebt. Er soll eine Sonnenfinsternis vorhergesagt haben, die nach späteren Berechnungen der Astronomen im Jahr 585 v. Chr. G. eingetroffen ist. Nach Thales ist das Wasser der Urstoff aller Dinge. Auf dem Wasser, das den unteren Teil der Himmelskugel füllt, schwimmt die Erde. In welcher Weise Thales diesen Grundgedanken näher entwickelt hat, ist nicht bekannt, wie auch seine ganze Persönlichkeit von sagenhaftem Dunkel umgeben ist.

II.

Die alchimistische Periode.

(Vom vierten bis zum Anfang des sechszehnten Jahrhunderts).

Geschichte. — Theoretische Spekulationen. — Einfluß der Alchimie auf die chemische Forschung. — Das chemische Erfahrungsgebiet. — Technische Anwendung der chemischen Erfahrung. — Hervorragende Persönlichkeiten.

Die Quellen, aus welchen der Glaube an eine Metallumwandlung seine Nahrung zuerst geschöpft hat, sind in Dunkel gehüllt, es liegt aber nahe, das Land, wo mit solchem Eifer chemische Forschung betrieben wurde, d. i. Ägypten, als Mutterland der alchimistischen Spekulationen zu betrachten. Aus Ägypten haben wir auch die ältesten sicheren Angaben über Alchimie. Während der ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung war die Akademie zu Alexandria die treue Pflegerin der alchimistischen Ideen. Schriften alexandrinischer Gelehrten stellen auch das wichtigste Hilfsmittel dar, über das wir beim Studium des geschichtlichen Ursprungs der Alchimie verfügen.

Die erste Persönlichkeit, an die das Studium der Alchimie geknüpft wurde, ist *Hermes Trismegistos* (der dreifach Größte). Er soll alchimistische Bücher verfaßt haben und wurde als Erfinder aller Künste und Wissenschaften bezeichnet. Die Alchimie ist daher oft die hermetische Kunst geheißen worden. Der Ausdruck „hermetisch geschlossen“ wird auch auf Hermes Trismegistos zurückgeführt.

Ob wirklich eine diesen Namen tragende Person existiert hat, dürfte ziemlich zweifelhaft sein; das Wahrscheinliche ist wohl, daß man in diesem Hermes die Personifikation eines altägyptischen Gottes, des *Thot*, der als Symbol

der Klugheit einen von einer Schlange umwundenen Stab trug, vor sich hat. Aus diesem Grunde setzten die Griechen Thot ihrem eigenen Gott *Hermes* gleich, dessen Name so auf die ägyptische Gottheit überging.

Wann und in welcher Weise andere Völker einen Einfluß auf die Alchimie in Ägypten ausgeübt haben, ist schwer zu bestimmen. Als ganz sicher dürfte jedoch feststehen, daß die Sterndeuter Babylons der Alchimie ein astrologisches und magisches Gepräge gegeben haben. Insbesondere wird wohl der viele Jahrhunderte lang lebendige Glauben an Beziehungen zwischen Planeten und Metallen altbabylonischen Ursprungs sein. Das Gold wurde mit dem Symbol der Sonne ☉, Silber mit demjenigen des Mondes ☾, Quecksilber als Mercurius ☿, Kupfer als Venus ♀, Zinn als Jupiter ♃, Eisen als Mars ♂ und Blei als Saturnus ♄ bezeichnet.

Während der ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung galt, wie aus den Schriften von Dioskorides, von Plinius und anderen hervorgeht, die Umwandlung von Kupfer und anderen Metallen in Silber und Gold für eine unstreitige Tatsache. Unsere Kenntnis von der Alchimie während dieser Epoche ist indessen ziemlich lückenhaft.

Von dem vierten Jahrhundert v. Chr. G. ab werden die Nachrichten über die alchimistischen Bestrebungen weniger dürftig, denn die Schriften mehrerer alexandrinischer Gelehrten, wie *Zosimos*¹⁾, *Synesius*²⁾ und *Olympiodor*³⁾ enthalten recht viele Mitteilungen hierüber. Die Zeit vom Ende des vierten bis zum Anfang des fünften Jahrhunderts ist die eigentliche Blütezeit des alchimistischen Studiums in Alexandria.

¹⁾ *Zosimos*, griechischer Geschichtsschreiber im fünften Jahrhundert n. Chr. G. Seine Arbeiten sind gekennzeichnet durch die klare und lichtvolle Darstellung und durch die Unparteilichkeit, mit der sie geschrieben sind.

²⁾ *Synesius*, griechischer Schriftsteller, der im fünften Jahrhundert n. Chr. gelebt hat.

³⁾ *Olympiodor*, Geschichtsschreiber aus Theben in Aegypten, lebte im fünften Jahrhundert n. Chr. Er hielt sich meistens in Byzanz auf.

Wie viele für die chemisch-geschichtliche Forschung wertvolle Werke bei dem Zusammensturz der hellenischen Kultur in Ägypten, der durch die Zerstörung von Serapeum besiegelt wurde, verloren gegangen sind, ist unmöglich auch nur annähernd festzustellen. Daß indessen die Kenntnis von chemischen Operationen oder das chemische Wissen überhaupt bei dieser Katastrophe nicht ganz und gar verloren ging, verdankt man wohl den früheren Beziehungen zwischen den Alexandrinern und den byzantinischen Gelehrten. Sogar in Ägypten selbst war die Überlieferung der chemischen Kenntnisse nicht vollständig vernichtet. Besonders die Überzeugung von der Möglichkeit, die Metallverwandlung durchzuführen, war so fest eingewurzelt, daß dieser bequeme Weg zum Erwerben von Reichtümern nie ganz vergessen wurde.

Die in Ägypten bei einigen Philosophen verborgene Kenntnis chemischer Operationen gelangte zu einer neuen Blütezeit während des siebenten Jahrhunderts durch die Araber, welche zu dieser Zeit als Eroberer das Land überschwemmt. Man hätte sicherlich eher vermuten sollen, daß ein Volk von Eroberern wie die Araber die übergebliebenen Reste wissenschaftlichen Lebens ersticken würde, statt für das Blühen der Wissenschaften zu wirken. Ihr erstes Auftreten in Ägypten, wobei sie durch Feuer eine Menge Buchschätze vernichteten, ließ auch eine so verwandelte Gesinnung kaum voraussehen. Die Araber verstanden es aber in kurzem, sich die Bildung der eroberten Völker anzueignen und man sieht, wie bald genug nach der Eroberung von Spanien Lehranstalten dort entstanden, wohin im Laufe der folgenden Jahrhunderte Scharen von Wißbegierigen aus Frankreich, Italien und Deutschland strömten, um *Astronomie*, *Chemie*, *Mathematik* und *Medizin* zu studieren. Vorzugsweise waren es die arabischen Universitäten in Cordova, Sevilla und Toledo, an denen alchemistische Studien mit großem Eifer betrieben wurden und von wo das Abendland die Spekulationen über-

nahm, die später während des dreizehnten Jahrhunderts eben dort ihren Höhepunkt erreichen sollten.

Unter den hervorragenden arabischen Alchimisten verdienen *Geber*¹⁾, *Rhazes*²⁾, *Avicenna*³⁾ und *Averrhoes*⁴⁾ Erwähnung.

Das erste mit Sicherheit nachweisbare Auftreten der alchimistischen Ideen in Deutschland ist am Hof Adalberts von Bremen um 1063 zu konstatieren. Ein polnischer Jude Paulus, der in Griechenland die Kunst, Kupfer in Gold zu verwandeln, gelernt haben wollte, übte dort seine Wirksamkeit aus. Dieser vereinzeltten Nachricht folgten bestimmte Mitteilungen erst von der Mitte des dreizehnten Jahrhunderts an. Von dieser Zeit an trat für die Alchimie eine Periode großer Blüte ein und ihre Ausüher waren Männer von hohem wissenschaftlichen Ruf.

Die Umwandlung von unedlen Metallen in edle mit Hilfe des „Steins der Weisen“ war der Mittelpunkt, um den herum sich alles chemische Wissen bewegte. Für Männer, wie *Albertus Magnus*, *Roger Baco*, *Arnaldus Villanovanus* und *Raymundus Lullus*¹⁾, die sämtlich während dieser Blütezeit der Alchimie wirksam waren, galt die Möglichkeit, Metalle zu transmutieren als eine unstreitige Tatsache.

¹⁾ Seite 9 ff.

²⁾ Rhazes, eigentl. Abu-Bebr-Muhammed-Ben-Zakarjja-el-Rhazi, in Raj (in der persischen Provinz Korasan) im Jahre 850 geboren. Er starb entweder 923 oder 932. Seine umfassenden Kenntnisse und große Gewandtheit erwarben ihm den Namen des Galenus seiner Zeit.

³⁾ Avicenna, eigentl. Abu-Hali-Ebu-Abdellah-Abnusina, wurde im Jahre 978 in Bochara geboren. Er war als Arzt an vielen Orten im Morgenland tätig und starb im Jahre 1036 in Persien. Er war Verfasser von medizinischen Arbeiten, die fünf Jahrhunderte hindurch in großem Ansehen standen und die in lateinischer Übersetzung unter der Benennung *Canon medicinae* bekannt sind.

⁴⁾ Averrhoes, eigentl. Ibu Reschid, arabischer Philosoph und Arzt, wurde in Cordova im Jahre 1126 geboren. Er hat auf die europäische Kultur durch seinen Kommentar zu den Arbeiten des Aristoteles einen gewaltigen Einfluß ausgeübt.

An vielen europäischen Fürstenhöfen fand die Alchimie damals Huld und Schutz. Wie ließen sich auch wohl schlechte Finanzen eines Landes einfacher verbessern als mit Hilfe der Metalltransmutation, ganz in derselben Weise wie man es schon früher zur Zeit der römischen Kaiser zu erreichen gehofft hatte. Natürlich kamen bei dieser Goldmacherei zahlreiche Betrügereien vor, und viele Berichte über solche, die entdeckt wurden, sind aus jener Zeit erhalten. Infolgedessen wurden strenge Strafen für diejenigen festgesetzt, die sich mit Alchimie beschäftigten. Trotz den strengen Strafbestimmungen, die Heinrich IV. in England gegen die Ausüher der Alchimie erlassen hatte, wurde diese Kunst von einem seiner Nachfolger Heinrich VI. eifrig gepflegt. Dies hatte die unangenehme Folge, daß in England die Verfertigung von falschen Goldmünzen in großem Maßstabe betrieben wurde. Dieses unechte Gold überschwemmte nachher die Nachbarländer, die bisweilen nicht zauderten, dem Beispiel zu folgen. Es leuchtet ein, daß solche Falschmünzerei in großem Maßstabe nicht geeignet war, das schon sinkende Ansehen der Alchimie zu heben.

Die Versuche, die Metalle in einander zu verwandeln, waren auf einige oberflächliche Beobachtungen begründet, welche die Möglichkeit der Metallumwandlung anscheinend stützten. Zu diesen Beobachtungen gehörte die, daß aus dem Wasser, das sich in den Kupferminen sammelte, Kupfer auf die benutzten Eisengeräte ausfiel, und hieraus schloß man, daß eine Transmutation von Eisen in Kupfer stattgefunden hatte. Der Umstand, daß man aus den Gold- und Silberamalgamen oder aus den Legierungen dieser beiden Metalle mit Blei nach dem Wegdestillieren des Quecksilbers oder dem Abtreiben des Bleis, die beiden Edelmetalle als Rückstand erhalten konnte, galt während der alchemistischen Periode als vollgültiger Beweis, daß eine Umwandlung wirklich stattgefunden hatte.

Diese angeführten Versuche rein praktischer Art be-

weisen nur, daß die daraus gezogenen Schlüsse grobe Selbsttäuschungen waren. In vielen Fällen wurden aber auch ähnliche Versuche zu betrügerischen Zwecken von Leuten angestellt, die selbst ihre Haltlosigkeit eingesehen hatten.

Bei den berühmten Alchimisten des dreizehnten Jahrhunderts findet man bestimmte Angaben über die Zusammensetzung der Metalle. So gibt z. B. *Albertus Magnus* an, daß die Metalle aus *Arsen*, *Schwefel* und *Wasser* bestehen. *Arnaldus Villanovanus* und *Raymundus Lullus* dagegen sind der Meinung, daß dieselben aus *Quecksilber* und *Schwefel* bestehen. Dieser spricht sogar die Auffassung aus, daß die letztgenannten beiden Stoffe die Bestandteile aller Körper sind.

In nächsten Zusammenhang mit diesen von keiner Tatsache gestützten Theorien der Metalltransmutation brachten die Alchimisten des Abendlandes das Problem „den Stein des Weisen“, *mercurius philosophorum*, zu finden. Diese Aufgabe wurde in jeder erdenklichen Weise bearbeitet, und jeder, der sich im Besitz dieses wunderbaren Mittels zur Erzielung der Metallverwandlung glaubte, schrieb demselben die wunderbarsten Eigenschaften zu. Um in den Besitz des Steins des Weisen zu gelangen, war eine *materia prima* notwendig, und eine solche von zweckmäßiger Beschaffenheit zu erhalten, galt als der schwierigste Teil der ganzen Aufgabe. Die merkwürdigsten Stoffe, Naturprodukte verschiedenster Art wurden als Rohmaterial benutzt und auf eine Menge verschiedener Methoden zur Darstellung des Steines der Weisen bearbeitet. Wer vorgab, denselben erhalten zu haben, hütete sich wohl, das Geheimnis seiner *materia prima* zu verraten. Mit völlig rätselhaften Ausdrücken schilderten die Alchimisten ihre Erfolge, die sie mit Hilfe des Steins des Weisen gewannen. Mit Hilfe einer symbolischen Sprache, wo der Drache, der grüne und der rote Löwe, die Lilie, der weiße Schwan usf. gebräuchliche Ausdrücke waren, gelang es ihnen auch, die Scharen der Adepten in der gewünschten Spannung zu halten.

Welch wunderbare Kraft dem Stein des Weisen zugeschrieben wurde, geht am deutlichsten aus folgender Stelle aus dem *Raymundus Lullus* zugeschriebenen *testamentum novissimum* hervor.

„Von dieser köstlichen Arznei nimm ein Stück von der Größe einer Bohne. Wirf sie auf tausend Unzen Quecksilber, so wird dasselbe in ein rotes Pulver verwandelt. Nimm von diesem eine Unze zu neuen tausend Unzen Quecksilber, die dann auch in ein rotes Pulver sich verwandeln. Hiervon nimm noch eine Unze, die zu tausend Unzen neues Quecksilber gesetzt wird, die dann in Arznei verwandelt werden. Wenn man von dieser letzten Arznei eine Unze zu tausend Unzen neues Quecksilber setzt, so wird alles in Gold verwandelt, das besser ist als dasjenige, welches man von den Bergwerken erhält.“

Während der alchimistischen Periode kann man indessen eine Tendenz zur theoretischen Zusammenfassung chemischer Erscheinungen unter bestimmten Gesichtspunkten wahrnehmen. Schon in den Methoden, die man bei den Versuchen, die Zusammensetzung der Metalle zu erforschen, anwandte, lag ein starker Antrieb, an die Möglichkeit der Metallveredelung zu glauben und daneben ein Sporn immer aufs neue zu versuchen. Die ersten Versuche in experimenteller Richtung, die wir schon im ersten Zeitabschnitt der alchimistischen Periode antreffen, sind zwar ziemlich unvollkommen, zeigen aber doch eine Entwicklung von dem früher allein herrschenden, deduktiven Verfahren, dessen Ergebnis gewöhnlich nichts als mystische Kosmogonie war.

Daß die Ansätze zu einer Erforschung der Naturerscheinungen auf induktivem Wege während der alchimistischen Periode so schwach blieben, erklärt sich aus der Macht, die die Ideen des Aristoteles über die Geister hatten. Während des ganzen Mittelalters hielten diese Ideen das Denken in starken Banden gefangen.

Die alchimistische Periode rechnet man gewöhnlich von dem Zeitpunkt an, wo alchimistische Ideen mit Sicher-

heit auftreten, d. h. vom vierten Jahrhundert n. Chr. G., bis zur Zeit als *Paracelsus*¹⁾ im sechzehnten Jahrhundert den kühnen Versuch machte, die Chemie ausschließlich zu einer medizinischen Hilfswissenschaft zu machen. Während dieser Epoche klingt ein und derselbe Grundton stets hervor, sobald Fragen berührt werden, die zum chemischen Gebiet zu zählen sind, nämlich die Kunst, andere Metalle in Silber oder Gold umzuwandeln. Von der Möglichkeit, eine solche Transmutation auszuführen, war man, wie gesagt, während dieser langen Zeit so lebhaft überzeugt, daß fast alle, die sich mit Chemie beschäftigen, ihre Kräfte diesem Reich der Habsucht und der fehlgeschlagenen Hoffnungen widmeten.

Die schon früh auftretende Einmischung von Astrologie und Kabbalistik in die Alchimie zeigt deutlich genug die Abwege, auf welche die chemische Forschung geraten war.

Mit dem Auftreten der Iatrochemie²⁾ büßte die Alchimie ihr Dasein oder ihre Macht über die Gemüter keineswegs ein, aber da die chemische Forschung nun wissenschaftliche Bahnen betrat, wurden die alchimistischen Spekulationen immer mehr in den Hintergrund gedrängt. Die Begierde, das verführerische Problem, die Kunst Gold zu machen, zu lösen, übte zwar noch lange Zeit einen gewissen Einfluß aus, sogar auf die Bahnbrecher auf dem chemischen Forschungsgebiete, die Haupttrichtung der Chemie aber, wie sie von *Boyle*³⁾ vorgezeichnet wurde, haben die alchimistischen Phantastereien nicht mehr wesentlich beeinflußt.

Der Nutzen, den die Chemie als Wissenschaft während der alchimistischen Periode aus den vergeblichen Versuchen, die Metalle zu transmutieren gezogen hat, ist nicht besonders hoch anzuschlagen, weil diese Versuche nur ausnahms-

¹⁾ Seite 54.

²⁾ Die Versuche, die chemische Forschung ausschließlich in den Dienst der Heilkunst zu stellen.

³⁾ Seite 79.

weise eine Anregung zu irgendeiner für die chemische Wissenschaft wichtigen Entdeckung gaben. Dagegen kann man der Ansicht sein, daß der Schaden, den die Alchimie während ihrer Alleinherrschaft bewirkt hat, sehr bedeutend war. Sie zog nämlich eine Menge tüchtiger Arbeitskräfte an sich, beschlagnahmte das Interesse einer Menge Gelehrter, die sonst zweifellos mit ihrer Forschung viel zur Entwicklung des chemischen Erkenntnisgebietes hätten beitragen können.

Gegen den Autoritätsglauben, der während des Mittelalters auf allen Gebieten herrschte, machte sich schon im fünfzehnten Jahrhundert eine mächtige Opposition geltend, und es zeigte sich deutlich das Bestreben, die Ketten abzuschütteln, welche die freie Forschung fesselten. Der wissenschaftlichen Arbeit, die bis dahin so gut wie ausschließlich in den Klöstern betrieben wurde, wurde zu dieser Zeit an den Universitäten, die in England, Frankreich und Deutschland in großer Zahl begründet wurden, eine Zufluchtsstätte bereitet. Auch die Erfindung der Buchdruckerei wurde ein mächtiger Hebel wissenschaftlicher Entwicklung, denn durch dieselbe wurden neue Gedankenrichtungen, die zu den Jahrhunderte hindurch vererbten Vorurteilen im schroffsten Gegensatz standen, in weite Kreise verbreitet. Ein jeder konnte nach der Entdeckung des Buchdrucks durch größere Sammelwerke oder durch Fachschriften, die jetzt in großer Anzahl im Drucke zugänglich wurden, sich Kenntnisse von dem Umfang der einzelnen Wissenschaftszweige verschaffen. Das Vermögen, selbst zu entscheiden und zu urteilen, wuchs hierdurch, und es wurde dies eines der kräftigsten Mittel das scholastische Joch abzuschütteln. Eine immer zunehmende Anwendung des induktiven Verfahrens, was auch eine der Grundbedingungen der Entwicklung der experimentellen Wissenschaften war, war ein weiteres wertvolles Hilfsmittel, das scholastische Lehrgebäude zu stürzen.

Außer dem günstigen Boden der Entwicklung, den ein freieres, geistiges Leben bildet, erhielt zu dieser Zeit beson-

ders die chemische Forschung neue kräftige Anregungen durch die Entdeckung eines neuen Erdteils, und durch den neugefundenen Seeweg nach Ostindien, wodurch der Naturforschung neue Gebiete geöffnet wurden. Alle diese Erscheinungen waren die Vorboten einer neuen Aera, die auch bald in dem großen Reformationswerk zum Ausdruck kam.

Die Chemie zeigte deutlich das Bestreben, sich von der Alchimie loszusagen. Wenn auch die alchemistischen Spekulationen nicht ganz zu beseitigen waren, so drangen doch andere Probleme in den Vordergrund, denen ein gewisser wissenschaftlicher Charakter nicht abgesprochen werden kann. Das chemische Erfahrungsgebiet war aber noch zu eng, als daß man das Recht gehabt hätte, eine endgültige Lösung dieser neuen Fragen zu erwarten.

Eine irgend größere Erweiterung der Kenntnis von den Metallen ist in der alchemistischen Periode nicht zu vermerken. Zwar wurden im späteren Abschnitt dieser Periode einige der vorher bekannten Metalle genauer untersucht und einige neue, wie Antimon, Arsen, Wismut und Zink entdeckt; im ganzen war aber die Erweiterung unbedeutend. Von dem elften Jahrhunderte an machte im Abendlande der Grubenbetrieb große Fortschritte, ohne daß, soviel man weiß, irgendwelche durchgreifendere Veränderungen in bezug auf die Darstellung der Metalle sich geltend machten.

Eine gewisse Geneigtheit, Beobachtungen unter gemeinsame Gesichtspunkte zusammenzufassen, ist in der alchemistischen Periode recht früh zu bemerken, insbesondere bei den Salzen, von denen eine ziemlich große Anzahl bekannt war. *Geber* war der Ansicht, daß man in der Löslichkeit der Salze in Wasser ein gemeinsames Kennzeichen für sie besäße. Mit dem Gattungsnamen Salz wurde in Übereinstimmung damit eine große Menge von Stoffen wie Pottasche, Soda, Salpeter, Alaun und die Vitriole bezeichnet. Doch auch andere Stoffe, ganz anderen Klassen von Verbindungen angehörend, wie die Alkalien und Säuren wurden während der alchimi-

stischen Periode zu den Salzen gerechnet, wodurch dieser Begriff verwaschen wurde. Der Gattungsname *Spiritus* wurde für flüchtige Verbindungen benutzt. So nannte man beispielsweise die Salzsäure *Spiritus salis* und das flüchtige Laugenwasser (Kohlensaures Ammon) *Spiritus urinae*.

Kali und Natron wurden während der alchimistischen Periode nur selten unterschieden, während aus verschiedenem Rohmaterial dargestellte Präparate kohlen-sauren Kalis als verschiedene Produkte galten. So wurde das aus Pflanzenasche dargestellte Salz *Sal vegetabile*, das durch Verkohlung von Weinstein gewonnene Produkt dagegen, *Sal tartari* genannt. Außer dem kohlen-sauren Kali und Natron kannte man die daraus mit Hilfe von Kalk bereitete *Laug*e, deren stark ätzende Eigenschaften den Chemikern dieser Epoche wohl bekannt waren.

Mineralsäuren lernte man erst im dreizehnten und vierzehnten Jahrhundert kennen. Die Entdeckung der Bereitung von Salpetersäure durch Destillation eines Gemisches von Salpeter, Kupfervitriol und Alaun ist *Geber* zugeschrieben worden, welcher im neunten oder zehnten Jahrhundert lebte; spätere Forschungen aber haben bewiesen, daß die Schrift *De inventione veritatis*, in der obige Bereitungsweise angegeben ist, nicht vor dem vierzehnten Jahrhundert verfaßt sein kann. Schon im dreizehnten Jahrhundert kannten indessen die Alchimisten die Bereitung von Salpetersäure durch Destillation von Salpeter mit Schwefelsäure, sie wurde *Aqua dissolutiva*, Scheidewasser oder *Aqua fortis* genannt. Die Schwefelsäure, *Oleum vitrioli*, wurde zu dieser Zeit durch Destillation von Eisenvitriol mit kleinen Kieselsteinen gemengt, dargestellt, oder durch Anzünden von Schwefel, der mit Salpeter gemischt war. Die Salzsäure lernte man ziemlich spät darstellen durch Erhitzen eines Gemisches von Steinsalz und Eisenvitriol. Das durch Vermischen von Salzsäure und Scheidewasser erhaltene Pro-

dukt das Königswasser war während der alchimistischen Periode auch wohl bekannt und stand bei den Chemikern dieser Zeit in hohem Ansehen. Der Name bezieht sich auf die Fähigkeit des Königswassers, das Gold, den König der Metalle, zu lösen. Die Beobachtung, daß es kaum einen Stoff gibt, der der Einwirkung des Königswassers Stand hielte, gab der Überzeugung Nahrung, daß man in demselben eine Flüssigkeit gefunden hätte, die dem von den Alchimisten solange eifrig gesuchten Universallösungsmittel sehr nahe stand. Aus demselben Grunde wurden auch das Vitriolöl und das Scheidewasser sehr hoch geschätzt.

Ein Teil der Salze, die schon zur Zeit des Plinius bekannt waren, wurden von den Alchimisten in bezug auf ihre Eigenschaften näher geprüft. Von diesen Salzen mögen erwähnt werden der Alaun und die Vitriole. Wichtige Salze, die erst während der alchimistischen Periode näher bekannt wurden und alsdann zur Anwendung für chemische Zwecke gelangten, waren Salpeter, Salmiak und kohlen-saures Ammon. Die ältesten Namen des Salpeters waren *Sal petrae* oder *Sal petrosum*. *Raymundus Lullus* nannte den Salpeter *Sal nitri*, unterschied aber zwischen diesem und *nitrum*, dem *Alkali fixum*¹⁾ der älteren Schriftsteller. Erst im sechzehnten Jahrhundert wurde das Wort *nitrum* in *natron* verwandelt, während die Benennung *nitrum* für Kalisalpeter beibehalten wurde.

Mit der Benennung des Salmiaks, *Sal ammoniacum*, verhält es sich wie mit *nitrum*, d. h. die beiden Namen hatten ursprünglich eine ganz verschiedene Bedeutung. Das *Sal ammoniacum* der Alten war gewiß nichts anderes als gewöhnliches Steinsalz. Salmiak ist anscheinend zuerst als Naturprodukt vulkanischen Ursprungs bekannt geworden. Das als flüchtiges Laugensalz, *Spiritus volatile* oder *urinac* bezeichnete kohlen-saure Ammoniak wurde nach

¹⁾ Als *Alkali fixum* wurden kohlen-saures Kali und Natron bezeichnet.

*Basilius Valentinus*¹⁾ durch Erhitzen von Salmiak mit fixem Alkali bereitet.

Überhaupt wurde die Kenntnis der Metalloxyde und Metallsalze während der alchimistischen Periode wesentlich erweitert. Verbindungen wie Goldchlorid, Salpetersaures Silberoxyd, Quecksilberoxyd, Sublimat (Quecksilberchlorid) und andere Quecksilbersalze zogen das Interesse der Alchimisten in hohem Grade auf sich. Zinkverbindungen wie Zinkoxyd und Zinkvitriol wurden von arabischen Ärzten schon im zehnten Jahrhundert benutzt; das beim Glühen zinkhaltiger Erzen an der Luft gebildete, unreine Zinkoxyd wurde *lana philosophica* genannt und scheint Dioskorides schon bekannt gewesen sein.

Wismutverbindungen waren gegen den Schluß des fünfzehnten und den Anfang des sechzehnten Jahrhunderts wohl bekannt, doch fehlen nähere Angaben über ihre Darstellung und Eigenschaften.

Die Kenntnis der Antimonverbindungen war am Schlusse der alchimistischen Periode ziemlich umfassend, hauptsächlich dank *Basilius Valentinus*. In seinen Schriften *Currus triumphalis antimonii* und *Repetitio de magno lapide antiquorum sapientium* hat er dieses Metall und seine Verbindungen ausführlich beschrieben. Er zeigt, wie man durch Schmelzen des schon im Altertum bekannten, nativen Schwefelantimons²⁾, *antimonium* oder *stibium*, mit Eisen das Antimonmetall herstellen kann. *Basilius Valentinus* wußte, daß Schwefelantimon Schwefel enthält, und daß es demselben an metallischen Eigenschaften völlig mangelte, und er betrachtete das Antimon als eine Abart des Bleis. Er liefert bestimmte Vorschriften zur Bereitung von einer Menge Antimonpräparate, wie Antimonchlorid (An-

¹⁾ Seite 19 ff.

²⁾ Von *Basilius Valentinus* wurde das natürlich vorkommende Schwefelantimon *Vitrum Stibü* genannt, woraus das deutsche Wort *Spiessglas* entstand, das später in *Spiessglanz* überging.

timonbutter), basisches Antimonchlorid (Algarotpulver) und Antimonoxyd. Er war sowohl mit dem amorphen Schwefelantimon wie mit dem sogenannten Goldschwefel vertraut. Die Begriffe von der Zusammensetzung dieser Verbindungen sind anscheinend jedoch nur in bezug auf Schwefelantimon einigermaßen klar gewesen.

Das dem Antimon nahestehende Arsen, dessen Schwefelverbindungen schon im Altertum bekannt waren, wurde zuerst von den Alchimisten des dreizehnten Jahrhunderts dargestellt und wurde von ihnen als ein dem Antimon verwandter „Metallbastard“ betrachtet. Die arsenige Säure findet sich zum ersten Male bei *Abu Mansur*¹⁾ als ein Röstungsprodukt von Realgar erwähnt. Derselbe bezeichnete die arsenige Säure als weißes Arsen zum Unterschied von dem roten und gelben (Realgar bzw. Auripigment).

Der Schwefel und die Schwefelverbindungen waren während der alchemistischen Periode der Gegenstand großen Interesses. Den Schwefel sah man als einen ständigen Bestandteil der Metalle wie auch anderer Körper an. *Abu Mansur* hebt die Anwendbarkeit des Schwefels als Gegengift bei Metallvergiftungen hervor, und führt diese Wirkung des Schwefels auf seine Eigenschaft sich mit großer Leichtigkeit mit anderen Stoffen zu vereinigen, zurück. *Geber* erwähnt die Eigenschaft des Schwefels, sich in Alkalilauge zu lösen und daß diese Lösung von Säuren unter Bildung von Schwefelmilch gefällt wird. Das Verschwinden des Schwefels beim Behandeln mit Königswasser wurde als eine reine Lösungserscheinung betrachtet.

Die in der Natur vorkommenden Schwefelverbindungen bildeten ein wichtiges Material zur Darstellung sowohl von Schwefel wie von anderen Stoffen. Früh schon pflegte man die natürlich vorkommenden Schwefelverbindungen unter

¹⁾ *Abu Mansur* war ein nordpersischer Arzt, der im zehnten Jahrhundert lebte.

die Benennung *marcasitae* zusammenzufassen. Der Grund, daß man solche Stoffe, wie z. B. Zinkblende, Kupfer- und Schwefelkies, Bleiglanz u. a., in eine Gruppe zusammenfaßte, wird wohl der gewesen sein, daß sämtliche beim Rösten denselben charakteristischen Geruch entwickelten.

Ebenso wie man bis zum Schluß des Mittelalters glaubte, daß alle Metalle Schwefel enthalten, so meinte man auch, daß dieser Stoff in allen organischen Stoffen enthalten sei. Nur eine geringe Zahl neuer organischer Verbindungen wurden während der alchimistischen Periode bekannt. Einen hervorragenden Platz nimmt der schon von den Alexandrinern dargestellte Alkohol ein. Wegen seiner großen Bedeutung in der Medizin sowohl wie für alchimistische Zwecke nannte man den Alkohol *aqua vitae*. Dem Namen Alkohol begegnet man zum ersten Male bei *Libavius*, d. h. gegen Ende des sechzehnten Jahrhunderts. Die Darstellung einer stärkeren *aqua vitae* durch erneute Destillation einer schwächeren oder durch Behandlung mit geschmolzener Pottasche wird schon von *Raymundus Lullus* beschrieben. Daß der Alkohol bei dem Gärungsprozeß selbst gebildet wird, fiel selbst den ersten Chemikern dieser Epoche nicht ein, sondern alle nahmen sie an, daß er in dem Rohmaterial befindlich wäre.

Auch der Essigsäure schenkte man wie dem Alkohol während der alchimistischen Periode vermehrte Aufmerksamkeit. Die späteren Alchimisten kannten die Methode, Essigsäure durch Destillation zu konzentrieren. Auch ein Teil der essigsauren Salze, wie Bleizucker u. a., waren bekannt. Andere organische Säuren, die in Pflanzensäften vorkommen, wurden oft mit Essigsäure verwechselt.

Was nun die technische Verwendung des chemischen Erfahrungsgebietes betrifft, so sei in Kürze über die Fortschritte der Metallurgie, der Glasbereitung und der Keramik sowie über die Entstehung der pharmazeutischen Chemie berichtet.

Metallurgie. Im ganzen waren die Fortschritte während der alchimistischen Periode nur unbedeutend. Es wurden zwar einige neue Metalle, wie Antimon, Wismut und Zink gegen Ende der Periode bekannt; aber die metallurgischen Prozesse, die zur Darstellung dieser Metalle führten, hatten keine größere Tragweite.

Gold stellte man schon früh durch den Treibprozeß dar, der den Zweck hatte, das Gold von anderen Metallen und Verunreinigungen zu befreien. Schon *Geber* wußte, daß dieser Vorgang durch einen Zusatz von Salpeter beschleunigt wird und daß eingemischtes Zinn oder Kupfer, nicht aber Silber in dieser Weise entfernt werden kann.

Silber schied man noch in derselben Weise aus seinen Erzen ab wie zu Plinius' Zeit, nämlich durch Schmelzen der Erze mit Blei und darauffolgendes Abtreiben des Bleies. Sichere Angaben über das Verfahren von Gold und Silber mit Hilfe von Salpetersäure zu trennen, findet man zum ersten Male bei *Agricola* (sechszehntes Jahrhundert), die Methode dürfte aber schon zur Zeit des Albertus Magnus bekannt gewesen sein.

Eisen wußte man früh schon in wesentlich verschiedenen Härtegraden darzustellen. *Abu Mansur* gibt an, daß das weichste Eisen das reinste sei.

Kupfer begann man schon im fünfzehnten Jahrhundert auf nassem Wege, durch Ausfällen des Metalls auf Eisen aus Kupfervitriollösungen, darzustellen.

Quecksilber wurde besonders im letzten Zeitabschnitt der Periode für technische Zwecke in großem Maßstabe in Öfen bedeutend verbesserter Konstruktion dargestellt. Die technische Verwendung des Quecksilbers bestand hauptsächlich darin, daß man es zur Extraktion von Gold und Silber aus ihren Erzen benutzte.

Glasbereitung und Töpferei. Auch in diesen beiden Industriezweigen sind die Fortschritte während der alchimistischen Periode nicht von besonderer Bedeutung. Die Methode, Farben auf der Oberfläche des Glases einzubren-

nen, statt, wie früher gebräuchlich war, die ganze Glasmasse durchzufärben, kam allgemein in Gebrauch; ebenso das Verfahren, die Eisengeräte mit einer blei- oder zinnhaltigen Glasur zu überziehen.

Die **pharmaceutische Chemie** zog von der chemischen Wirksamkeit, die während der alchemistischen Periode waltete, erheblichen Nutzen. Während dieser Epoche begegnet man schon einzelnen Versuchen, chemische Präparate für Heilzwecke darzustellen, wenn es auch erst der nächsten Periode der Entwicklungsgeschichte der chemischen Forschung, der *iatrochemischen Periode*, vorbehalten war, durch nahe Wechselwirkung zwischen Chemie und Medizin eine Blütezeit der Pharmazie herbeizuführen.

Die Araber bereiteten ihre Heilmittel hauptsächlich nach Vorschriften von *Galenus*¹⁾, *Andromachus*²⁾ u. a. Schon früh entstanden unter ihnen Apotheken, wo die Arzneien so gut wie ausschließlich aus vegetabilischen Substanzen dargestellt wurden.

Von den Arabern kamen die Apotheken nach Spanien, Süditalien (im elften Jahrhundert), etwas später nach Deutschland. Bis zum Ende des fünfzehnten Jahrhunderts waren die Vorschriften des Galenus für die Apotheken fast allein bestimmend.

Von Metallpräparaten, die als Arzneien schon früh in Gebrauch kamen, mögen erwähnt werden: Zinkoxyd, Zinkvitriol, Quecksilber, mit Knochenasche extinguiert, und Sublimat.

¹⁾ *Galenus* war einer der einflußreichsten Ärzte und hervorragendste medizinischen Schriftsteller des Altertums. Er wurde in Pergamon im Jahre 131 n. Chr. G. geboren und soll in Rom im Alter von mehr als 70 Jahren gestorben sein. Kein medizinischer Schriftsteller hat wohl einen so großen Einfluß wie er auf die Nachwelt ausgeübt. Das von Galenus aufgestellte System hat die medizinische Wissenschaft während der langen Zeit von fünfzehnhundert Jahren beherrscht.

²⁾ *Andromachus* aus Kreta. Leibarzt des Kaisers Nero. Unter anderem wegen seiner Erfindung der Jahrhunderte hindurch viel benutzten Heilmittel *Theriaca* bekannt.

Hervorragende Persönlichkeiten der alchimistischen Periode.

Albertus Magnus, eigentlich Albert von Bollstädt, wurde im Jahre 1193 in Laningen in Schwaben geboren. Er ist als Philosoph, Theolog, Chemiker und Schriftsteller gleich berühmt. Nach theologischen Studien in Hildesheim, Regensburg, Köln und Paris wurde er im Jahre 1260 Bischof in Regensburg, zog sich aber schon im Jahre 1265 von dieser Stellung nach dem Dominikanerkloster in Köln zurück, wo er im Jahre 1280 starb. Bereits unter seinen Zeitgenossen, noch mehr aber während des späteren Teils der Periode stand Albertus Magnus wegen seiner Gelehrsamkeit und der Vielseitigkeit seines Könnens in hohem Ansehen. Seine nachgelassenen Schriften, die im Jahre 1651 herausgegeben wurden, füllen 21 Foliobände. Unter seinen Schriften sind *De Alchymia* und *De rebus metallicis et mineralibus* für die Beurteilung seiner Stellung den alchimistischen Spekulationen gegenüber wichtig.

Arnaldus Villanovanus, dessen Herkunft und Geburtsjahr nicht sicher bekannt sind, war während der späteren Hälfte des dreizehnten Jahrhunderts als Arzt in Barcelona tätig. Weil er hier durch seine philosophischen Ansichten die Geistlichen verletzte, mußte er fliehen und fand schließlich bei Kaiser Friedrich II. in Sizilien eine Zuflucht. Zu dem schwer erkrankten Papst, Clemens V. in Avignon, gerufen, kam er auf dem Wege durch Schiffbruch etwa im Jahre 1313 ums Leben. Unter seinen Schriften sind zu erwähnen *Rosarius philosophorum*, *De vinis* und *De venenis*.

Basilus Valentinus. Sobald man begann, nach den persönlichen Verhältnissen dieses Alchimisten zu forschen, stieß man auf so große Ungewißheit, daß man die Existenz eines Mannes namens Basilus Valentinus überhaupt bezweifeln wollte. Nachforschungen, die im Auftrag von Kaiser Maximilian I. vorgenommen wurden, ergaben, daß Basilus Valentinus ein Benediktinermönch aus dem nördlichen Deutschland gewesen sein sollte. Die Schriften, die außer den beiden früher erwähnten, ihm zugeschrieben werden, und im sechzehnten und im Anfang des siebzehnten Jahrhunderts herausgegeben wurden, sind: *De magno lapide antiquorum sapientium*, *Apocalypsis chemica*, *Testamentum ultimum* und *Conclusiones*.

Geber. Diesen Namen trug im Abendlande der während des ganzen Mittelalters hochangesehene arabische Arzt und Alchimist *Dschafar*. Von seinem Lebenslauf, den man in das

neunte oder zehnte Jahrhundert verlegt hat, ist nichts bekannt geworden.

Daß mit dem Namen Geber die Erinnerung an eine Persönlichkeit fortgelebt hat, die das chemische Wissen seiner Zeit in sich vereinigte, dürfte keinem Zweifel unterliegen. Aber ebenso sicher dürfte es sein, daß die Geber zugeschriebenen, in lateinischer Sprache herausgegebenen Schriften nicht von dem Geber herrühren, der mit dem arabischen Arzt und Alchimist Dschafar identisch ist, weil diese Schriften nicht früher als in der Mitte des vierzehnten Jahrhunderts verfaßt sein können. Derartige Schriften sind: *Summa perfectionis magisteri*, *De investigatione veritatis* und *De investigatione perfectionis metallorum*.

Raymundus Lullus soll nach der Ansicht der Mehrzahl der Forscher auf diesem Gebiete im Jahre 1235 geboren sein und einer vornehmen spanischen Familie angehört haben. Anfänglich führte er an dem aragonischen Hofe ein wildes Leben, von seinem dreißigsten Jahre an sagte er aber der weltlichen Lust Lebewohl und widmete seine Kräfte der wissenschaftlichen Arbeit. In hohem Alter beschloß Lullus für die Bekehrung der Ungläubigen zu wirken und unternahm zu diesem Zwecke Reisen nach Afrika, wurde dort aber schlecht aufgenommen und zuletzt gesteinigt. Nach seinem Tode wurde er mit sagenhaften Ruhme umgeben und stand bei allen Alchimisten in dem Rufe, das Höchste geleistet zu haben, dessen die alchimistische Kunst mächtig war. Seine alchimistischen Lehren waren im allgemeinen sehr dunkel abgefaßt, und reichlich mit Mystik vermischt. Sein Glauben an „den Stein des Weisen“ war unerschütterlich und so kräftig, daß er mit voller Zuversicht ausrufen konnte: „Das Meer wollte ich in Gold verwandeln, wenn es aus Quecksilber bestände.“ Schriften, die ihm mit großer Wahrscheinlichkeit zugeschrieben werden können, sind *Testamentum*, *Codicillus seu Vademecum* und *Experimenta*.

Roger Baco wurde im Jahre 1214 in der Grafschaft Sommerset geboren und studierte neben Theologie die Naturwissenschaft an den Universitäten in Oxford und Paris. Die Hochachtung, die sein erstaunlich vielseitiges Wissen ihm verschaffte, kam in dem Titel zum Ausdruck, den er von der Nachwelt erhielt, nämlich *Doctor mirabilis*. Weil Baco kein Bedenken trug gegen den Autoritätsglauben seiner Zeit kräftig aufzutreten, mußte er schwere Verfolgung ausstehen und strenge Strafe erleiden. Sein Tod dürfte 1294 eingetreten sein.

Zu der Klarheit der Auffassung, die Roger Baco eigen war, bildet sein unerschütterlicher Glauben an die wunderbaren Wirkungen des „Steins des Weisen“ den seltsamsten Gegensatz. Er sprach offen die Überzeugung aus, daß man damit das millionenfache Gewicht in Gold umwandeln könne, und daß der Stein des Weisen ein Mittel sei, das Leben zu verlängern. Dieser Aberglauben paßt schlecht zu seiner Lehre, daß man, um Kenntnis von der Natur zu gewinnen, Versuche anstellen muß. Roger Baco muß als der erste bezeichnet werden, der zielbewußt die Bedeutung der experimentellen Forschung für die Chemie gelehrt hat, eine Auffassung, die seit seiner Zeit der chemischen Forschung mehr und mehr ihr Gepräge gegeben hat und die Entwicklung unserer Wissenschaft aufs kräftigste gefördert hat. Die bedeutendsten der Arbeiten des Roger Baco sind: *Opus major*, *Speculum alchemiae* und *Breve breviarium de dono Dei*.

III.

Die iatrochemische Periode.

(Vom Anfang des sechzehnten bis zur Mitte des siebzehnten Jahrhunderts).

Einleitung. — Paracelsus und seine Schule. — Van Helmont und seine Zeitgenossen. — Sylvius und seine Schüler. — Technische Verwendung der chemischen Erfahrung. — Hervorragende Persönlichkeiten der Periode.

Während der Epoche, die dem alchimistischen Zeitalter folgte, kam die Chemie in die nächste Beziehung zur Heilkunst. Diese beiden Wissenschaften sollten, meinte man, einander helfen und stützen. Dem Chemiker setzte man zur Aufgabe, neue Heilmittel zu entdecken, neue Verfahren zu ihrer Gewinnung zu erfinden und die Substanzen zu identifizieren. Die Ausüher der Heilkunst sollten ihrerseits die heilbringenden Wirkungen dieser neuen Mittel prüfen und Erklärungen ihrer Heilkraft geben. Für das beste hielt man es, wenn die beiden Funktionen des Arztes und Chemikers in einer Person vereinigt werden konnten. Die Wechselwirkung zwischen Chemie und Medizin ist der rote Faden, der durch die ganze iatrochemische Epoche geht und ihr Gepräge ausmacht.

Wollte man die Frage aufwerfen, welchen Nutzen diese Wechselwirkung den beiden Wissenszweigen gebracht hat, so lautet die Antwort, daß der Nutzen beiderseitig war, wenn auch die Chemie von der gemeinsamen Arbeit den größten Gewinn schöpfte. Die Chemie war in dem späteren Zeitabschnitt der alchimistischen Periode Leuten in die Hände geraten, denen es oft an höherer Bildung mangelte; jetzt stieg sie auf ein höheres Niveau dadurch, daß Männer der gelehrten Stände allgemein sich ihr widmeten. Die iatrochemische Periode wurde so eine wichtige Zeit der Vor-

bereitung, sie schuf einen Teil der Rüstung, in welcher die jüngere Wissenschaft, die Chemie, neben ihrer älteren Schwester, der Physik, auftreten konnte. Diese Periode war eine Lehrzeit, während welcher die Chemie langsam und mühevoll sich zur Erkenntnis der Haltlosigkeit der alchimistischen Lehre durchkämpfte und dadurch zur Beschäftigung mit Fragen getrieben wurde, deren Lösung ihr erst den Rang einer Wissenschaft verleihen konnte.

Vertreter der iatrochemischen Periode sind *Paracelsus*, *van Helmont* und *Sylvius*¹⁾.

Der Mann, welcher während der ersten Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts Chemie und Medizin in engen Zusammenhang brachte und dadurch diese beiden Wissenszweige auf neue Bahnen lenkte, war Paracelsus. Ihm gebührt die Ehre, durch Aufstellung eines wissenschaftlichen Zieles alchimistische Fesseln gelockert zu haben, die der Entwicklung der Chemie hinderlich waren. „Das wahre Ziel der Chemie“, sagte Paracelsus, „ist nicht Gold zu machen, sondern Heilmittel zu bereiten.“ Schon vor dem Auftreten des Paracelsus war die Verwendung von chemischen Hilfsmitteln der Heilkunst nicht fremd. So hatte während der alchimistischen Periode *Basilus Valentinus* für die Benutzung von Metallverbindungen, insbesondere von Antimonverbindungen, eifrig gearbeitet; Paracelsus unterschied sich aber von seinen Vorgängern auf diesem Gebiete durch die theoretischen Beweggründe, die ihn anregten, chemische Präparate als Heilmittel anzuwenden. Er glaubte nämlich, der menschliche Körper wäre aus einer Menge chemischer Substanzen zusammengesetzt. Unterliegen diese irgendeiner Veränderung, so entstehen Krankheiten, welche nur durch Anwendung von chemischen Hilfsmitteln beseitigt werden können. Diese Auffassung bildet den Kernpunkt der Lehre des Paracelsus, die mit den Ansichten unvereinbar war, welche die alte gale-

¹⁾ Seite 50 ff.

Ekecrantz, Chemie.

nische Schule vertrat, in der für die Anwendung chemisch bereiteter Arzneien kein Platz war.

Gegen diese Lehren, die bei den Ärzten jener Zeit fest eingewurzelt waren, trat nun Paracelsus in die Schranken mit einer Kühnheit und Rücksichtslosigkeit, die ihresgleichen sucht. Muß man auch die Übertreibungen, deren sich Paracelsus schuldig machte, durchaus mißbilligen, so steht doch fest, daß er durch sein energisches Auftreten dem Verfall der Medizin kräftig entgegengearbeitet hat, und daß er gleichzeitig einer rationelleren Auffassung gewisser Verhältnisse im menschlichen Organismus den Weg gebahnt hat. Die äußeren Lebensumstände des Paracelsus waren indessen wenig geeignet, sein Ansehen bei seinen Gegnern zu stärken, d. h. bei der Mehrzahl der ausübenden Ärzte dieser Zeit.

Die Urteile über Paracelsus und seine Lehre sind äußerst verschieden ausgefallen. Von vielen seinen Schülern ist er sicherlich beträchtlich überschätzt worden, während seine Gegner auf medizinischem wie auf chemischem Gebiete mit Geringschätzung von ihm sprechen. Das wirklich Gute, wozu Paracelsus die Anregung gegeben hat, wurde weniger anerkannt, als es verdiente, weil es stark mit Scharlatanerei und Roheit vermischt war. Die Selbstüberschätzung, die seinem ganzen Auftreten das Gepräge aufdrückte, machte ihn in den Augen aller ernstesten Menschen lächerlich.

Die iatrochemische Lehre von Paracelsus, die er selbst als eine Schlußfolgerung zahlreicher Erfahrungen betrachtete, stützte sich auf die Auffassung, daß die innerhalb des menschlichen Körpers vorgehenden Prozesse chemischer Natur sind, und daß der Gesundheitszustand des Menschen auf der Zusammensetzung der einzelnen Organe beruht, sowie auf der Beschaffenheit der menschlichen Säfte. In bezug auf die Beschaffenheit des organischen Körpers schloß sich Paracelsus der von Basilius Valentinus vertretenen Auffassung an, wonach der Organismus aus Quecksilber, Schwefel und Salz besteht. Trotz vieler Wider-

sprüche in den Einzelheiten seiner theoretischen Darstellung, bilden diese Hypothesen den Grund seines ganzen Systems. Als Kuriosum mag erwähnt werden, daß die Heilkunst nach der etwas konfusen Darlegung des Paracelsus auf vier Säulen ruhen soll, wovon die erste die *Chemie* ist, die andren drei *Philosophie*, *Astronomie* und *Tugend* heißen.

Wenn von den Bestandteilen, die den Organismus bilden, Quecksilber, Schwefel und Salz, einer vorwaltet oder unter das normale Maß sinkt, so entstehen Krankheiten. In höchst phantastischer Weise findet man derartige Ansichten in den Schriften des seltsamen Mannes niedergelegt.

„Wenn der Schwefel vorwaltet,“ sagt Paracelsus, „so werden im menschlichen Körper Fieber und Pest bewirkt, waltet das Quecksilber vor, entstehen Lähmung und Schwindel, und wird das Salz über die gewöhnliche Menge hinaus vermehrt, so entstehen Durchfall und Wassersucht. Durch Abscheiden von Quecksilber entsteht Gicht, und wenn Quecksilber von einem Organ zu einem anderen hinüberdestilliert, entstehen Wutanfälle“ usf. So willkürlich ähnliche Hypothesen auch erscheinen, kann man doch darin den Gedankengang spüren, der der Spekulation zugrunde liegt. Weit schwieriger ist es dagegen, den von Paracelsus vertretenen Zusammenhang zwischen den einzelnen Organen und Sekreten des menschlichen Körpers mit Metallen, bezw. Planeten, zu fassen, welch letzteren er einen mystischen Einfluß auf den Menschenkörper zuschreibt. Nicht weniger schwerverständlich ist die von Paracelsus angenommene Beziehung zwischen Pest und Sternschnuppen.

Als Grundursache aller einzelnen Krankheiten bezeichnet Paracelsus *tartarus*, worunter er Ausfällungen aus Säften versteht. Letztere sollen unter normalen Verhältnissen keine festen Bestandteile enthalten. Ablagerungen von Konkrementen, die er bei einer Menge Krankheiten, wie bei Gicht, bei Nerven- und Gallenkrankheiten in den angegriffenen Organen gefunden hatte, haben ihm offenbar die Anregung zu dieser Auffassung gegeben. Die Vergleichung dieser Absonderungen mit bekannten Sedimenten, besonders mit dem aus jungen Weinen abgeschiedenen Weinstein, hat dann die Anregung zu der allgemeinen Benennung *tartarus* gegeben.

Während Paracelsus in dieser zwar phantastischen, aber doch zum Teil einigermaßen rationellen Weise die

pathologischen Prozesse, die im Menschenkörper verlaufen, auf chemische Ursachen zurückzuführen suchte, nahm er zugleich, seiner iatrochemischen Lehre zum Trotz, einen Eingriff besonderer Kräfte an, die er sich in seiner drastischen Anschauungsweise personifiziert vorstellte. Was die Verdauung betrifft, so wird sie nach Paracelsus von einer Kraft, *archaeus*, geregelt, die dem freien Willen des Menschen nicht unterworfen ist. Einem guten Genius ähnlich überwacht *Archaeus*, daß die eingenommenen Speisen verdaut werden, und daß zur Ernährung des Körpers untaugliche Bestandteile entfernt werden, wodurch er dafür sorgt, daß das Gleichgewicht des Ganzen erhalten wird. Die Krankheiten des Magens entstehen dadurch, daß das Wohlbefinden des *Archaeus* aus irgendeiner Ursache gestört wird. Eigentümlicherweise vergißt Paracelsus sein Grundprinzip, wo es gilt, einen so spezifisch chemischen Vorgang, wie den Verdauungsprozeß, zu erklären.

Durch seinen fundamentalen Satz: die Aufgabe der Chemie ist neue Heilmittel zu erfinden und darzustellen, blies indessen Paracelsus der dahinsiechenden Heilkunst neues Leben ein, und die Heilmittelkunde wurde durch ihn mit einer Menge neuer, wichtiger, auf chemischem Wege dargestellter Präparate bereichert. Von den als Gifte gefürchteten Metallverbindungen benutzte er als Heilmittel u. a. Kupfervitriol, Sublimat, Bleizucker und Antimonpräparate.

Die Folgen von Paracelsus' Auftreten ließen nicht lange auf sich warten. Seine Schüler, von der neuen Lehre begeistert, verherrlichten Paracelsus als den großen Reformator der Heilkunst. Die Anhänger der alten Lehre wiederum wehrten sich mit dem Mute der Verzweiflung gegen diese Neuerei und gegen die Angriffe, die Paracelsus gegen den veralteten galenischen Standpunkt richtete, Angriffe, die ihre Autorität zu erschüttern drohten. Ein heftiger Streit entflammte, der lange Zeit dauerte, bis er allmählich

mildere Formen annahm und schließlich zugunsten der von den Nachfolgern des Paracelsus modifizierten iatrochemischen Lehre endete.

Unter den Schülern des Paracelsus befanden sich Männer, die, weniger genial als der Meister selbst, seine Ansichten verdrehten und vorzugsweise die weniger vorteilhaften Eigentümlichkeiten des Paracelsus kultivierten. Gleichzeitig suchten sie das Scharlatanmäßige seines Auftretens nachzuahmen, ohne sich mit ihm in bezug auf wissenschaftlichen Scharfblick messen zu können.

Durch unbesonnene und übertriebene Anwendung giftiger Metallverbindungen als Heilmittel richteten sie viel Schaden an, so daß es erklärlich erscheint, daß die Obrigkeit dem Mißbrauch durch Gesetzgebung zu steuern suchte. In dieser Weise schritt das Pariser Parlament ein und verbot den Gebrauch von Antimonpräparaten als Arznei. Aus demselben Grunde sprach die medizinische Fakultät in Rom ein streng verwerfendes Urteil über alle derartige Neuerei auf dem Gebiete der Heilkunst aus.

Unter den Schülern von Paracelsus gab es indessen andere, die in wissenschaftlicher Hinsicht einen recht hohen Standpunkt einnahmen. Diese hielten sich von dem mystischen Gebahren des Meisters mehr fern und suchten das, was an der Lehre des Paracelsus wertvoll war, auszubilden. Von diesen Schülern verdienen erwähnt zu werden: *Turquet du Mayerne*¹⁾, *Libavius*¹⁾, *Oswald Croll*¹⁾ und *Adrian van Mynsicht*¹⁾. Diese Männer und noch einige andere bilden den Übergang zu demjenigen Abschnitt der iatrochemischen Periode, der in *van Helmont* seinen vorzüglichsten Vertreter hat. Die Wirksamkeit van Helmonts hat in der Entwicklungsgeschichte der chemischen Forschung tiefe Spuren hinterlassen.

Als einer der bedeutendsten Chemiker seiner Zeit ver-

¹⁾ Seite 50 ff.

dient *van Helmont*¹⁾ einen hervorragenden Platz in der iatrochemischen Periode, welcher er angehört. Durch seine großen Kenntnisse auf medizinischem wie auf chemischem Gebiete, überglänzte er in diesen beiden Wissenschaften alle seine Zeitgenossen. In seiner Persönlichkeit mischten sich indessen und lagen beieinander sonderbare Gegensätze. Mit seiner Fähigkeit, die Erscheinungen scharf und nüchtern zu fassen, kontrastierte eine ihm eigene starke Neigung zum Übernatürlichen; wahrscheinlich eine Folge des Studiums der Mystik und Magie, die er neben seinen theologischen Studien gepflegt hatte. So konnte derselbe Mann, der den Grund zu unserer Kenntnis von den Gasen gelegt und damit eine ungewöhnliche Schärfe der Auffassung dargetan hat, die Möglichkeit, unedle Metalle in Gold zu verwandeln, aufs eifrigste verfechten. Daß er sich auch anderer Irrtümer, wenn auch von weniger bedenklicher Art, schuldig machte, ist klar. Andererseits gibt aber *van Helmont* von vielen Erscheinungen eine so richtige Auffassung, daß ihn ein weiter Abstand von seinen Vorgängern trennt.

Von den Elementen, woraus die Stoffe bestehen, bildete sich *van Helmont* eine Auffassung, die von der Lehre des *Empedokles* von den vier Elementen Wasser, Luft, Erde und Feuer wesentlich verschieden war. Dem Feuer sprach *van Helmont* die materielle Beschaffenheit ab, das Wasser aber betrachtete er als den Hauptbestandteil aller Substanzen. Daß es sich in den organischen Stoffen vorfindet, schloß er daraus, daß bei der Verbrennung regelmäßig Wasser entsteht. Die Umwandlung von Wasser in Erde fand er dadurch bewiesen, daß Pflanzen durch reines Wasser, das er als ihre alleinige Nahrung auffaßte, zu reichstem Wachstum gebracht werden konnten. Während *van Helmont* sich hierbei desselben Irrtums schuldig machte wie manche andere, sowohl vor wie nach ihm, so hat er doch in vielen Fällen die Beständigkeit der Materie viel schärfer betont als alle seine Zeitgenossen. So war er z. B. der erste,

¹⁾ Seite 50 ff.

der die Ansicht verfocht, daß das aus einer Kupferlösung auf metallisches Eisen ausgefällte Kupfer nicht aus dem Eisen entstanden ist. Ferner lehrte van Helmont, daß derselbe Stoff in einer großen Anzahl Verbindungen Bestand haben kann, z. B. das Silber in allen seinen Salzen. Ein guter Beweis seiner Beobachtungsgabe ist die Entdeckung, daß die Kieselsäure aus ihrer Lösung in Alkalien vermittelt einer Säure ausgefällt werden kann. Von grundlegender Bedeutung gegenüber den früheren unklaren Vorstellungen über die Entstehung der chemischen Verbindungen ist die Lehre van Helmont, daß die ursprüngliche Substanz, mag sie auch chemischen Umwandlungen unterliegen, doch in dem entstandenen Produkt bestehen bleibt. Er ist der Vertreter ganz neuer Gesichtspunkte, und hierdurch hat er auch die chemische Forschung in neue Bahnen gelenkt. Auch die von ihm eifrig studierte und kräftig hervorgehobene nahe Beziehung zwischen Chemie und Heilkunst führte ihn zu Ansichten, denen eine gewisse Originalität nicht abgesprochen werden kann. Er untersuchte Säfte und Sekrete zu dem bestimmten Zwecke, darin die Lösung gewisser theoretischer Fragen zu finden. Der Reaktion, die diese Säfte und Sekrete zeigten, legte van Helmont die größte Bedeutung bei, weil er der Ansicht war, daß ihre verschiedene Art im Organismus zu fungieren, auf ihrer Eigenschaft, sauer oder neutral zu reagieren, beruhte. In betreff der Verdauung und damit zusammenhängender Prozesse, konnte er sich von der Auffassung nicht ganz losmachen, daß sie von *Archæus* beherrscht werden. Dagegen bewegt er sich bei seinen Erklärungen über die Lebensvorgänge sofort auf festerem Boden, wenn er die Frage von der chemischen Beschaffenheit der Säfte behandelt. Die Säuren des Magensaftes leiten nach van Helmont den Verdauungsprozeß ein. Ein zu großer Gehalt an Säure im Magensaft wird unangenehm empfunden und verursacht Krankheiten, deren Intensität mit dem Säuregehalt wächst. Gegen alle solche Krankheiten sollte man nach seiner An-

sicht alkalische Mittel verwenden, z. B. Laugensalz oder das Salz, das man aus Aschenlauge erhält. Die Krankheiten, die durch den Mangel an Säuren im Magensaft entstehen, müssen dagegen mit sauren Heilmitteln bekämpft werden. Solche sauren Heilmittel verschrieb van Helmont gegen Gicht, Steinbildung und ähnliche Krankheitserscheinungen, die nach seiner Meinung dadurch entstehen, daß die Säfte in unrichtiger Menge oder unrichtigem Verhältnisse vorhanden sind. In diesen Anschauungen zeigt van Helmont sich Paracelsus weit überlegen. Letzterer nahm an, daß der organische Körper aus zufällig zusammengetroffenen, nicht isolierfähigen Bestandteilen zusammengesetzt sei, während van Helmont die wirksamen Stoffe selbst zu finden suchte, und die Wechselwirkung, die zwischen den Säften und Sekreten des Körpers stattfindet, mit der Einwirkung vergleicht, die Lösungen außerhalb des Organismus aufeinander ausüben. Hiermit, kann man auch sagen, wurde der erste, wenn auch unsichere Grund der physiologischen Chemie gelegt.

Als durchaus origineller Forscher, der die chemische Forschung auf ganz neue Gebiete führt, erscheint van Helmont in seinen Untersuchungen über die *Gase*. Er ist der eigentliche Begründer der *pneumatischen Chemie* oder der *Chemie der Gase*. Wenn man bedenkt, daß vor den Entdeckungen van Helmonts auf diesem Gebiete, die verschiedensten Gase, wie Wasserstoff, Kohlenoxyd und Schwefeldioxyd von gewöhnlicher Luft nicht unterschieden wurden, und daß es ihm gelang, durch das Studium der Eigenschaften der luftförmigen Körper ihre Verschiedenheit darzulegen, so erscheinen die scharfsinnigen Entdeckungen van Helmonts auf dem gas-chemischen Gebiete in hellem Lichte. Er ist es, der zum erstenmal die Benennung *Gas* benutzt, und er betont scharf den Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen, indem er hervorhebt, daß die Dämpfe kondensierbar sind, was bei den Gasen nicht der Fall ist.

Der Einfluß van Helmonts auf seine Zeitgenossen und auf die Entwicklung der iatrochemischen Lehre muß außerordentlich hoch veranschlagt werden. Durch die Herausgabe von *Pharmacopolium ac dispensatorium modernum*, machte er eine Menge guter, zweckmäßiger Vorschriften zur Bereitung von Heilmitteln bekannt. Der wissenschaftliche Geist, den van Helmont einzuführen strebte, wirkte im Gegensatz zu der rohen Empirie der paracelsischen Schule in hohem Grade fördernd auf die gesunde Entwicklung der Medizin.

*

Wertvolle Beiträge zu einer rationelleren Erklärung der in dem menschlichen Organismus vorgehenden chemischen Prozesse stammen von Sylvius¹⁾, einem Manne, der in bezug auf medizinische Kenntnisse alle seine Zeitgenossen überragte. Er beschrieb den Unterschied von arteriellem und venösem Blut. Die Ursache der roten Farbe des letzteren schrieb er dem Einfluß zu, den die bei der Atmung aufgenommene Luft ausübte. Verbrennung und Atmung waren für ihn ganz analoge Erscheinungen. Sylvius richtete seine Bestrebungen hauptsächlich darauf, die im menschlichen Körper vorgehenden Prozesse, die normalen wie die pathologischen als chemische Reaktionsvorgänge verstehen zu können. Die mystischen Elemente, welche die Anschauung von Paracelsus in so hohem Grade trübten und auch bei van Helmont vorhanden waren, wurden von Sylvius verworfen. Der Verdauungsprozeß, der nach den Ansichten von Paracelsus und van Helmont mit Hilfe des Archaeus vor sich geht, wurde von Sylvius als ein rein chemischer Vorgang betrachtet, wobei zunächst der Speichel, dann der Magensaft und der Pankreassaft, endlich die Galle die wirksamen Agentien sind. Der sauren, alkalischen oder neutralen Reaktion der Flüssigkeiten des Körpers maß er die gleiche Bedeutung bei wie früher van Helmont, an dessen Auffassung sich Sylvius in dieser und nahestehenden Fra-

¹⁾ Seite 50 ff.

gen oft anschloß. Mit großer Vorliebe übertrug er bekannte chemische Vorgänge auf das physiologische und pathologische Gebiet und geriet dadurch oft auf Irrwege. Daß bei dem damaligen Standpunkt der Chemie derartige einseitige Spekulationen oft fehlschlagen mußten, liegt in der Natur der Sache. Daß die Chemie von der iatrochemischen Lehre Nutzen hatte, ist leicht erklärlich, wenn man bedenkt, daß es dem Arzt, der von dieser Lehre etwas verstehen wollte, zur Notwendigkeit wurde, sich eingehend mit dem Studium der Chemie zu beschäftigen.

Sylvius benutzte eine große Anzahl von Metallverbindungen als Heilmittel. Heftig wirkende Mittel, wie *Lapis infernalis*, Sublimat und Zinkvitriol verwandte er in großem Umfang.

Die Chemie ist durch Sylvius nicht mit neuen Beobachtungen von größerer Tragweite bereichert worden, aber einer seiner Schüler, *Tachenius*¹⁾, nimmt in dieser Hinsicht einen bedeutenderen Rang ein. Tachenius war der erste, der ein Salz scharf als eine Verbindung von Säure und Alkali definierte. Seine Angaben über die Zusammensetzung einiger Verbindungen zeigen einen wirklichen Scharfblick an, und man verdankt ihm auch einige Reaktionen zum Nachweis gewisser Stoffe. Wenn man also sagen kann, daß Tachenius mehr systematisch als seine Vorgänger den Grund zur qualitativen Analyse gelegt hat, so war ihm auch die bisher so gut wie unbeachtete quantitative Seite der chemischen Reaktionen nicht fremd. Beispielsweise hat er mit recht großer Genauigkeit die Gewichtsvermehrung bei dem Übergang von Blei in Mennige angegeben.

*

Sucht man die wichtigsten Ergebnisse festzustellen, mit denen die iatrochemische Lehre zur Entwicklung der Chemie beigetragen hat, so kann man sagen, daß die Chemie durch die Mitarbeit hervorragender Ärzte auf wissenschaft-

¹⁾ Seite 50 ff.

lichere Bahnen gelenkt wurde. Neben zahlreichen Irrtümern und phantastischen Vorstellungen, deren sich die Iatrochemiker schuldig machten, findet man bei ihnen eine Menge außerordentlich scharfer Beobachtungen, welche die Entwicklung während künftiger Zeitalter wesentlich beeinflusst haben. Durch eine genauere Feststellung der Bestandteile der Salze und eine schärfere Fixierung des Begriffes einer chemischen Verbindung traten solche Fragen, welche die Erforschung der wirklichen Zusammensetzung der Körper betrafen, den Vordergrund. Durch die Entdeckung der Analogie, die zwischen dem Atmungsprozeß und dem Verbrennungsvorgang stattfindet, kam man zur Erkenntnis chemischer Reaktionen von grundlegender Bedeutung. Die Umriss der Auffassung, die später in der phlogistischen Hypothese zum Ausdruck kamen, kann man schon bei mehreren Vertretern der Iatrochemie spüren. Endlich wurde durch van Helmonts Arbeiten mit Gasen die pneumatische Chemie begründet, von der die Anregung zu der großen Umwälzung der chemischen Anschauungsweise am Ende des achtzehnten Jahrhunderts ausgehen sollte.

Mit Fug kann man sagen, daß eine Menge der Bestrebungen, die ihr Gepräge der folgenden Epoche der chemischen Forschung aufdrückten, in naher Beziehung zu den Beobachtungen und Ansichten der Iatrochemiker stehen. Während die medizinisch-chemischen Lehren derselben gegen Mitte des siebzehnten Jahrhunderts in Verfall gerieten, verwerteten die Phlogistiker ihre chemische Erfahrung und entwickelten dieselbe zu einem höheren wissenschaftlichen Standpunkte.

Die Erweiterung des chemischen Erfahrungsgebietes während der iatrochemischen Periode erstreckt sich hauptsächlich auf die **pharmazeutische Chemie**. Diese kann als eine Schöpfung des iatrochemischen Zeitalters betrachtet werden, denn die Erforschung von Methoden zur Darstel-

lung neuer Heilmittel wurde zu dieser Zeit der Chemie als einzige Aufgabe gestellt.

Die Darstellung von Mineralsäuren weist während der iatrochemischen Periode recht große Fortschritte auf. *Glauber*¹⁾ veröffentlichte, daß man Salzsäure aus Steinsalz ganz einfach durch Erwärmen mit Schwefelsäure erhalten kann, und entdeckte die Darstellung *rauchender Salpetersäure* aus Kalisalpeter durch Erhitzen mit arseniger Säure. *Libavius* bemühte sich mit Erfolg, das Verfahren der Bereitung von Schwefelsäure zu vereinfachen. Er zeigte zugleich, daß das Produkt, welches beim Glühen von Schwefel mit Salpeter erhalten wurde, dieselbe Säure war, die man früher durch Erhitzen von Alaun mit Eisenvitriol dargestellt hatte.

Durch die Einwirkung dieser Säuren auf verschiedene Metalle erhielt man eine Menge Salze, die früher entweder unbekannt oder mittelst ganz anderer Methoden erhalten worden waren. Der letzteren Kategorie gehörten die *Metallchloride*, die man jetzt durch Behandeln der verschiedenen Metalle mit Salzsäure oder Königswasser darstellte, statt wie früher gewisse Metallverbindungen mit Sublimat zu erhitzen. Auf Grund letzterer Bereitungsmethode hatte man geglaubt, daß alle Metallchloride Quecksilber enthielten, bis dieser Irrtum von *Glauber* berichtigt wurde, der sie als Verbindungen von Metall und Salzsäure auffaßte. *Kalisalpeter* begann man bei der Anfertigung von Pulver in größerem Maßstabe darzustellen. *Schwefelsaures Natron* wurde von *Glauber* als Rückstand bei der Salzsäureherstellung aus Steinsalz und Schwefelsäure erhalten und wurde von ihm unter dem Namen *Sal mirabile* beschrieben. Dieses Salz, später *Sal Glauberi* genannt, stand als Heilmittel in hohem Ansehen. Auch *Ammoniumsalze* fanden während dieser Epoche umfangreiche Anwendung als Heilmittel.

¹⁾ Seite 50 ff.

Von Salzen der Erdmetalle kannte man nur wenige, und große Unsicherheit herrschte in bezug auf ihre Zusammensetzung. Von derartigen Salzen stellte man einen Alaun (Ammoniumalaun) durch Zusatz von Alaunlauge zum faulenden Harn dar. Gips wurde schon von *Agricola* als eine Verbindung der Kalkerde bezeichnet.

Was die Arsenverbindungen und das aus ihnen dargestellte Metall betrifft, so herrschte große Unsicherheit in der Auffassung ihrer Natur. Arsenmetall (*arsenicum fixum*) ist anscheinend von Paracelsus als Arznei verwendet worden. Antimonverbindungen fanden zu ähnlichen Zwecken umfangreiche Verwendung, was dagegen bei den Wismutverbindungen nicht der Fall gewesen zu sein scheint, ungeachtet der unverkennbaren Ähnlichkeit dieses Metalles mit Antimon. — Wismutoxyd verwendete man als gelbe Malerfarbe, und das basischesalpetersaure Salz wurde als Schminke benutzt und hoch geschätzt. — Von Zinkverbindungen kannte man während des sechzehnten Jahrhunderts genauer Zinkoxyd, Zinkvitriol (*chalcantum candidum*) und Chlorzink, letztgenanntes von Glauber durch starke Erhitzung von Galmei mit Salzsäure erhalten. — Aus Zinn stellte Libavius durch Erhitzen mit Sublimat das Zinnchlorid dar, das er, unter der Annahme, daß es Quecksilber enthalte, *Spiritus argenti vivi sublimati* nannte. Die in einer späteren Zeit durch Auflösung von Zinn in Königswasser erhaltene Zinnchloridlösung wurde als Beize beim Färben verwendet. — Eisenchlorid und Bleichlorid wurden zuerst von Glauber dargestellt. Letzteres wurde oft statt Bleiweiß als Malerfarbe benutzt.

Organische Verbindungen wurden infolge des eifrigen Studiums des Stoffwechsels der Tier- und Pflanzenwelt während der iatrochemischen Periode in recht großer Anzahl aufgefunden. Die Kenntnis der hierher gehörenden Verbindungen war doch recht oberflächlich und

unvollständig wegen der unklaren Vorstellungen, die man sich von ihrer Zusammensetzung machte. Die Essigsäure lernte man in dieser Periode besser kennen, und mehrere Salze derselben fanden eine ziemlich ausgedehnte Verwendung. Eine konzentriertere Essigsäure wurde von den Iatrochemikern durch Destillation von Grünspan dargestellt und *Spiritus cupri* genannt. Schon Glauber beobachtete, daß man bei trockener Destillation von Holz eine Flüssigkeit erhielt, die der Essigsäure zum Täuschen ähnlich war. Von anderen organischen Säuren wurden in diesem Zeitalter Bernsteinsäure (*flos succini*) durch trockene Destillation von Bernstein, und Benzoesäure durch trockene Destillation von Benzoeharz dargestellt. Die Weinsäure wurde erst später bekannt, jetzt schon lernte man aber mehrere Salze der Weinsäure kennen. Das saure Kaliumsalz; der Weinstein, war seit langer Zeit bekannt.

Die schon früh beobachtete Tatsache, daß die Fette bei der Einwirkung von Alkalien oder Metalloxyden tiefgehende Veränderungen erleiden, führte die Iatrochemiker zwar nicht zur Kenntnis der Fettsäuren, aber mehrere Chemiker dieser Zeit unter ihnen der scharfsinnige Tachenius nahmen an, daß das Öl oder Fett „eine verborgene Säure enthalte“. Der Alkohol, *aqua vitae*, zog während der iatrochemischen Periode eine immer erhöhte Aufmerksamkeit auf sich, besonders wegen seiner Entstehung bei der Gärung, ein Prozeß, der zu dieser Zeit der Gegenstand eines besonders lebhaften Interesses war.

Die erste genaue Angabe über das aus Alkohol bei der Einwirkung von Schwefelsäure erhaltene Produkt, den Äther, verdankt man einem deutschen Arzt, *Valerius Cordus*¹⁾, der in einer nachgelassenen Schrift die Bereitung desselben auseinandersetzt. Doch bald geriet diese Verbindung in Vergessenheit, so daß sie sogar einem so hervorragenden Chemiker und Arzt wie *Stahl*²⁾ unbekannt war.

¹⁾ Seite 50 ff.

²⁾ Seite 89 ff.

Die Beschäftigung mit organischen Stoffen brachte es mit sich, daß manche als Heilmittel oder im täglichen Leben Verwendung fanden. Auch lernte man nach und nach bei der Darstellung derartiger Produkte in rationellerer Art zu Werke zu gehen, z. B. bei der Extraktion von Zucker aus dem Zuckerrohr, wobei der Zuckersaft mit Hilfe von Eiweiß und Kalk geklärt wurde. Die wissenschaftliche Auffassung der Natur der organischen Stoffe befand sich noch immer auf einem sehr niedrigen Standpunkte.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die technisch-industrielle Verwendung der chemischen Erfahrungen während eines Zeitalters, wo das hauptsächlichste Interesse der Chemiker auf die Entdeckung und Darstellung von neuen Heilmitteln konzentriert war, keine Zeit der Blüte durchmachen konnte. Die Fortschritte auf diesem Gebiete sind aber doch recht beachtenswert. Die bedeutendsten Vertreter der technischen Chemie während dieser Epoche sind *Agricola*, *Glauber* und *Palissy*¹⁾.

Metallurgie. Auf diesem Gebiete sind es in erster Linie *Agricola* und *Libavius*, die einer einigermaßen genauen Bestimmung des Metallgehaltes in Erzen den Weg gezeigt haben; von diesem Anfang hat sich nachher die *Probierkunst* entwickelt. Ein großer Fortschritt lag darin, daß man einige Nebenprodukte, die bei metallurgischen Prozessen entstehen, z. B. den bei der Röstung von Kiesen bei unzureichender Luftzufuhr abdestillierenden Schwefel auszunutzen lernte. Die Kenntnis mehrerer Metalle, ihre Darstellung und Verarbeitung wurde während des sechzehnten Jahrhunderts immer weiter verbreitet, indem durch die Schriften *Agricolas* und anderer jetzt in weiten Kreisen bekannt wurde, was früher das Eigentum einiger Weniger gewesen war. So gewann die Trennung von Gold und Silber mittels Scheidewassers eine immer mehr ausgedehnte Verwendung; ferner lernte man die Amalgamierungs-

¹⁾ Seite 50 ff.

methode zum Extrahieren von Silber aus seinen Erzen benutzen. Die metallurgischen Prozesse zur Darstellung von Eisen wurden durch die Schriften Agricolas näher bekannt. Er hat als erste Anweisung zur Bereitung von Stahl durch das Herdfrischen gegeben. Von anderen Metallen lernte man während der iatrochemischen Periode Zink und Wismut besser kennen, obgleich sie oft mit Antimon verwechselt wurden. Das Zinn wurde zu dieser Zeit als Überzug von Eisengeräten immer mehr benutzt. Das Interesse richtete sich aber während der iatrochemischen Periode weniger auf die Metalle selbst als auf die Metallsalze.

Glasbereitung und Töpferei. Die Glasbereitung machte während dieser Zeit bedeutende Fortschritte. Von den venetianischen Glasfabriken, deren Produkte aus dieser Zeit heute noch Bewunderung erwecken, wurde nach allen Ländern die Kunst verbreitet, Glas in den verschiedensten Farben und von wesentlich verschiedenem Lichtbrechungsvermögen zu verfertigen. Genaue Vorschriften über die einzelnen Operationen bei der Glasbereitung finden sich in dem vom Florentiner Antonio Neri¹⁾ im Jahre 1640 herausgegebenen Werke: *De arte vitraria*.

Auch die keramische Industrie machte beachtenswerte Fortschritte, vor allem durch die rastlosen Bemühungen Palissys. Nach unzähligen Versuchen lernte er die Kunst kennen, ein dauerhaftes und schönes Email zu bereiten, ferner auch die Darstellung von Fayence. Seine Erfahrungen auf diesem Gebiete, sowie über die Verwendbarkeit verschiedener Tone zu chemischen Zwecken, hat Palissy in der umfangreichen Arbeit *L'art de terre* niedergelegt.

Färberei. Die Entdeckung Amerikas und des neuen Seeweges nach Ostindien führte eine bedeutend vermehrte Zufuhr von Indigo und Koschenille herbei, was wiederum einen Aufschwung der Färbereiindustrie hervorrief. Eine

¹⁾ Seite 50 ff.

Menge neuer Methoden, diese und andere Farbstoffe auf Geweben zu fixieren, wurden ausgearbeitet. Man lernte auch Alaun-, Eisen- und Zinnlösungen als Beizen verwenden.

Branntweinbereitung. Ein neuer Zweig der Industrie entstand am Ende des fünfzehnten Jahrhunderts, die Branntweinbereitung. Während Alkohol früher nur als Heilmittel Verwendung gefunden hatte, wurde er zu dieser Zeit, mehr oder weniger verdünnt, ein immer mehr begehrtes Getränk. Die Entwicklung dieser Industrie brachte viele Verbesserungen der Destillationsapparate hervor, die auch in die chemischen Laboratorien Eingang fanden.

Die Chemie begann jetzt ihre Wirkungen auf die verschiedensten Gebiete, z. B. den Ackerbau, zu erstrecken. So lenkte *Palissy* die Aufmerksamkeit auf die löslichen Salze im Mist und empfahl das Versetzen desselben mit Mineralsubstanzen, wie Mergel u. a. Man begegnet also hier schon dem ersten Anfang einer rationellen **Agrikulturchemie**.

Daß ein Mann wie Paracelsus einen gewaltigen Einfluß auf die **pharmaceutische Chemie** und damit auf die Entwicklung des Apothekerwesens ausüben mußte, liegt in der Natur der Sache. Vor Paracelsus waren die Apotheken kaum etwas anderes als Niederlagen von Wurzeln, Kräutern, Sirupen und allerlei Konfitüren. Die Bereitung letzterer war Privileg der Apotheker. Die Darstellung von Heilmitteln chemischer Natur setzte aber Kenntnisse von chemischen Erscheinungen und Prozessen voraus. Die Ausübung des Apothekerberufes mußten jetzt diese Kenntnis erwerben, und dadurch entstand die wissenschaftliche Pharmazie. Wenn man auch nicht so weit gehen will wie einige enthusiastische Bewunderer des Paracelsus und der Epoche, deren erster Vertreter er ist, welche der Ansicht sind, daß die Pharmacie dem Paracelsus alles verdankt, so muß man doch anerkennen, daß er durch die neue Anschauungsweise, wozu er die Anregung gab, einen großen

Einfluß auf die Entwicklung des Apothekerwesens ausgeübt. Dank ihrer neuen Aufgabe, chemische Präparate darzustellen, wurden die Apotheken Schulen zur Ausbildung von Chemikern, die während der nächstfolgenden Periode einen äußerst lebhaften Anteil an der Arbeit nahmen, das chemische Lehrgebäude zu errichten.

Hervorragende Persönlichkeiten der iatrochemischen Periode.

Agricola, Georg, der Vater der Mineralogie und Metallurgie, wurde im Jahre 1490 in Glauchau in Sachsen geboren. Nach medizinischen Studien in Deutschland und Italien ließ er sich als praktischer Arzt in Joachimsthal in Böhmen nieder, wo er sich aber auch mit Forschungen in der Bergkunde beschäftigte. Nachdem er im Jahre 1530 eine Pension vom Kurfürst Moritz von Sachsen erhalten hatte, nahm er seinen Wohnsitz in Chemnitz und widmete sich ganz der mineralogischen und metallurgischen Forschung. Er starb daselbst im Jahre 1555. — Agricola hat als erster versucht, eine Klassifikation der Mineralien und Gesteine zu geben, wobei er aber nur auf die äußeren Eigenschaften Rücksicht nahm. Seine metallurgischen Arbeiten waren von großer Bedeutung. Er setzt das Rösten der Erze ausführlich auseinander, lehrte den dabei entweichenden Schwefel aufsammeln und entdeckte die Methode, das Silber aus silberhaltigem Kupfer mit Blei auszuziehen. Er arbeitete Methoden des Metallprobierens aus, die lange allgemeine Verwendung hatten. Die bekanntesten Arbeiten Agricolas sind *De re metallica* und *De ortu et causis subterraneorum*.

Cordus, Valerius, war ein deutscher Arzt, der in der ersten Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts lebte. Er stellte Äther dar, indem er dreimal rektifizierten Alkohol während zweier Monate mit Vitriol digerierte, wonach das Produkt in einem Bad von Wasser oder Asche abdestilliert wurde. Das Destillat sollte dann aus zwei Schichten bestehen, von welchem die obere *Oleum vitrioli dulce verum* oder Äther war. Diese Vorschrift zur Darstellung von Äther wurde in die späteren Auflagen der von Valerius Cordus im Auftrag des Nürnberger Rates ausgearbeiteten und im Jahre 1535 herausgegebenen ersten deutschen Pharmakopöe, *Dispensatorii pharmacorum omnium*, auf-

genommen. — Er starb während einer Reise nach Italien im Jahre 1544.

Croll, Oswald, wurde in Hessen in der späteren Hälfte des 16. Jahrhunderts geboren und starb als Leibarzt des Herzogs von Anhalt im Jahre 1609. In seiner Arbeit *Basilica chymica* gibt er eine Zusammenfassung der Lehre des Paracelsus, welche ungeheuchelte Bewunderung für den Urheber dieser Lehre zur Schau trägt. Unter den von ihm zuerst gebrauchten Heilmitteln sind erwähnenswert: *tartarus vitriolatus* (Kaliumsulfat), und *flos succini* („Bernsteinsalz“, Bernsteinsäure).

Glauber, Johann Rudolph, geboren im Jahre 1604 in Frankfurt. Von seinen Lebensverhältnissen ist wenig bekannt geworden. Nachdem er sich in die verschiedensten Orten in Deutschland aufgehalten hatte, weilte er längere Zeit in Salzburg und langte schließlich in Amsterdam an, wo er 1668 starb. Mit den nicht seltenen Fehlern seiner Zeitgenossen, der Geheimniskrämerei und einem übertriebenen Lobpreisen eigener Entdeckungen, vereinigte er eine scharfe Beobachtungsgabe und ist mit gutem Grunde als einer der hervorragendsten Chemiker dieser Zeit anzusehen. Teilweise hing er noch an dem alchemistischen Standpunkt, und in seiner Arbeit *Miraculum mundi* gibt er an, ein Universalheilmittel gegen alle Krankheiten gefunden zu haben; die Zusammensetzung desselben verschweigt er aber, damit „das hoffärtige Menschengeschlecht es nicht zu seinem Schaden gebrauchen werde.“ Mehrere seiner wichtigen Entdeckungen auf chemischem Gebiete sind schon oben erwähnt worden. Seine chemischen Erfahrungen sind in mehr als vierzig Schriften niedergelegt. In seiner Arbeit *Des Teutschlands wolfarth* eifert er für die Hebung der deutschen Industrie. Seine gesammelten Arbeiten, *Opera omnia*, wurden im Jahre 1661 herausgegeben und ein Auszug derselben, mit dem Titel *Glauberus concentratus* oder *Kern der Glauberischen Schriften*, im Jahre 1715.

Van Helmont, Johann Baptist, ist einer der bedeutendsten und selbständigsten Chemiker der iatrochemischen Periode. Im Besitz großer Kenntnisse, sowohl auf medizinischem wie auf chemischem Gebiete, überglänzte er in bezug auf seinen Standpunkt, in diesen beiden Wissenschaften alle Zeitgenossen. Den größten Teil seines Lebens verbrachte er in der Ruhe eines Gelehrten, obwohl seine äußeren, in jeder Beziehung glänzenden Verhältnisse kaum damit in Einklang waren, da er einer der vornehmsten brabantischen Familien angehörte. In Brüssel, im Jahre 1577 geboren, warf er sich frühzeitig auf philosophische und theo-

logische Studien, die er aber bald verließ um sich dem Studium der Heilkunst zu widmen. Im Anfang war er Anhänger der alten, galenischen Schule, deren Mängel er aber bald entdeckte. Nachdem er die Lehre des Paracelsus hatte kennen lernen, schloß er sich derselben an, wenn er sich auch manche Übertreibungen gegenüber sehr reserviert verhielt. Ohne die wichtigen Beiträge von Helmonts hätte die Iatrochemie sicherlich keinen so hohen Standpunkt erreicht, aber auch die reine Chemie verdankt ihm mehrere äußerst wichtige Entdeckungen. Seine Schriften wurden nach seinem Tode, im Jahre 1644, unter dem Titel *Ortus medicinae vel opera et opuscula omnia* von seinem Sohn herausgegeben.

Libavius Andreas (Libau), war in Halle zur Mitte des 16. Jahrhunderts geboren. Er nimmt eine hervorragende Stellung ein, nicht nur durch die Kritik, die er an den Verirrungen und Übertreibungen der paracelsischen Schule übte, sondern auch durch die Menge neuer Erfahrungen, womit er die Chemie bereicherte. Von 1591 bis 1607 war Libavius als angesehenen Arzt und Vorsteher der Lateinschule in Rothenburg a. Tauber tätig. Er starb im Jahre 1616 als Direktor des Gymnasiums in Koburg. Dank seiner medizinischen Kenntnisse und seiner gründlichen allgemeinen Bildung verstand er es besser als seine Zeitgenossen, den Einfluß zu beurteilen, den die Chemie auf die Heilkunst ausüben soll. Trotz des gesunden Urteils, wovon er so viele Proben gegeben hat, vermochte es Libavius nicht ganz, die Vorliebe seiner Zeit für alchemistische Spekulationen abzustreifen.

Ein großes Verdienst um die chemische Forschung erwarb sich Libavius durch sein im Jahre 1595 herausgegebenes Lehrbuch *Alchymia*, wo eine Übersicht der bis dahin bekannten, chemischen Ansichten und Tatsachen gegeben wird. Die übrigen Werke von Libavius wurden kurz vor seinem Tode unter dem Titel *Opera omnia medico-chymica* veröffentlicht.

De Mayerne, Turquet, wurde in Genf im Jahre 1573 geboren und war als sehr angesehenen Arzt in Paris tätig. Da er aber die Antimonpräparate, die zu dieser Zeit in Verruf gekommen waren, als unentbehrlich bezeichnete und ausgiebig verwandte, wurde seine Stellung dort unhaltbar. Er wurde jetzt der Leibarzt des Königs von England, in welchem Lande er im Jahre 1655 starb. Die chemischen Kenntnisse von Turquet de Mayerne waren für seine Zeit sehr bedeutend. Er war für die Anwendung chemischer Heilmittel sehr eifrig tätig, ohne sich einerseits solcher Übertreibungen wie Paracelsus

schuldig zu machen und ohne andererseits alle Heilmittel der galenischen Schule ganz zu verwerfen.

Van Mynsicht, Adrian, war Leibarzt des Herzogs von Mecklenburg und lebte im Anfang des 17. Jahrhunderts. Wie aus seiner Arbeit *Thesaurus et armamentarium medico-chymicum*, 1631 herausgegeben, hervorgeht, war er ein treuer Anhänger der Lehren des Paracelsus, jedoch ohne den Mitteln der galenischen Schule allen Wert abzuerkennen. Unter den Heilmitteln, deren Bereitungsweise er angegeben hat, finden sich mehrere, die sich bis in die Jetztzeit erhalten haben, wie der Brechweinstein, zu dessen Darstellung in seiner oben erwähnten Arbeit ausführliche Anweisung gegeben wird.

Neri, Antonio, gehörte dem geistlichen Stande an und erwarb durch Reisen in Italien, den Niederlanden u. a. Ländern, eingehende Kenntnis von der Glasbereitung. Er lebte in Florenz während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts.

Palissy, Bernhard, wurde etwa im Jahre 1510 in Capelle-Biron (Dep. Lot-et-Garonne) geboren. Nachdem er in der Heimat die Anfangsgründe der Emaillier-Kunst und der Glasmalerei erlernt, wanderte er nach üblicher Sitte in die Welt hinaus und ließ sich später in der kleinen Stadt Saintes an der Charente nieder, um dort sein Gewerbe zu betreiben. Ein Gefäß aus italienischer oder spanischer Fayence soll dabei einmal in seine Hände geraten sein, und weil die weiße Glasur desselben seine lebhafteste Bewunderung erweckte, entschloß er sich, das Geheimnis ihrer Darstellung zu erforschen. Der erste Versuch nach dem anderen mißlang, während er sein ganzes Vermögen verbrauchte und Not und Spott leiden mußte; doch verlor er sein Ziel nicht aus dem Gesichte. Endlich, nach sechzehn Jahren langer Arbeit, wurden seine Bemühungen von Erfolg gekrönt. Als die von ihm verfertigte Fayence bekannt geworden war, fand er im Konnetabel de Montmorency einen mächtigen Beschützer. Nach einigen Jahren empfing er einen Ruf nach Paris, wo er Vorsteher einer Fayence-Fabrik wurde, welche auf Befehl Katharinas von Medici errichtet wurde. Palissy, der eifriger Hugenott war, wurde lange während der blutigen Religionskämpfe, die gegen Ende des 16. Jahrhunderts in Frankreich wüteten, von mächtigen Gönnern beschützt, wurde aber 1588 in die Bastille gesperrt und schloß dort nach einem Jahre sein wechselvolles Leben.

Paracelsus, Aureolus Bombastus (eigentlich Philipp Theophrast von Hohenheim), wurde in Einsiedeln in der Schweiz im Jahre 1493 geboren. Nach einer überaus unregelmäßigen

Lebensweise und einem höchst abenteuerlichen Dasein in vielen verschiedenen Ländern, kehrte er als ein durch seine Wunderkuren weit berühmter Arzt im Jahre 1525 in sein Vaterland zurück. Er erhielt dort die Professur für Medizin in Basel. Diese hervorragende Stellung samt den Ruf, der ihm vorangegangen war, benutzte Paracelsus, um für seine neue iatrochemische Lehre Propaganda zu machen. Die herrschenden, medizinischen Ansichten bekämpfte er mit allen Waffen der Dialektik. Die Autorität von Galenus und Avicenna, bis dahin unangefochten, trat er in den Staub. Paracelsus verstand es, sowohl durch seine populären,



Aureolus Bombastus Paracelsus.

in deutscher Sprache gehaltenen Vorlesungen, wie durch seine ursprüngliche, frische Erscheinung, sich einen großen Anhang zu verschaffen. Bald aber geriet er mit dem Magistrat von Basel in Streit und wurde genötigt, seine Stellung an der Universität schon im Jahre 1528 aufzugeben. Nach langem Umherirren in verschiedenen Ländern, wie Bayern, Frankreich, der Schweiz und Österreich, langte Paracelsus endlich in Salzburg an, wo er, in tiefsten Verfall geraten, im Jahre 1541 starb.

Seinen chemischen Standpunkt und seine Ansichten über die Ursachen der Entstehung von Krankheiten hat Paracelsus in folgenden Werken niedergelegt: *De tinctura physicorum*, *De morbis ex tartaro oriundis*, *Paragranum*, *Paraminum* (I und II) und *Große Wundarznei*.

Sylvius, Franz (urspr. de la Boë) wurde im Jahre 1614 in Hanau geboren. Er gehörte einer vornehmen holländischen Familie an, die wegen der in den Niederlanden herrschenden Wirren nach Deutschland ausgewandert war. Sylvius erhielt seine wissenschaftliche Ausbildung hauptsächlich an den Universitäten Leyden und Basel, wo er im Jahre 1637 promoviert wurde. Nachdem er als Arzt zuerst in Hanau, dann in Leyden, endlich in Amsterdam tätig gewesen war, wurde er, nachdem er als Naturforscher großen Ruf erworben hatte, zum Professor der Medizin an die Universität Leyden berufen. Der gleiche Ruhm wurde ihm als Inhaber dieser Professur zuteil, und er wurde bald von einer großen Zahl Schüler aus allen Ländern umgeben. — Unter seinen größeren Arbeiten ist erwähnenswert *Praxeos medicae idea nova* in drei Bänden, wovon zwei erst nach seinem Tode, im Jahre 1672, veröffentlicht wurden.

Tachenius, Otto, lebte zur Mitte des 17. Jahrhunderts und war in Herford, Westfalen, geboren. Seine Laufbahn fing er in einer Apotheke an und führte lange ein umherirrendes Leben als Apothekergehilfe, ehe er seine medizinischen Studien begann. Im Jahre 1644 reiste er nach Italien, um in Padua zu studieren, wo er auch sein Doktorexamen machte. Den folgenden Teil seines Lebens verbrachte Tachenius in Venedig, überberüchtigt wegen seiner schlimmen Lebensweise, in gutem Rufe aber wegen seiner wissenschaftlichen Kenntnisse. In Venedig trieb er mit einigen Geheimmitteln großen Unfug und lebte daher mit seinen Zeitgenossen unter den Ärzten in unausgesetztem Streite.

IV.

Die phlogistische Periode.

(Von der Mitte des siebzehnten bis Ende des achtzehnten Jahrhunderts.)

Einleitung. — Boyle und seine Zeitgenossen. — Stahl und die phlogistische Hypothese. — Die Entwicklung in theoretisch-chemischer Hinsicht. — Entwicklung in praktisch-chemischer Hinsicht. — Technische und pharmazeutische Verwendung der chemischen Erfahrung. — Hervorragende Persönlichkeiten.

Diese Periode der Entwicklungsgeschichte der chemischen Forschung wird allgemein von *Boyle*¹⁾ bis *Lavoisier*²⁾ gerechnet und umfaßt einen Zeitraum von etwa 120 Jahren. Die Benennung „phlogistische Periode“ ist für die erste Hälfte dieses Zeitalters nicht ganz zutreffend, weil der Mann, dessen Wirksamkeit auf dem chemischen Gebiete dieser ersten Epoche ihr Gepräge aufdrückt, Boyle, nicht als echter Repräsentant der phlogistischen Auffassung gelten kann. Nichtsdestoweniger pflegt man die Zeit von Boyle bis Lavoisier unter der Benennung „der phlogistischen Periode“ zusammenzufassen, weil der Hauptteil aller chemischen Forschung während dieser Zeit den durch Verbrennung erhaltenen Metallkalken galt. Alle hervorragenden Chemiker dieser Epoche haben sich mit dieser Frage sowohl experimentell wie spekulativ beschäftigt. Das Verbrennungsproblem bildete, insbesondere gegen Ende der Periode, den Mittelpunkt, um den sich die ganze chemische Forschung bewegte. Die Lösung dieses Problems wurde endlich die Waffe bei dem Angriff, welcher die Lehre stürzte, und die richtige Auffassung der Natur der Verbrennung gab die Anregung zu der Reform der chemischen Wissenschaft, unter deren Einfluß wir uns noch befinden.

¹⁾ Seite 77 ff. ²⁾ Seite 102 ff.

Auf die Dauer konnten die iatrochemischen Spekulationen den Kampfplatz nicht behalten, weil sie im Ganzen das Unmögliche erstrebten. Die entschiedene Einseitigkeit, die der iatrochemischen Periode ihr Gepräge aufdrückte, und die willkürliche Erklärung des Lebensprozesses, bei vollständiger Vernachlässigung der Anatomie und Morphologie der Organe machte den Fall der Lehre unvermeidlich. Die Chemie erhielt dadurch den Anstoß, die Banden zu lockern, womit sie die Heilkunst gebunden hatte, und hierdurch erst konnte die chemische Forschung eine selbständige Stellung einnehmen. Als Hauptaufgabe der Chemie erkannte man jetzt das Aufsuchen neuer Tatsachen auf dem chemischen Gebiete mit dem Zwecke, die Wahrheit aus rein wissenschaftlichem Interesse zu entdecken.

Die am Ende des sechzehnten und Anfang des siebzehnten Jahrhunderts immer mehr hervortretende Neigung zu wirklich rationeller, wissenschaftlicher Forschung erstreckte sich auch auf das chemische Erkenntnisgebiet. Kräftig wirkte auch die Entwicklung der physikalischen Wissenschaft auf die jüngere Schwester-Wissenschaft, die Chemie, ein. Einen dauernden Einfluß von stets wachsender Bedeutung übte auch die induktive Methode aus, deren Wesen *Francis Bacon*¹⁾ in folgenden Worten treffend auseinandersetzt: „In keiner Weise als durch die Induktion und durch ein unaufhaltsames, vorurteilsloses Beobachten der Natur und der Erscheinungen in derselben kann der Mensch die Wahrheit enthüllen. Die Tatsachen muß man zuerst sammeln und nicht durch Spekulation darstellen.“ Mit solchen Grundsätzen bewaffnet konnte die Chemie in die Reihe der exakten Wissenschaften vorrücken.

Die Art der Behandlung chemischer Probleme näherte sich in mancher Hinsicht den Methoden, die heutzutage auf chemischem Gebiete Verwendung finden. Doch beachteten die Chemiker der phlogistischen Periode die Gewichtsver-

¹⁾ Seite 77 ff.

hältnisse zwischen den Stoffen, die an den chemischen Reaktionen teilnehmen, nur wenig oder ganz und gar nicht. Die qualitative Seite der Reaktion fesselte so gut wie ihr ganzes Interesse. Die Aufstellung und weitere Entwicklung der phlogistischen Hypothese war nur dadurch möglich, daß man völlig von den quantitativen Resultaten absah. Schon die von mehreren scharfsinnigen Forschern beobachtete Gewichtsvermehrung bei der Verkalkung der Metalle hätte ihnen wohl zeigen sollen, daß diese Vermehrung im schärfsten Widerspruch stand mit ihrer Ansicht, daß das Phlogiston bei der Verkalkung entweiche. Nur durch die Anwendung einer sehr geschraubten Beweisführung zur Erklärung dieses Phänomens gelang es ihnen, die einzig richtige Auffassung der Reaktion zu übersehen, und so mißverstanden sie das ganze Verbrennungsphänomen.

Die phlogistische Hypothese, wie sie später von *Stahl*¹⁾ ausgedrückt wurde, lautet folgenderweise: Alle brennbaren Körper enthalten als gemeinsamen Bestandteil Phlogiston, das bei der Verbrennung oder Verkalkung entweicht.

Ogleich dieser Grundirrtum der ganzen phlogistischen Periode sein Gepräge aufdrückt, muß dieses Zeitalter als eines für die Entwicklung der Chemie in hohem Grade fruchtbares bezeichnet werden. Es war vielleicht eine notwendige Vorbereitungszeit für die späteren Entwicklungsphasen der chemischen Forschung. Wenn auch die phlogistische Forschung selbst mit manchen falschen Vorstellungen behaftet war, so hat sie doch zum Zerstreuen vieler Irrtümer der iatrochemischen Lehre kräftig beigetragen. Insbesondere hat sie den alchimistischen Aberglauben mit großem Eifer bekämpft.

*

Mit Fug und Recht hat man den Engländer *Robert Boyle* als den Forscher bezeichnet, welcher mit seinem

¹⁾ Seite 77 ff.

bahnbrechenden, schaffenden Geist dem einbrechenden, neuen Zeitalter den Ton angab. Der wahrhaft wissenschaftliche, von allen alchimistischen und iatrochemischen Spekulationen freie Geist, den dieser Mann besaß, machte ihn ganz besonders dazu geeignet die Chemie zu lehren, wie sie ihr wahres Ziel bewußt anstreben sollte. Das wissenschaftliche Programm, das er in seiner Arbeit *Preliminary discourse* aufgestellt hat, bezeichnet seinen Standpunkt. Die einleitenden Worte zum Programm Boyles lauten: „Die Jünger der Chemie haben sich bisher von engen Prinzipien leiten lassen, denen es an höheren Gesichtspunkten vollständig gemangelt hat. Als ihre Aufgaben haben sie die Bereitung von Heilmitteln und die Extraktion und Transmutation der Metalle betrachtet. Ich habe versucht, die Chemie von einem anderen Gesichtspunkte zu behandeln, nicht als Arzt oder Alchimiker, sondern als Philosoph. Ich habe den Plan einer chemischen Philosophie abgesteckt, die hoffentlich durch weitere Versuche und neue Beobachtungen vervollständigt werden kann. Wenn die Fortschritte der wahren Wissenschaft den Menschen mehr am Herzen lägen als das eigene Interesse, würde man die Jünger der Chemie leicht überzeugen können, daß man der Menschheit den größten Dienst dadurch leistet, daß man seine ganze Kraft darauf einsetzt, Versuche zu machen und Beobachtungen zu sammeln, und dadurch, daß man keine Theorie aufstellt, ohne ihre Zuverlässigkeit an allen Erscheinungen, die dem fraglichen Gebiete angehören, im voraus geprüft zu haben.“

Die experimentelle Methode und das mit ihr in nahem Zusammenhang stehende genaue Beobachten von neuen Erscheinungen soll also der einzig zuverlässige Grund der Spekulation sein. Es ist der unvergängliche Ruhm Boyles, daß er diesem Gesichtspunkt auf dem chemischen Gebiete Gemeingültigkeit gegeben hat. Seine Verdienste um die Entwicklung der Chemie betreffen die verschiedensten Gebiete derselben.

Der Begriff des Elementes, der vor Boyle in hohem Grade unsicher und schwankend war, ward durch ihn bedeutend fester präzisiert. In seiner Arbeit *Chemista scepticus*, welche im Jahre 1661 veröffentlicht wurde, tritt Boyle gegen die Elemente des Aristoteles' mit Schärfe auf, ebenso gegen die Reste der alchimistischen Anschauungsweise, die noch übriggeblieben waren. Er sprach den Fundamentalsatz aus, daß Elemente alle nachweisbaren, nicht zerlegbaren Stoffe sind. Boyle hielt es für bedenklich, allgemeine Ansichten über Elementareigenschaften auszusprechen, ohne zuvor den festen Grund in den Eigenschaften der Grundstoffe selbst gefunden zu haben. Mit weitgehendem Blick sagte er die Entdeckung einer weit größeren Anzahl Grundstoffe, als der zu seiner Zeit bekannten, voraus. Zugleich bestritt Boyle die Einheitlichkeit vieler Körper, welche damals für Grundstoffe oder Elemente angesehen wurden.

Gleichzeitig mit dieser Erklärung, was unter einem Grundstoff zu verstehen ist, stellte Boyle fruchttragende Hypothesen über die Vereinigung von Grundstoffen zu zusammengesetzten Körpern auf. Er war auch der erste, der mit gebührender Klarheit die Ansicht aussprach, daß eine chemische Verbindung das Resultat einer Verbindung von zwei Bestandteilen ist, und daß der zusammengesetzte Körper ganz andere Eigenschaften besitzt als die Bestandteile jeder für sich. Gestützt auf diesen klaren Gedankengang konnte Boyle Mischungen und chemische Verbindungen streng auseinanderhalten.

Um die Verbindung der einfachen Stoffe zu zusammengesetzten Körpern und die Spaltung der letzteren in einfache Bestandteile zu erklären, hat Boyle seine *Korpuskulartheorie* aufgestellt, die einer der besten Beweise seines Scharfsinnes ist, und die deutlich zeigt, wie weit er in der Tat seinen Zeitgenossen voraus war. Nach dieser Theorie von Boyle sind alle Körper aus einer sehr großen Anzahl kleinster Teilchen aufgebaut. Eine chemische

Verbindung entsteht dadurch, daß die kleinen Teilchen verschiedener Stoffe einander gegenseitig anziehen und dann sich aneinander anlagern. Tritt dann ein anderer Körper mit der so gebildeten Verbindung in Wechselwirkung, und üben die Teilchen jenes neuen Körpers auf irgendeinen der Bestandteile der früher gebildeten Verbindung eine größere Anziehungskraft aus, so ist die Folge eine Spaltung der Verbindung.

Niemand hat vor Boyle so klar und folgerichtig das große Problem der Chemie, die Erforschung der Zusammensetzung der Körper ins Auge gefaßt. Seine Bestrebungen in dieser Richtung bilden die Grundlage der analytischen Chemie, eines Wissenszweiges, der vor Boyle wohl kaum existiert hat. Boyle war der erste, der den Begriff der Analyse in dem Sinne benutzte, den derselbe nachher in der Chemie gehabt hat, und man verdankt ihm auch den Begriff der chemischen Reaktion. Der Frage nach der Ursache der Verbrennung und anderer damit im Zusammenhang stehenden Phänomene hat Boyle ebenfalls viel Aufmerksamkeit gewidmet. Wenn auch seine Versuche, diese Phänomene zu erklären, nicht ganz glücklich waren, so haben doch die ausgezeichneten Experimente Boyles über die Rolle der Luft bei der Verbrennung die spätere Lösung des Verbrennungsproblems wesentlich erleichtert. Bei seinen Untersuchungen über die Luft und andere Gasarten machte Boyle schon im Jahre 1660 die bedeutungsvolle Entdeckung des bekannten Gesetzes, daß das Volumen eines Gases und der auf demselben lastende Druck umgekehrt proportional sind. Siebzehn Jahre später wurde diese Gesetzmäßigkeit vom Italiener *Mariotte*¹⁾ zum zweiten Male entdeckt, deshalb die gewöhnliche Benennung: Gesetz von *Boyle-Mariotte*.

In Frankreich war die *Academie royale des sciences* der Vereinigungspunkt der chemischen Bestrebungen, welche dort besonders gegen Ende des sieb-

¹⁾ Seite 77 ff.

zehnten Jahrhunderts in *Wilhelm Homberg*¹⁾ und *Nikolaus Lémery*¹⁾ ihre bedeutendsten Vertreter hatten. Den chemischen Scharfblick Boyles hatte indessen keiner von beiden. So war Homberg, dessen Wirksamkeit auf praktisch-chemischem Gebiete von recht großer Bedeutung ist, nicht zum wenigsten durch die Untersuchung über die Sättigung von Säuren mit Basen, in den Fesseln der Alchimie fest gebunden. Wie die Iatrochemiker von der Schule des Paracelsus glaubte er, daß alle Körper aus Quecksilber, Schwefel und Salz bestehen. — Von Lémery kann kaum behauptet werden, daß er selbst Beiträge zur theoretischen Entwicklung der Chemie geliefert hat, sondern er schloß sich den von Boyle ausgesprochenen Ansichten über die Verbrennung und die Zusammensetzung der Körper an; statt dessen verstand er aber vortrefflich die Kunst, die Tatsachen zu sichten und zusammenzustellen. Dies zeigt sein im Jahre 1675 herausgegebener *Cours de Chymie*, eine Arbeit, die lange für das beste Lehrbuch der Chemie galt. Es erlangte eine so weite Verbreitung, daß der Verfasser selbst die Herausgabe von dreizehn Auflagen erleben konnte. Neben dieser schriftstellerischen Tätigkeit war Lémery ein Lehrer von außerordentlichen Verdiensten. Er nannte die Chemie eine „demonstrative Wissenschaft“, und er versuchte deshalb bei seinen Vorlesungen die chemischen Vorgänge durch geeignete Experimente zu beleuchten.

In Deutschland hatte die chemische Wissenschaft zu dieser Zeit in *Johann Kunckel*¹⁾ und *Johann Joachim Becher*¹⁾ ihre bedeutendsten Vertreter. Beide hielten indessen im großen ganzen am alchimistischen Standpunkt fest. Jener war fest überzeugt, daß alle Körper Quecksilber enthalten. Dieser erweckte die beinahe verlassene Ansicht des Paracelsus, daß alle Körper aus Quecksilber, Schwefel und Salz bestehen, zu neuem Leben; anstatt der genannten Stoffe nahm er aber drei „Erden“, die merkurialische, die verglasbare und die

¹⁾ Seite 77 ff.

brennbare Erde (*terra pinguis*) an. Die Natur der Körper war von den relativen Mengenverhältnissen dieser drei Erden abhängig. Von besonderer Bedeutung für die Richtung der chemischen Forschung während der zunächst folgenden Periode war die Auffassung Bechers, daß bei Verbrennung der Körper oder der Verkalkung der Metalle *terra pinguis* entweiche, und daß man in diesem Entweichen der „brennbaren Erde“ die Ursache der Verbrennung bzw. Verkalkung suchen müsse, denn aus eben dieser Auffassung hat sich später die phlogistische Theorie entwickelt.

*

Die Lehre von dem Verbrennungsphänomen und analogen Erscheinungen, die mit dem hypothetischen Stoffe Phlogiston erklärt werden konnte, wurde für die Chemiker des achtzehnten Jahrhunderts der Mittelpunkt, um den sich alles andere drehte. Bis zur Zeit *Lavoisiers* hing die große Mehrzahl der Chemiker der phlogistischen Hypothese an. Wenn auch die Phlogistontheorie aus der Lehre Bechers von der *terra pinguis* entstanden ist, so ist es doch erst der Schüler Bechers, *Georg Ernst Stahl*¹⁾, der den Gedanken weiter entwickelt und der Theorie ihre endgültige Abfassung gegeben hat. Die phlogistische Hypothese ist daher mit dem Namen Stahls eng verbunden auf die Nachwelt gekommen. Wie schon hervorgehoben, ist die Phlogistontheorie von Stahl in der Annahme begründet, daß alle brennbaren Stoffe als gemeinsamen Bestandteil Phlogiston enthalten, das bei der Verbrennung oder Verkalkung entweicht. Zu den brennbaren Stoffen zählte man auch die Metalle, die der Verkalkung unterliegen. Da man mit dieser Hypothese eine Menge chemischer Erscheinungen erklären konnte, hielt man es nicht für nötig, irgendeinen Beweis für das Vorhandensein eines solchen Stoffes wie des Phlogistons beizubringen. Auch vermochte Stahl mit diesem Erklärungs-

¹⁾ Seite 77 ff.

grunde eine große Zahl von chemischen Reaktionen zusammenzufassen und zu erklären. Je heftiger ein Stoff verbrennt, sagte Stahl, desto reicher an Phlogiston ist er. Um die ursprünglichen Körper wieder zurückzuerhalten muß man ihnen das Verbrennungsprodukt oder Phlogiston zuführen. Durch Erhitzen von einem Metallkalk mit Kohlenstoff kann man das im Kohlenstoff reichlich vorhandene Phlogiston mit dem Metallkalk verbinden, wodurch das Metall zurückgebildet wird. Nach dieser Auffassung würde also der Metallkalk einen Bestandteil des Metalles bilden. Auf demselben Fehlschluß ruht die Auffassung Stahls, daß der Schwefel aus Schwefelsäure und Phlogiston bestehe. Da bei der Erhitzung von Schwefelsäure und schwefelsauren Salzen mit Kohle, d. h. nach der Auffassung Stahls mit Phlogiston, Schwefel gebildet wird, betrachtet er dieses Verfahren als eine Synthese des Schwefels und als einen vollgültigen Beweis, daß der Schwefel ein zusammengesetzter Körper sei. Der unvermeidlichen und leicht zu ziehenden Konsequenz, daß das Verbrennungsprodukt oder der feste Rückstand, der bei der Verbrennung nach dem Entweichen des Phlogistons erhalten wird, weniger wiegen sollte als der ursprüngliche Körper, legte er keine Bedeutung bei. Obgleich eine Menge Beobachtungen gezeigt hatten, daß bei der Verkalkung der Metalle keine Gewichtsverminderung, vielmehr eine bedeutende Gewichtsvermehrung stattfindet, wurde dies Verhalten in keiner Weise berücksichtigt. Diese und ähnliche Tatsachen waren es aber, die, wenn auch erst nach langem Kampfe, die phlogistische Lehre zu Fall brachten.

Stahl gebührt jedoch das unbestreitbare Verdienst, eine Zusammenfassung, sei es auch mit Hilfe einer durchaus unrichtigen Hypothese, der Oxydations- und Reduktionsphänomene, wie diese Reaktionen heute genannt werden, zustande gebracht zu haben. Zufuhr von Phlogiston wäre dann mit Reduktion, Wegnehmen von Phlogiston mit Oxydation gleichbedeutend. Die Ana-

logie zwischen Vorgängen wie der Atmung und der Fäulnis einerseits und der Verbrennung andererseits, ist Stahl nicht entgangen; er meinte, daß auch diese Prozesse auf dem Fortgang von Phlogiston beruhten. Der Wert des phlogistischen Standpunktes liegt in der Deutung einer Menge Vorgänge von gemeinsamen Gesichtspunkten. Die Einfachheit der Erklärung blendete sowohl Stahl selbst wie eine folgende Generation derart, daß man den schreienden Gegensatz zwischen den Tatsachen und der aufgestellten Hypothese vollständig übersah. Dessenungeachtet hat die phlogistische Auffassung der Entwicklung der chemischen Forschung keineswegs entgegengewirkt, denn Chemiker, deren Arbeit auf dem chemischen Forschungsgebiet von durchgreifender Bedeutung gewesen ist, wie *Bergman, Black, Cavendish, Marggraf, Priestley* und *Scheele*, waren sämtlich eifrige Phlogistiker.

*

Unter den Fragen theoretischer Natur, die die Aufmerksamkeit der Chemiker auf sich zogen, sind in erster Linie zu nennen die Fragen, was unter einem Element und unter chemischen Verbindungen zu verstehen sei, sowie die Frage nach dem Begriff der chemischen Verwandtschaft.

Die Auffassung Boyles vom Begriffe des Elements ist schon erwähnt (Seite 60), und man könnte glauben, seine klare Definition des Begriffes hätte genügen sollen, um den Glauben an die Elemente des Aristoteles auf immer wegzuräumen. Dies war aber nicht der Fall, sondern sowohl diese wie die Auffassung der Iatrochemiker von den Bestandteilen der Körper hatten noch viele Anhänger, und mehrere hervorragende Chemiker unter den Zeitgenossen Boyles hielten an diesem veralteten Standpunkt fest. *Lémery* (Seite 62) nahm als Elemente die schon von *Basilus Valentinus* und *Paracelsus* angegebenen, nämlich

Ekcrantz, Chemie.

5

Quecksilber, Schwefel und Salz an, und fügte Erde und Wasser hinzu. *Becher* nahm als Elemente drei Erden an und fügte ein viertes, das Wasser, hinzu. Selbst ein so scharfsinniger Forscher wie Stahl konnte sich von ähnlichen irrigen Meinungen nicht ganz freimachen.

Die unvermeidliche Konsequenz der phlogistischen Hypothese, daß die bei der Verbrennung, bzw. Verkalkung, entstandenen Produkte, die Säuren und Metalloxyde, einfache Stoffe seien, die ursprünglichen Körper dagegen wegen ihres Gehaltes an Phlogiston zusammengesetzte Stoffe, bildete eines der schlimmsten Hindernisse einer klaren Auffassung dessen, was unter einem Element zu verstehen sei. Von der Zeit an, wo Stahl seine Phlogistontheorie aufstellte, bis dieselbe von Lavoisier gestürzt wurde, galten Stoffe wie Schwefelsäure und Phosphorsäure als einfache Stoffe, während Schwefel und Phosphor als zusammengesetzte Körper betrachtet wurden.

Über den Begriff der chemischen Verbindung und über die Entstehung solcher Verbindungen bildete man sich während der phlogistischen Periode eine Auffassung, die den früher geltenden Ansichten weit überlegen war. Nur bei den vorher als einfache Stoffe anerkannten Metallen, die jetzt als Verbindungen von Metallkalken mit Phlogiston aufgefaßt wurden, war dies nicht der Fall. Boyle und besonders *Boerhave*¹⁾ haben den wichtigen Satz ausgesprochen, daß bei der Bildung einer chemischen Verbindung die charakteristischen Eigenschaften der Bestandteile zwar verloren gehen, die Bestandteile selbst aber nicht, sondern in der entstandenen Verbindung enthalten bleiben. Dies bedeutete einen großen Schritt vorwärts gegen die früher allgemein geltende Auffassung, daß das Entstehen einer neuen Verbindung auch die Erschaffung eines neuen Stoffes bedeute. Wie klar die beiden Forscher in der Tat den Begriff der „chemischen Verbindung“ auffaßten, geht

¹⁾ Seite 77 ff.

am besten aus dem scharfen Unterschied hervor, den sie zwischen einer solchen Verbindung und der einfachen Mischung der Komponenten aufstellten.

Um die Bestandteile der zusammengesetzten Körper kennen zu lernen, bediente man sich der nach und nach immer mehr vervollkommneten qualitativen Analyse. Solange aber die Analyse auf den qualitativen Nachweis gewisser Bestandteile beschränkt war, und auf die Gewichtsverhältnisse keine Rücksicht nahm, war eine förderliche Entwicklung des von Boyle so klar präzisierten Begriffes der chemischen Verbindung nicht möglich. Dies war einem kommenden Zeitalter vorbehalten.

Mit Recht kann man sagen, daß die Phlogistontheorie in dem Wunsche ihren Anlaß hatte, gleichartige Erscheinungen von einem und demselben Prinzip aus zu deuten. Als zusammengehörige Stoffe betrachtete man auf Grund der Bildungsweise Stoffe wie die Metallkalke, die Säuren und die Salze. Die Feststellung, daß die Salze durch Vereinigung von Säuren mit Basen entstehen, gehört zu den fruchtbarsten Resultaten der ganzen phlogistischen Periode. Ehe der Begriff eines Salzes diese klare Formulierung erhielt, hatte man früher auch Säuren und Alkalien als Salze betrachtet. Durch Untersuchungen von *Boerhave*, *Geoffroy*¹⁾ und *Duhamel de Monceau*²⁾ nahm die Auffassung der letztgenannten wichtigen Klasse von Verbindungen festere Gestalt an, und so konnte *Rouelle*³⁾ im Jahre 1745, während er die erwähnte Definition eines Salzes gab, zugleich einen scharfen Unterschied zwischen neutralen, basischen und sauren Salzen machen.

Die alte Auffassung, daß diejenigen Stoffe zueinander Verwandtschaft haben, welche etwas Gemeinsames enthalten, hat sich in einem gewissen Grade bis in das achtzehnte Jahrhundert gehalten. Die schon von *Albertus Magnus* erwähnte *affinitas* setzte irgend etwas Gemeinsames in den Körpern als Bedingung gegenseitiger Einwirkung voraus.

¹⁾ Seite 77 ff.

Mit großer Schärfe hob dagegen Boerhave hervor, daß gerade ungleichartige Körper die größte Geneigtheit zeigen, sich miteinander zu vereinigen. Trotz der so veränderten Bedeutung des Wortes Affinität, hat man diesen Namen beibehalten, um die chemische Verwandtschaft der Körper zu bezeichnen.

Die Frage der Zusammensetzung der Körper, die seit Boyle ein Problem von grundlegender Bedeutung geworden war, konnte nur auf experimentellem Wege gelöst werden. Die qualitative Analyse, deren Anläufe schon während der iatrochemischen Periode verspürt werden können, entwickelte sich jetzt, dank solchen Männern wie *Boyle*, *Hoffmann*¹⁾, *Marggraf*¹⁾ vor allem aber den schwedischen Chemikern, *Bergman*¹⁾ und *Scheele*¹⁾, in solcher Weise, daß das folgende, antiphlogistische Zeitalter in den Untersuchungen dieser Chemiker eine nie versiegende Quelle zur Vermehrung der chemischen Erkenntnis erhielt.

Die analytische Untersuchung der Körper auf nassem Wege erhielt durch Boyle eine wesentliche Erweiterung und zugleich eine Systematisierung. Boyle ist der erste, der das Wort *Analysis* gebraucht hat, um die chemischen Reaktionen zu bezeichnen, mittels deren man die Bestandteile einer Mischung voneinander trennen kann. Zur Ausführung dieser Trennung benutzte Boyle Stoffe, die er *Reagenzien* nannte, und von welchen er eine ungewöhnlich ausgedehnte Kenntnis besaß. Von ihm rührt auch die Verwendung gewisser Pflanzensäfte, als *Indikatoren*, entweder in Lösung oder durch Eintrocknen auf Papier fixiert, um Säuren, Basen oder neutrale Körper nachzuweisen. Außer diesen Hilfsmitteln zur Unterscheidung wichtiger Klassen von Verbindungen führte Boyle die Anwendung solcher Reagenzien ein, die bestimmte Stoffe in der Form mehr oder weniger charakteristischer Fällungen absonderten. Zum Nachweis der

¹⁾ Seite 77 ff.

Schwefelsäure benutzte er ein lösliches Kalksalz, und zum Nachweis der Salzsäure ein lösliches Silbersalz; umgekehrt wies er Kalk- und Silbersalze mit den genannten Säuren nach. Ammoniak konnte er durch den weißen Rauch nachweisen, welcher gebildet wird, wenn Ammoniakdämpfe mit Dämpfen von Salzsäure oder Salpetersäure zusammentreffen. Kupfersalze wurden durch die Blaufärbung nachgewiesen, die ihre Lösungen mit flüchtigem Laugensalz (kohlen-saures Ammon) geben, und Eisensalze durch die schwarze Farbe, welche ihre Lösungen mit gerbsäurehaltigen Tinkturen (aus Galläpfeln, Eichenlaub usw.) geben.

Die Kenntnis geeigneter Reagenzien zum Nachweis bestimmter Stoffe wurde von Marggraf weiter entwickelt. Dieser Forscher benutzte Blutlaugensalz zum Nachweis von Eisen, und die Flammenfärbung, um Kaliumverbindungen von Natriumverbindungen zu unterscheiden. Die letzte Reaktion hat auch Scheele, von Marggraf unabhängig, entdeckt. Aus dem Verhalten einiger Metallsalze zu kaustischem Kali zog Marggraf Schlüsse auf ihre Zusammensetzung. Er zeigte, daß der Gips aus Kalk und Schwefelsäure besteht, und daß diese Säure auch im Schwerspat enthalten ist.

Daß *Scheele*, der Meister auf dem Gebiete der Entdeckung neuer Stoffe, die analytische Chemie mit einer Menge neuer Beobachtungen bereichert und zu der Entwicklung derselben wesentlich beigetragen hat, braucht kaum gesagt zu werden. Obgleich Scheele, gewiß mehr als irgend-einer seiner Zeitgenossen, mit dem Verhalten der Stoffe zu den verschiedenen Reagenzien vertraut war, hat er nicht wie Bergman, seine Beobachtungen systematisiert. Deshalb ist es das Verdienst Bergmans, die Lehre von den Reagenzien und zugleich die qualitative Analyse fest begründet zu haben. Die von ihm angewandten Reaktionen zum Nachweis von Baryt, Kalk, Kupfer, Schwefelsäure, Oxalsäure u. a. Stoffen sind die heute noch gebräuchlichen. Von Bergman rührt auch die erste zweckmäßige

Anleitung zur Untersuchung von Mineralien durch ihre Behandlung mit Salzsäure oder Salpetersäure oder ihre Aufschließung mit Kaliumkarbonat her.

Die qualitative Analyse auf trockenem Wege machte während des achtzehnten Jahrhunderts durch die zunehmende Anwendung des Lötrohres große Fortschritte. Der Wert des Lötrohres, besonders bei der Untersuchung von Erzen wurde, wenigstens in Schweden, durchaus erkannt. Außer dem schwedischen Mineralogen *Cronstedt*¹⁾ waren es hauptsächlich die Schweden *Bergman* und *Gahn*²⁾, die die erweiterte Verwendung des Lötrohres in der chemischen Analyse einführten. Allgemeine Verwendung als wichtiges Hilfsmittel der Analyse erhielt das Lötrohr jedoch erst durch *Berzelius*³⁾.

Versuche, in Mischungen die verschiedenen Stoffe nicht nur nachzuweisen, sondern auch ihre Gewichtsverhältnisse zu ermitteln, findet man vor Lavoisier äußerst selten. Doch kann man aus vielen Angaben von Boyle, Homberg, Marggraf, Bergman, Scheele u. a. sehen, daß sie sich bei ihren Arbeiten zuweilen bemüht haben, den Gewichtsverhältnissen Rechnung zu tragen. Bergman ist indessen der erste, der hervorgehoben hat, daß man das Gewicht eines Elementes oder eines anderen Stoffes nicht durch Isolierung ermitteln soll, sondern man soll versuchen, die Stoffe in der Form unlöslicher Verbindungen auszufällen, z. B. Chlor als Chlorsilber, Kalk als oxalsauren Kalk, Schwefelsäure als schwefelsauren Baryt, usw.

Auch auf dem Gebiete der pneumatischen Chemie arbeitete man während der phlogistischen Periode fleißig. Man bemühte sich, die verschiedenen Gasarten mittels Reagenzien zu erkennen, und aus den gefundenen Volumen ihre Menge nebeneinander zu bestimmen. Zu diesem Zwecke benutzte man gewisse Absorptionsmittel, durch deren verschiedenes Verhalten Gasen gegenüber ihre Ver-

¹⁾ Seite 77 ff.

²⁾ Seite 150.

schiedenheit zuerst erkannt worden war. So z. B. benutzte man, um die Kohlensäure zu beseitigen, kaustisches Kali, und um den Sauerstoff zu entfernen Salpetergas (Stickoxyd) oder Eisenoxydulhydrat, worauf man das zurückgebliebene Gasvolumen maß.

Von durchgreifender Bedeutung war natürlich die Frage, die seit langem schon immer wieder in den Vordergrund getreten war und lebhaftes Interesse auf sich gezogen hatte: Ist die atmosphärische Luft ein einfacher oder zusammengesetzter Körper, und welche sind, im letzteren Falle, ihre Bestandteile? Diese Frage, oder richtiger diese Fragen, erhielten während der phlogistischen Periode ihre Antwort, und zwar hauptsächlich durch die Untersuchungen von Scheele und von Priestley; die richtige Deutung der Resultate dieser Untersuchungen gab aber erst Lavoisier.

Eine Beobachtung, welche geeignet war, die alte Annahme von der stofflichen Einheit der Luft zu erschüttern, war das Verhalten eines abgesperrten Luftvolums, in dem man gewisse Stoffe, wie Phosphor oder einige Metalle, darin verbrennen ließ. Bei seinen Versuchen hierüber drang Boyle zu der Erkenntnis vor, daß irgendein Teil der Luft sowohl für die Atmung wie für die Verbrennung, wie auch für die Verkalkung von Metallen, unumgänglich notwendig sei. Diesen Bestandteil der Luft zu isolieren vermochte aber Boyle nicht.

Der Stickstoff, den mehrere frühere Chemiker in den Händen gehabt haben müssen, wurde von Scheele zum ersten Male isoliert. Indessen veröffentlichte Rutherford¹⁾, der Stickstoff erhielt, indem er die Kohlensäure, die bei der Verbrennung von Kohle in einem luftgefüllten, geschlossenen Gefäß gebildet wurde, von kaustischem Alkali absorbieren ließ, seine Entdeckung früher als Scheele, im Jahre 1772. Aus den Versuchen von Rutherford ging hervor, daß derjenige Teil des Luftvolums, der nach der Verbrennung

¹⁾ Seite 77 ff.

übrig blieb und die Verbrennung nicht weiter unterhalten konnte, der eine Bestandteil der Luft sein müßte. Der zweite Bestandteil wurde fast gleichzeitig und unabhängig von Scheele und von Priestley isoliert. Schon während seines Aufenthaltes in Upsala (1771—73) war es Scheele gelungen, wie aus seinem Nachlaß¹⁾ hervorgeht, Sauerstoff durch Erhitzen von Braunstein mit Schwefelsäure oder Arsensäure oder durch Erhitzen von salpetersauren Salzen darzustellen. Priestley, der zu derselben Zeit den Sauerstoff frei erhalten hatte, ohne jedoch seine Eigenschaften näher zu studieren, stellte später Sauerstoff dar, und zwar, wie man jetzt mit Sicherheit weiß, zuerst im August 1774 durch Erhitzen von Quecksilberoxyd. Weil aber Priestley seine Versuche früher als Scheele veröffentlichte, hat er lange für den Entdecker des Sauerstoffes gegolten; man weiß aber jetzt, daß dieses Verdienst Scheele gebührt. Beide beobachteten, daß das isolierte Gas in noch höherem Grade wie die Luft die Verbrennung und Atmung zu unterhalten vermag. Priestley nannte das Gas „dephlogistizierte Luft“, Scheele gab demselben zuerst den Namen *aer vitriolicus*, später aber Feuerluft oder Lebensluft.

Durch die äußerst wichtige Entdeckung des Sauerstoffes konnten sowohl Scheele wie Priestley die Luft als ein Gemenge von zwei Gasen kennzeichnen. Sowohl Priestley wie Scheele isolierten auch den zweiten Bestandteil der Luft, den Stickstoff. Jener benutzte dabei die Salpeterluft (Stickoxyd), während Scheele zu demselben Zwecke Phosphor, Eisenoxydhydrat oder feuchte Eisenfeile benutzte. Sowohl Scheele wie Priestley machten voneinander unabhängig die wichtige Beobachtung, daß ein Licht, das in einem mit Luft gefülltem, abgeschlossenem Raum brennt, ein ebenso großes Volum Kohlensäure erzeugt, wie von dem verbrauch-

¹⁾ A. E. Nordenskiöld, Carl Wilhelm Scheele, Nachgelassene Briefe und Aufzeichnungen.

ten Gase eingenommen wurde. Der Stickstoff wurde von Priestley als „phlogistizierte Luft“, von Scheele als „verdorbene Luft“ betrachtet.

Trotz dieser Versuche gelang es weder Scheele noch Priestley, die richtige Erklärung der Phänomene zu geben, die die Verbrennungs-, Atmungs- und Verkalkungsprozesse umfassen. Sie waren von der Überzeugung, daß bei diesen Vorgängen Phlogiston entweiche, so stark gefesselt, daß sie den Weg, der klar vor ihnen lag, nicht betreten konnten, sondern dies einem anderen frei ließen. *Lavoisier* war es, der hierzu berufen war, und es war ihm leicht, sich von dem geringen Quantum phlogistischen Vorurteils loszumachen, das ihm beim Beginn seiner wissenschaftlichen Laufbahn noch anhaftete. Daß indessen Scheele und Priestley es sind, die durch ihre bahnbrechenden Untersuchungen über den Sauerstoff der richtigen Auffassung von der Rolle dieses Stoffes bei sämtlichen oben erwähnten Prozessen den Weg gebahnt haben, und daß dieses Verdienst Lavoisier nicht gebührt, unterliegt keinem Zweifel.

Die Kenntnis sowohl der Elemente wie der chemischen Verbindungen nahm während der phlogistischen Periode bedeutend zu. Unter den neuentdeckten Elementen, obschon zu dieser Zeit nicht als solche betrachtet, sind erwähnenswert Phosphor, Chlor, Mangan, Kobalt, Nickel und Platin. Der Entdeckung eines neuen Elementes gingen gewöhnlich gründliche Untersuchungen seiner Verbindungen voran, doch beruhte dieselbe oft genug auf einem bloßen Zufall, wie beispielsweise die Entdeckung des Phosphors. Ein Alchimist in Hamburg, namens *Brand*¹⁾, erhielt nämlich dieses Element bei der Destillation von eingetrocknetem Harn, eine Entdeckung, die in der chemischen Welt das größte Aufsehen erregte. Von den künstlich dargestellten chemischen Verbindungen sammelte sich das Interesse hauptsächlich um die Verbrennungs- und Ver-

¹⁾ Seite 77 ff.

kalkungsprodukte, d. h. um die Säuren und Metall-oxyde.

Auch die Kenntnis der organischen Substanzen machte große Fortschritte, insbesondere durch Scheele, der neue Methoden zum Nachweis und zur Isolierung von Pflanzen- und tierischen Stoffen ausarbeitete. Die wirkliche Zusammensetzung dieser organischen Substanzen war aber, sogar in qualitativer Hinsicht, nur wenig bekannt. Erst Lavoisier bahnte den Weg zu einer richtigen Auffassung der Natur der organischen Verbindungen, indem er zeigte, daß Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff Bestandteile der Mehrzahl dieser Verbindungen sind, und er deutete auch an, wie man die Gewichtsverhältnisse der genannten Elemente bestimmen könne.

*

Was die technische Verwendung der chemischen Erfahrung während der phlogistischen Periode betrifft, so arbeiteten eine Menge hervorragender Chemiker daran, sie für industrielle Zwecke nützlich zu machen, und die chemische Technik machte beachtenswerte Fortschritte. Man begegnet schon den Anfängen einer chemischen Großindustrie, und mehrere Stoffe, deren Darstellung im neunzehnten Jahrhundert einen außerordentlichen Aufschwung nahm, wurden schon Gegenstände einer Fabrikation in großem Maßstabe.

Auf dem Gebiete der **Metallurgie** waren in der phlogistischen Periode die Fortschritte nicht besonders groß, wenn man auch über gewisse Prozesse zu größerer Klarheit gelangte. Durch die Arbeiten von *Bergman*, *Gahn* und anderen schwedischen Chemikern wurde die Darstellung von **Eisen** und **Stahl** wesentlich verbessert. *Marggraf* veröffentlichte die Darstellung von **Zink** durch Erhitzen von Galmei bei möglichst geringer Luftzufuhr. Auf Grund dieser Verbesserung der Darstellungsmethode wurde dieses Metall viel leichter zugänglich.

Töpferei (*Keramik*) gewann eine bedeutende Entwicklung durch die von *Böttger*¹⁾ zufällig gemachte Entdeckung des Porzellans. Obgleich die Darstellung des Porzellans in Meißen unter der Leitung Böttgers in großem Maßstabe betrieben wurde, blieb die Zusammensetzung desselben ein Geheimnis, bis durch planmäßige Untersuchungen von *Réaumur*¹⁾ und anderen die Bestandteile desselben entdeckt wurden, wonach die Anfertigung auch in Sèvres (Frankreich) anfang.

Auch auf dem Gebiete der **Färbung** wurden durch die Entdeckung neuer Farbstoffe recht bedeutende Fortschritte gemacht. Aber nicht nur hierdurch, sondern auch weil mehrere hervorragende Chemiker, z. B. Stahl, sich mit dem Färbungsprozesse beschäftigten, wurde dieser Zweig der Industrie vorwärtsgeführt. Man begann zwei Arten von Farbstoffen zu unterscheiden, solche, die ohne Anwendung von Beizen auf den Geweben fixiert werden können, sogenannte *substantive Farbstoffe*, und solche, die zu ihrer Fixierung die Anwendung einer Beize fordern, sogenannte *adjektive Farbstoffe*.

Eine wichtige Vorbereitung zur jetzigen chemischen Großindustrie bildete die Darstellung von gewissen **technisch wichtigen Präparaten**. Die fabrikmäßige Herstellung von *Säuren* und *Alkalien*, diesen mächtigen Hebeln der modernen chemischen Großindustrie steckte zwar noch im Keime; doch begann man schon mit der Herstellung in ziemlich großem Maßstabe. So wurde die *Salpetersäure* in besonderen „Brennereien“ aus Salpeter und Schwefelsäure bereitet. Die *Schwefelsäure* wurde am Ende des achtzehnten Jahrhunderts in England in größerem Maßstabe durch Verbrennen von Schwefel mit Salpeter dargestellt. Die anfänglich benutzten Glasballons wurden bald als zu teuer und zerbrechlich von Bleikammern verdrängt (zum ersten Male in Birmingham verwendet). Die Bereitung von *rauchender Schwefel-*

¹⁾ Seite 77 ff.

säure durch Erhitzen von Eisenvitriol war seit langer Zeit bekannt, wurde aber jetzt erst in größerem Maßstabe in Nordhausen im Harz und später auch in Böhmen betrieben.

Alkalien und Alkalikarbonate hatte man früher hauptsächlich aus Pflanzenasche oder durch Verkohlung von Weinstein erhalten. Dieselben hatten aber schon ausgedehnte Verwendung bei der Bereitung von Seifen, bei der Glasfabrikation usw. gewonnen. Die Entdeckung einer praktisch verwendbaren Methode zur Darstellung von Soda aus Steinsalz war daher geeignet, die chemische Industrie zu revolutionieren. Es war dem Franzosen *Leblanc*¹⁾ vorbehalten, dieses wichtige Problem zu lösen, indem er das Steinsalz zuerst in Natriumsulfat überführte.

Die gemeinsamen Interessen der Chemie und der **Pharmazie** bewirkten, daß diese beiden Erkenntniszweige während ihrer Entwicklung einander in hohem Grade gefördert haben. Die chemische Forschung verdankt den Jüngern der Pharmazie, wie *Kunckel*, *Geoffroy*, *Lémeray*, *Marggraf*, *Rouelle*, *Scheele* u. a. eine Menge bedeutungsvoller Entdeckungen auf rein chemischem Gebiete. Umgekehrt haben aber viele Vertreter der Chemie durch Untersuchungen auf dem pharmazeutischen Gebiete die Entwicklung desselben sehr gefördert.

Unter den neuen Heilmitteln, welche zu dieser Zeit mit der Pharmazie einverleibt wurden, seien einige der wichtigeren hier erwähnt: *Ammoniumkarbonat* war in den berühmten sogenannten *englischen Tropfen* enthalten; *Kaliumsulfat* erhielt eine ausgedehnte Verwendung und wurde als *Sal polychrestum* als Arznei geschätzt; *Magnesiumsulfat* wurde zuerst aus Quellenwasser von Epsom in England hergestellt und wurde daher auch *englisches Salz*, später *Bittersalz* genannt; *basisches Magnesiumkarbonat* wurde

¹⁾ Seite 77 ff.

aus den Mutterlaugen der Salpeterbereitung durch Fällen mit Kaliumkarbonat erhalten und wurde *Magnesia alba* genannt; von Antimonpräparaten hatte man *Kermes mineralis*, eine hauptsächlich aus amorphem Antimontrisulfid bestehende Verbindung, die als Heilmittel hochgeschätzt war; eine alkoholische Lösung von Eisenchlorid wurde in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts als geheimes, hochgeschätztes Heilmittel, *Goldtropfen* genannt, gebraucht, dessen Zusammensetzung nach und nach bekannt wurde.

Zu dieser Zeit begann man auch auf die Eigenschaft gewisser Stoffe aufmerksam zu werden, die Fäulnis zu verhindern. *Kunckel* empfahl hierzu den Gebrauch von Mineralsäuren, und in Schweden lernte man Holz mit Lösungen von Alaun oder Eisenvitriol zu tränken, um der Zerstörung desselben entgegenzuwirken. Schon im Jahre 1782 schlug Scheele vor, Essig in geschlossenen Gefäßen zu kochen, um ihn unveränderlich zu erhalten. Hierdurch ist Scheele der eigentliche Entdecker des heute so bedeutungsvollen Sterilisierungsverfahrens.

Hervorragende Persönlichkeiten während der phlogistischen Periode.

Bacon, Francis, Viscount von St. Alban und Freiherr von Verulam, gewöhnlich Baco von Verulam genannt, englischer Philosoph und Naturforscher, wurde in London im Jahre 1561 geboren und starb daselbst im Jahre 1626. Bacon kann für einen der Begründer der wissenschaftlichen Forschung der Neuzeit gelten, hauptsächlich, weil er die wissenschaftliche Forschung vom Autoritätsglauben befreien wollte, und von den mystischen Tendenzen und phantastischen Elementen, die im Mittelalter und besonders in dem späteren Abschnitte desselben die wissenschaftliche Forschung auf Abwege geführt hatten. Als Kriterium jeder wissenschaftlichen Wahrheit stellte Bacon Klarheit und Begreiflichkeit auf. Bacon war einer der eifrigsten Vorkämpfer der induktiven Methode. Um die allgemeinen Gesetze der Natur zu erforschen, muß man, sagte Bacon, an die Natur Fragen richten, keineswegs ihr Gesetze vorschreiben.

Becher, Johann Joachim, deutscher Chemiker und der eigentliche Urheber der phlogistischen Hypothese, wurde in Speyer im Jahre 1635 geboren. Nach Reisen in vielen Ländern, wie Holland, Italien und Schweden, war er kurze Zeit Professor der Medizin an der Universität Mainz und später Leibarzt des Kurfürsten von Bayern. Er verließ dann Deutschland, verbrachte einige Jahre in Holland und siedelte endlich nach England über, wo er für die Verbesserung des Grubenbetriebes eifrig arbeitete, und wo er im Jahre 1682 sein wirksames und wechselreiches Leben endete. Der Einfluß Bechers auf die Entwicklung der chemischen Forschung liegt nicht so sehr in Entdeckungen neuer Tatsachen, wie vielmehr in der Systematisierung und der Deutung früher bekannter Erscheinungen. Unter den Erzeugnissen von der vielseitigen Schriftstellerei Bechers ist *Physica subterranea* das bedeutendste.

Bergman, Torbern, Professor der Chemie an der Universität Upsala, Schweden, wurde im Jahre 1735 geboren. Durch unermüdliche Arbeit, meistens in ungeeigneten und gesundheitsschädlichen Räumen zerstörte Bergman frühzeitig seine Gesundheit. Er starb schon im Alter von 49 Jahren. Schon verhältnismäßig jung war Bergman in ganz Europa als Astronom, Zoolog und Physiker weit berühmt. Aber in keiner dieser Wissenschaften, sondern als Vertreter der chemischen Wissenschaft wurde er an die Universität Upsala berufen, als *Wallerius* im Jahre 1767 seinen Abschied nahm. Als Autor auf chemischem Gebiete hatte sich Bergmann zu dieser Zeit noch kaum bewährt, aber sein Ansehen als Forscher überhaupt war so groß, daß er als einziger als Nachfolger von Wallerius in Betracht kam. Bergmans wichtigste Arbeiten galten der analytischen Chemie, die er mit einer Menge wichtiger Methoden bereicherte und überhaupt systematisierte. Die Ansichten über die chemische Verwandtschaft bei der Vereinigung und Spaltung von Körpern erhielten durch Bergmann viel größere Festigkeit und Klarheit. Die gesammelten Arbeiten Bergmanns sind in 5 Bänden unter dem Titel: *Opuscula physica et chemica* herausgegeben.

Black, Joseph, englischer Chemiker, wurde im Jahre 1728 geboren und wirkte als Professor an den Universitäten Glasgow und Edinburgh. Black hat durch seine ausgezeichneten Experimentaluntersuchungen, insbesondere durch seine mit großem Geschick vorgenommenen und scharfsinnig gedeuteten Versuche über die Kohlensäure und deren Verhalten zu Alkalien und alkalischen Erden, zur Entwicklung der chemi-

schen Wissenschaft viel beigetragen. Seine Beobachtungen schufen den festen Grund der Auffassung einiger Reaktionen, die vor ihm falsch gedeutet waren. Speziell die pneumatische Chemie war Gegenstand seines Interesses, und er lenkte durch seine Untersuchungen auf diesem Gebiete das Studium und die Auffassung der Gase auf ganz neue Bahnen. — Er starb im Jahre 1799.

Boerhave, Hermann, im Jahre 1686 in Voorhout bei Leyden geboren, studierte anfänglich die Theologie, ging aber dann zum Studium der Medizin über. Gleichzeitig erwarb er gründliche Kenntnis der Naturwissenschaften, speziell der Chemie. Von 1709 ab war er als Professor der Medizin, Botanik und Chemie an der Universität Leyden tätig. Die Bedeutung Boerhaves für die Entwicklung der chemischen Forschung liegt nicht so sehr in einigen von ihm ausgeführten epochemachenden Experimentaluntersuchungen, wie in dem Scharfsinn, den er bei der Betrachtung und dem Zusammenstellen chemischer Erscheinungen von allgemeinen Gesichtspunkten bewies. Sein großes Lehrbuch, *Elementa chemiae*, das im Jahre 1732 erschien, umfaßte die Resultate aller wichtigeren chemischen Arbeiten bis zu dieser Zeit, und galt lange als die beste Anleitung bei dem Studium der chemischen Wissenschaft. Boerhave starb in Leyden 1738.

Boyle, Robert, wurde als vierzehnter Sohn des Grafen von Cork im Jahre 1626 geboren. Nach einer sorgfältigen Erziehung in Eton begann er früh ernste Studien an der Universität Genf und setzte dieselben in aller Ruhe auf seinem Landgut in Stalbridge fort. Im Jahre 1654 siedelte er nach Oxford über und trat mit mehreren Gelehrten in nahe Verbindung. Er gehörte dort einer Gesellschaft an, *Invisible college*, die der Vorläufer der *Royal Society* war. Von 1666 an lebte er in London und wurde im Jahre 1680 der Präsident der letztgenannten gelehrten Gesellschaft. Unter den zahlreichen Schriften Boyles seien erwähnt: *Chemista scepticus*, *Testamina quaedam physiologica*, *Experimenta et considerationes de coloribus*, *Apparatus ad historiam naturalem sanguinis*. — Boyle starb in London im Jahre 1691.

Brand (Taufnamen, Geburts- und Todesjahre unbekannt), lebte als Kaufmann in Hamburg in der späteren Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts. Bei seinen Bestrebungen, durch alchemistische Operationen sein Einkommen zu verbessern, entdeckte er durch einen Zufall den Phosphor, wahrscheinlich im Jahre 1669. Das Geheimnis der Phosphorbereitung verkaufte

Brand an den Arzt Kraft, wodurch dasselbe nach England kam, wo Kunckel von dem Verfahren so viel erfuhr, daß er die Entdeckung nochmals machen konnte. Brand kam später durch die Vermittelung Leibniz' nach Hannover, wo er vom Herzog Johann Friedrich eine jährliche Unterstützung erhielt.

Böttger (Böttcher, Böttiger), *Johann Friedrich*, der Erfinder des Meißener Porzellans, wurde in Reuß-Schleiz im Jahre 1682 geboren. Seine Bahn begann er als Apothekerlehrling in Ber-



Robert Boyle.

lin, mußte aber diese Stellung seiner alchimistischen Spekulationen wegen verlassen. Er wurde genötigt von Berlin zu fliehen und kam zum König August II. von Sachsen, um diesem die Kunst des Goldmachens zu lehren. Nachdem Böttger bei diesen vergeblichen Versuchen große Geldsummen verschwendet hatte, entließ er, wurde aber erwischt, und mußte an der Bearbeitung der Salze von einigen Mineralquellen teilnehmen. Zu dieser Zeit gelang es Böttger Porzellan aus dem braunen Ton darzustellen, der in der Nähe von Meißen vorhanden war, und er entdeckte später auch das Verfahren, das vorher so kostbare weiße Porzellan darzustellen. — Er starb im Jahre 1719.

Cavendish, Henry, englischer Chemiker, in Nizza im Jahre 1731 geboren. Er widmete in der Stille seine Kräfte dem Studium der Naturwissenschaften, vorzugsweise der Chemie und der Physik. Von seinen Lebensverhältnissen ist wenig bekannt geworden, da Cavendish ein menschenscheuer Einsiedler war, der ängstlich jeden Versuch, ihn mit der Oeffentlichkeit in Berührung zu bringen, zurückwies. Ebenso abgeneigt war er, seine Arbeiten zu veröffentlichen, weshalb viele von ihm gemachten bedeutungsvollen Beobachtungen erst nach Jahrzehnten bekannt wurden. Obgleich Cavendish selbst eifriger Anhänger der Phlogistentheorie war, sind seine Untersuchungen in der pneumatischen Chemie eines der kräftigsten Mittel zum Stürzen dieser Theorie gewesen. — Er starb im Jahre 1810.

Cronstedt, Axel Friedrich, geboren 1722 in Schweden, kann als einer von den Begründern der modernen Mineralogie betrachtet werden. Nach Studien an der Universität Upsala wurde er zuletzt im Jahre 1759 Ober-Bergrat. Auf dem Gebiete des Bergbaus war Cronstedt sehr hervorragend, die größte Aufmerksamkeit hat er aber als Mineralog und Chemiker auf sich gelenkt. — Er starb im Jahre 1765.

Gahn, Johann Gottlieb, Gelehrter der Bergkunde, geboren im Jahre 1745 in Schweden, studierte in Upsala 1762—1770. Im Jahre 1770 nahm er seinen Wohnsitz in der Stadt Falun. Durch seine Bemühungen wurden Verbesserungen des Kupferschmelzens eingeführt und eine Werkstätte für die Fabrikation von Vitriol, Schwefel und Schwedisch-Rot angelegt. 1784 wurde Gahn zum Assessor am Oberbergamt ernannt. Gahn hat eine Menge wichtiger Entdeckungen in der Chemie gemacht, die er aber nie veröffentlichte, sondern mit großer Freigebigkeit seinen Freunden, Bergman und Scheele, mittheilte. Er hat sich durch die Ausarbeitung von Anweisungen zum Gebrauche des Lötrohres in der Chemie und Mineralogie großes Verdienst erworben; die Erfahrungen Gahns auf diesem Gebiete liegen der berühmten Arbeit von Berzelius über den Gebrauch des Lötrohres zugrunde. — Er starb in Falun im Jahre 1818.

Geoffroy, Stephan Franz (der ältere zum Unterchied von seinem jüngeren, weniger hervorragenden Bruder *Claude Joseph*), wurde in Paris im Jahre 1672 geboren. Nachdem er seine erste Ausbildung in der Apotheke des Vaters erhalten hatte, widmete er sich chemischen und medizinischen Studien und wurde 1712 Professor der Medizin am Jardin des Plantes in Paris. Seinen größten Ruhm hat Geoffroy durch seine Studien über die chemische Verwandtschaft gewonnen. Seine *Tables de rapports*

(Verwandtschaftstafeln) haben die Lehre von der Affinität dauernd beeinflusst. Einige seiner rein theoretischen Spekulationen waren nicht so glücklich. In bezug auf die Verbrennung und Verkalkung schloß er sich den Ansichten Stahls' an. Großes Verdienst erwarb sich Geoffrey, indem er die alchemistischen Schwindeleien energisch verfolgte. In einer an die französische Akademie eingereichten Schrift: *De supercheries concernant la pierre philosophale* hat er dieselben einer klaren Beleuchtung unterzogen.

Hoffmann, Friedrich, deutscher Arzt, wurde im Jahre 1660 in Halle geboren. Bei einem Besuche in England 1684—1685 trat er zu Robert Boyle in nahe Berührung und war dann als praktischer Arzt in Minden und Halberstadt tätig, bis er im Jahre 1693 zum Professor der Medizin an der Universität Halle ernannt wurde. Hoffmann war einer der bedeutendsten medizinischen Schriftsteller seiner Zeit. Nach ihm ist das bekannte Heilmittel, die Hoffmannschen Tropfen, benannt.

Homborg, Wilhelm, französischer Chemiker und Arzt, geboren in Batavia im Jahre 1652, studierte zuerst die Jurisprudenz, dann aber die Naturwissenschaft und Medizin in Italien, Frankreich und England. Nachdem er in Wittenberg zum Doktor der Medizin promoviert worden, war er in den Jahren 1682—1688 in Paris ansässig, siedelte dann nach Rom über, kehrte aber nach einigen Jahren nach Paris zurück, wo er im selben Jahre Mitglied des Institut de France wurde. Homborg nimmt in der Geschichte der chemischen Forschung eine beachtete Stellung ein, und gab sich um die technische Verwertung seiner Erfahrungen besondere Mühe. — Er starb im Jahre 1715.

Kunckel, Johann (später in Schweden unter dem Namen von Löwenstern-Kunckel geadelt), wurde in Rendsburg im Jahre 1630 geboren. Er widmete sich zuerst der Apothekerlaufbahn, ging aber später zum Studium der Alchymie über, und war als Alchimist bei mehreren deutschen Fürsten angestellt, u. a. bei dem Kurfürsten Friedrich Wilhelm von Brandenburg. Nach dem Tode desselben kam er im Jahre 1688 nach Schweden, wo er von Karl XI. zum Bergrat ernannt, außerdem geadelt wurde. Von der Möglichkeit der Metallverwandlung und der Existenz des „Steines des Weisen“ war er fest überzeugt, bestritt und enthüllte aber eifrig viele Schwindeleien der Alchemisten. Seine bemerkenswerteste Entdeckung war die des Phosphors, den er an Hand von Anweisungen Brands zum zweiten Male entdeckte. Für die Glasfabrikation hegte er ein großes Interesse, und es gelang ihm, das Rubinglas zu ent-

decken oder wenigstens zum ersten Male in großem Maßstabe herzustellen; ferner klärte er die von den Venetianern streng geheim gehaltene Darstellungsweise von Aventuringlas auf. Kunckel hat auch den Gebrauch des Glasbläsertisches eingeführt. Unter seinen größeren Schriften ist bemerkenswert: *Ars vitraria experimentalis oder vollkommene Glasmacherkunst*. Er endete sein wechselreiches Leben zu Stockholm im Jahre 1702.

Leblanc, Nicolas, französischer Chemiker, wurde in Issoudun im Jahre 1742 geboren. Sein Name ist an die von ihm erfundene Methode, Soda aus Steinsalz darzustellen, geknüpft. Im Jahre 1791 setzte Leblanc die erste Sodafabrik in Betrieb, es war ihm aber nicht vergönnt, die Früchte seiner großartigen Entdeckung zu ernten. Im Jahre 1808 nahm er sich das Leben, zu dieser verzweifelten Tat durch Armut getrieben.

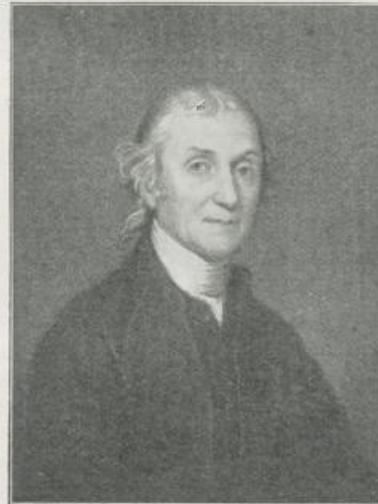
Lémery, Nicolas, französischer Chemiker und Apotheker, wurde im Jahre 1645 geboren. Von 1672 an, wo er sich als Apotheker in Paris etablierte, hielt er sehr besuchte Vorlesungen der Chemie ab. Von Anfang an Protestant, sah er sich im Jahre 1686 genötigt, zum Katholizismus überzugehen. Von 1699 an war er Mitglied der französischen Akademie der Wissenschaften. — Er starb in Paris im Jahre 1715.

Marggraf, Andreas Sigismund, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1709 geboren. Seine Laufbahn begann er als Apothekerlehrling, widmete sich aber dann mit großem Erfolg den naturwissenschaftlichen Studien an den Universitäten Frankfurt a. d. Oder, Straßburg und endlich auch an der Bergakademie in Freiburg. Er hat eine Menge hervorragender Untersuchungen ausgeführt u. a. über die *Phosphorsäure* und ihre Bildung aus Phosphor; weiter über den Unterschied zwischen der *Tonerde* und der *Magnesia*, welche früher verwechselt wurden. Seine wichtigste Entdeckung ist wohl diejenige, daß die Zuckerrübe *Rohrzucker* enthält. Die Arbeiten von Marggraf sind fast alle in den Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht. Schon bei seinen Lebzeiten wurde eine Sammlung seiner Schriften unter dem Titel: *Chemische Schriften* herausgegeben. Er starb im Jahre 1782 als Direktor der physikalischen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Berlin.

Mariotte, Edmé, französischer Physiker, wurde etwa 1620 in Paris geboren. Er war Prior im Kloster St. Martin Sous Beaune in der Nähe von Dijon und wurde im Jahre 1666 bei der Stiftung der französischen Akademie der Wissenschaften Mitglied derselben. Mehrere der wichtigsten Arbeiten von Mariotte wurden in einzelnen Abhandlungen und unter dem gemein-

samen Titel *Essais de physique* herausgegeben. Die zweite enthält den Bericht über den Zusammenhang zwischen dem Volum eines Gases und dessen Druck, das sogenannte Boyle-Mariottesche Gesetz. — Er starb in Paris im Jahre 1684.

Duhamel de Monceau, in Paris im Jahre 1700 geboren, war aus der Schule Lémerys und Geoffroys hervorgegangen. Er war ungewöhnlich vielseitig veranlagt und genoß großes Ansehen wegen gediegener Arbeiten physikalischen, meteorologischen, botanischen und besonders chemischen Inhaltes. Speziell für die Verwendung der Chemie im Ackerbau und in der Industrie hegte er ein warmes Interesse. Er war der erste, der mit Bestimmtheit das Kali von Natron unterschied, und er zeigte, daß letzteres als Base in Steinsalz, Borax, Glaubersalz und Soda enthalten ist. — Er starb zu Paris im Jahre 1781.



Joseph Priestley.

Priestley, Joseph, englischer Geistlicher und Naturforscher, wurde in Fieldhead bei Leeds im Jahre 1733 geboren. Priestley war eine exzentrische Persönlichkeit, bei der phantastische Spekulationen mit einer fast kindlichen Gemütsart vereinigt waren. Sein Leben war an Wandlungen reich. Als Mitglied der freien Gemeinde nahm Priestley der orthodoxen Schule

gegenüber eine Stellung ein, die ihn der Verfolgung aussetzte. Seine Studien betrieb er im Anfang ausschliesslich auf theologischem Gebiete; erst später, und zwar zum großen Teil dank seiner Bekanntschaft mit *Benjamin Franklin*, wurde er in das naturwissenschaftliche Gebiet eingeführt.

Priestley, der die pneumatische Chemie mit einer Menge neuer Entdeckungen bereichert hat, war ein eifriger Anhänger der phlogistischen Hypothese. Bis zu seinem Tode im Jahre 1804 war er einer der eifrigsten Verfechter dieser Theorie, obgleich seine Experimente oft genug geeignet waren, die Grundlagen derselben schwankend zu machen. Mit einer ungewöhnlich großen experimentellen Gabe ausgerüstet und ein scharfer Beobachter, wußte Priestley, obgleich es ihm an einer gründlicheren, naturwissenschaftlichen Ausbildung mangelte, die schwierigsten Probleme der pneumatischen Chemie zu lösen. Eine große Zahl von Gasen, die vor ihm so gut wie nicht bekannt waren, hat er hergestellt und einer genauen Untersuchung unterworfen. Von allen Entdeckungen Priestleys ist die Entdeckung des Sauerstoffs in erster Linie zu nennen.

Priestleys schöne Versuche mit Sauerstoff führten ihn indessen zu keiner richtigen Deutung des Verbrennungsphänomens, sondern er erklärte dasselbe von seinem phlogistischen Standpunkt. Diese fehlerhafte Auffassung der Verbrennung hinderte aber Priestley nicht, in einigen anderen Fällen die scharfsinnigsten Schlüsse zu ziehen, wie den Kreislauf betreffend, den der Sauerstoff in der organischen Welt durch den Stoffwechsel bei Pflanzen und Tieren durchläuft. Priestley bahnte hier der richtigen Erklärung von weit komplizierteren Vorgängen, als die Verbrennung, den Weg, während er die Verbrennung selbst, befangen von der grundfalschen phlogistischen Hypothese, nicht zu deuten vermochte.

De Réaumur, René Antoine Ferchault, französischer Physiker, wurde im Jahre 1683 geboren. Er studierte zuerst die Jurisprudenz, widmete sich aber dann dem Studium der Naturwissenschaften, und machte besonders in der Physik viele Entdeckungen von großer Bedeutung. Bei seinen Versuchen Eisen in Stahl zu überführen, fand er die Methode aus Gußeisen Schmiedeeisen darzustellen. Bei Versuchen, das japanische Porzellan nachzuahmen, erfand er das sogenannte Réaumursche Porzellan, das eine Art von milchweißem Glas darstellt. Seinen eigentlichen Ruhm hat Réaumur durch die Konstruktion des nach ihm genannten Thermometers gewonnen. — Er starb im Jahre 1757.

Rouelle, Wilhelm Franz, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1703 geboren. Er nimmt einen bemerkenswerten Platz als vorzüglicher Lehrer der Chemie ein, und hat mehrere hervorragende Schüler, unter denen *Lavoisier* und *Proust* Erwähnung verdienen, ausgebildet. Seine Vorlesungen zeichneten sich durch die Begeisterung aus, die er seinem Thema zollte, und es wird berichtet, daß Rouelle zuweilen von so großem Eifer ergriffen wurde, daß er sich sowohl der Perrücke wie dieses oder jenes hindernden Kleidungsstückes entledigte. — Er starb in Paris im Jahre 1770.

Rutherford, Daniel, schottischer Arzt, geboren 1749. Er wurde im Jahre 1786 Professor der Botanik an der Universität Edinburgh. Seine im Jahre 1772 gemachte Entdeckung des Stickstoffes hat er in der Abhandlung *De aëre mephitico* veröffentlicht, ohne jedoch das entdeckte Gas zu benennen, oder dessen Eigenschaften näher zu beschreiben. — Er starb in Edinburgh im Jahre 1819.

Scheele, Carl Wilhelm, ist gewiß einer der hervorragendsten Chemiker, die es je gegeben hat. Seine Größe wird in keiner Weise dadurch geschmälert, daß er bis ans Ende seines Lebens eifriger Anhänger der phlogistischen Hypothese war. Obwohl Scheele in diesem Irrtum verharrte und trotz der ungünstigen Verhältnisse, unter denen er arbeitete, obwohl ihm auch nur kurze Zeit zu wirken vergönnt war, hat er die chemische Wissenschaft mit einer so großen Menge neuer Beobachtungen bereichert, daß dieselben den folgenden Generationen von Chemikern eine nie versiegende Quelle gewesen sind.

Carl Wilhelm Scheele wurde am 9. Dezember 1742 in Stralsund in dem damals schwedischen Pommern geboren. 15 Jahre alt wurde er als Eleve beim Apotheker *Bauch* in Gothenburg angenommen. Die Wahl dieser Apotheke scheint insofern günstig gewesen zu sein, als Scheele dort nicht wie zu jener Zeit gebräuchlich mit niedrigeren Beschäftigungen zu lange hingehalten wurde, sondern bald genug im Laboratorium selbst beschäftigt wurde. Nach sechs Jahren als Eleve blieb er noch zwei Jahre als *studiosus pharmaciae* an der obengenannten Apotheke, wonach er nach Malmö übersiedelte, und während einer dreijährigen Stellung beim Apotheker *Kjellström* sich eine Erfahrung erwarb, die später reiche Frucht trug. Die Hoffnung auf ein größeres Tätigkeitsgebiet führte ihn nach der Hauptstadt Stockholm, wo er im Jahre 1768 eine Stellung an einer Apotheke, genannt „*der Rabe*“, erhielt. Weil die Beschäftigung Scheeles hier hauptsächlich in Rezeptur-Arbeit bestand, fand

er zum Arbeiten im Laboratorium nur wenig Zeit. Seine neue Stellung gefiel ihm deshalb nicht recht und er siedelte im Herbst 1770 nach Upsala über, wohin der berühmte Namen Torbern Bergmans von fern und nah eine Menge Adepten lockte. Scheele machte hier die Bekanntschaft Bergmans, der, wie man erzählt, früher zwei von dem unbekanntem Pharmazeuten der Kgl. Akademie der Wissenschaften eingereichte Abhandlungen zurückgewiesen hatte, dieselben aber später angenommen hatte, als sie im Namen einer anderen Person eingereicht wurden. Aus diesem Grunde soll zwischen Scheele und Bergman im Anfang eine gewisse Kälte geherrscht haben, aber das Mißverständnis wurde bald ausgeglichen und ein inniges, der chemischen Wissenschaft in hohem Grade fruchtbringendes Band der Freundschaft vereinigte seither den durch seine Gelehrtheit berühmten Professor der Chemie an der Universität Upsala und den jungen, wissensbegierigen Pharmazeuten. Scheele erhielt nun von Bergman zur Untersuchung Stoffe, deren Zusammensetzung nur unvollständig bekannt waren, und die vorgelegten Aufgaben wurden in einer Weise gelöst, die in der Chemie ohnegleichen dastehen dürfte. Schon während seines Aufenthaltes in Upsala führte Scheele Arbeiten aus, die ihm einen Rang in der Geschichte der chemischen Forschung auf immer gesichert hätten.

Scheele sehnte sich aber nach einer mehr unabhängigen Stellung, und er nahm deshalb im Herbst 1775 gern das Anerbieten an, die Apotheke der kleinen Stadt Köping, deren Gründer, der Apotheker Pohl, eben gestorben war, als erster Apothekergehilfe zu übernehmen. Seine Stellung war jedoch im Anfang wenig beneidenswert. Er wohnte in der Posthalterei und sein berühmtes Laboratorium befand sich auf dem der Apotheke zugehörigen Hofe in einer verfallenen Kammer, zur Hälfte abgeteilt, um Fuhrwerk und Ackergerät Platz zu geben. Im folgenden Jahr kam Scheele, der unbemittelt war, in eine recht schwierige Stellung, da ein Käufer für die Apotheke sich einfand. Der Landeshauptmann erwirkte ihm aber ein Privilegium für eine neue Apotheke in Köping, wenn es notwendig werden sollte, und die Bewohner erklärten einstimmig, daß sie nur in dieser neuen Apotheke kaufen würden. Der Käufer zog sich daraufhin zurück. Durch seine in der Akademie der Wissenschaften veröffentlichten bahnbrechenden Untersuchungen hatte er sich schon zu dieser Zeit ein solches Ansehen erworben, daß er schmeichelhafte Rufe nach dem Auslande erhielt, wie nach Berlin (auf Vorschlag von *d'Alembert*) und nach England, welche er aber ablehnte.

Das erste, was Scheele tat, nachdem er in den unbestrittenen Besitz der Apotheke zu Köping gelangt war, und durch gute Wirtschaft die nötigen Mittel erhalten hatte, war die Einrichtung eines zweckmäßigen Laboratoriums. Die Forscher, die ihn in Köping besuchten, beschreiben auch das Laboratorium als in jeder Hinsicht mustergültig, was auch aus einem Inventarium der Laboratoriumseinrichtung, das in der Akademie der Wissenschaften in Abschrift aufbewahrt wird, hervorgeht.

Den Rest seiner Tage verbrachte Scheele in Köping, rastlos mit chemischer Forschung beschäftigt. Am 11. November 1777 legte er vor dem *Collegium medicum* das gewöhnliche, ihm bisher erlassene Apothekerexamen ab. Einige Tage vorher hatte er mit einem Vortrage über die Art *Mercurius dulcis* auf nassem Wege zu bereiten Sitz und Stimme in der Akademie der Wissenschaften erhalten. In diese gelehrte Gesellschaft war er schon im Jahre 1775 auf Vorschlag von Bergmann gewählt worden.

Es würde uns zu weit führen auf die unglaublich umfassende wissenschaftliche Wirksamkeit Scheeles hier näher einzugehen. Um nur einige Beispiele anzuführen, verdanken wir Scheele die Entdeckung von nicht weniger als acht neuen Grundstoffen, nämlich Sauerstoff (früher als Priestley), Stickstoff (gleichzeitig mit Rutherford und Priestley), Chlor, Fluor (als Fluorwasserstoff), Baryum, Mangan (als Manganoxyd), Wolfram (als Wolframsäure) und Molybdän (als Molybdänsäure). Von anderen wichtigen Verbindungen, die von Scheele entdeckt oder hinsichtlich ihrer Zusammensetzung aufgeklärt sind, mögen angeführt werden: Salpetrige Säure, Schwefelwasserstoff, Arsensäure, Arsenwasserstoff, Cyanwasserstoff und Ammoniak. Unter chemischen Vorgängen, die von ihm aufgeklärt wurden, sind erwähnenswert die Bereitung von Phosphor aus Knochenasche und die Bildung von Kohlensäure bei der Atmung. Der Scharfblick Scheeles auf dem Gebiete der organischen Chemie ist in hohem Grade bemerkenswert, wenn man bedenkt, daß zur Zeit Scheeles der Schlüssel zu unserer Kenntnis von den organischen Verbindungen, die Elementaranalyse und die Molekulargewichtsbestimmung noch unbekannt waren. Dessenungeachtet verdanken wir Scheele die erste Kenntnis von so wichtigen organischen Verbindungen wie der Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure, Äpfelsäure, Milchsäure, Schleimsäure, Harnsäure, Gallussäure und des Glycerins.

Mit Recht ist hervorgehoben worden, daß Scheele kein Systematiker war, sondern daß seine Größe auf dem experimentellen Gebiete sich kundtat. Indem er seinen vielseitigen Geist in vorgezogene, enge Grenzen nicht hineinzwang, hat Scheele die chemische Wissenschaft mit einer Menge neuer, bedeutungsvoller Tatsachen bereichern können, von welchen jede genügen würde ihren Urheber berühmt zu machen.

Scheele, der im allgemeinen eine gute Gesundheit genoß, wurde am Ende des Jahres 1785 von Gicht und Hüftweh angegriffen, und diese Übel vermehrten sich so bedeutend, daß er im Februar folgendes Jahr an das Krankenbett gefesselt wurde. Er starb, wie angegeben, an Schwindsucht, am 21. Mai 1786, im Alter von nur 43 Jahren.

Das sind die Umriss des Lebens und Werkes von Carl Wilhelm Scheele. Der bescheidene Apotheker zu Köping wird nach Jahrhunderten wie heute als einer von den Führern der chemischen Forschung erscheinen, ein Gegenstand der Ehrfurcht und Bewunderung nicht nur um seines Geistes willen, sondern auch wegen der unbestechlichen Liebe zur Wahrheit, die seiner ganzen Wirksamkeit ihr Gepräge aufdrückt. Am besten dienen zu seiner Charakteristik folgende Worte von ihm selbst, die sein ganzes Leben und seine ganze Wirksamkeit mit ihrem reichen Inhalt füllen: *Es ist ja nur die Wahrheit, die wir wissen wollen, und welche Freude bereitet es nicht, sie erforscht zu haben.*

Stahl, Georg Ernst, wurde im Jahre 1660 in Ansbach geboren. Nachdem er an der Universität Jena die Medizin studiert hatte, erhielt er im Jahr 1693 einen Ruf als Professor der Medizin an der Universität Halle. Stahl genoß ein großes Ansehen als hervorragender, akademischer Lehrer und geschickter Arzt. Im Jahre 1716 wurde er zum königlichen Leibarzt ernannt und siedelte nach Berlin über, wo er seine Forschungsarbeit in der Chemie fortsetzte. Die Arbeit Stahls in der Chemie ist von einem wahren, wissenschaftlichen Geist gekennzeichnet, denn wie Scheele war er von einem unbezähmbaren Drang zur Wahrheit geleitet, und er verstand es eine Schule zu bilden von Männern, die von demselben Geist beseelt waren.

Von den vielen Schriften von Stahl sind in erster Linie erwähnenswert: *Zymotechnia fundamentalis seu fermentationis theoria generalis etc.*, *Specimen Becharianum, fundamenta, documenta et experimenta sistens* und *Zufällige Gedanken und nützliche Bedenken über den Streit von dem sogenannten Sulfure.*

Nachdem er während seiner letzten Jahre an Melancholie gelitten hatte, ist Stahl in Berlin im Jahre 1734 gestorben.

V.

Fall der phlogistischen Lehre.

Rückblick auf die phlogistische Periode. — Lavoisier und die phlogistische Hypothese. — Urteile über die chemische Wirksamkeit Lavoisiers. — Die Zeitgenossen und nächsten Nachfolger von Lavoisier. — Hervorragende Persönlichkeiten.

Nach der Entdeckung des Sauerstoffs und nachdem man die Eigenschaften dieses Gases hatte kennen lernen, waren natürlich die Tage der Phlogistontheorie gezählt, wenn auch viele hervorragende Chemiker dieselbe trotz der Widersprüche, zu denen sie führte, nicht aufgaben. Diese Theorie war indessen in die größte Verlegenheit geraten durch die nun schon lange bekannte Tatsache, daß in den Fällen, wo nach der Theorie Phlogiston entweichen sollte, der Rückstand schwerer wurde, statt daß er hätte leichter werden sollen. Insbesondere hätten die recht genauen Versuche über die Verkalkung der Metalle, wenn die erhaltenen Resultate ohne Voreingenommenheit gedeutet worden wären, zu einer richtigen Auffassung dieses Vorgangs führen müssen. Dies um so mehr, als nicht nur die Gewichtsvermehrung, sondern auch die Volumverminderung der bei der Verbrennung verwandten Luft beachtet worden waren. Statt aus diesen unleugbaren Tatsachen auf die Unhaltbarkeit der phlogistischen Hypothese zu schließen, versuchte man sie durch Konstruktion der Theorie anzupassen. Sogar der sonst so scharfsinnige Boyle half sich mit der Annahme, daß ein wägbarer Feuerstoff die Ursache der Gewichtsvermehrung sei. Daß die Anwesenheit der Luft bei der Verkalkung notwendig war, versuchte man in echt naturphilosophischer Weise zu erklären, ohne auch den geringsten Beweis zu liefern, und zwar durch die Annahme,

daß die Luft zur Aufnahme von gebildetem Phlogiston diene. Dieses von Becher und Stahl gefundene Rettungsmittel wurde von den späteren Phlogistikern stets angeführt.

Die Vertreter der phlogistischen Hypothese meinten also, von der Notwendigkeit der Gegenwart der Luft eine richtige Deutung gegeben zu haben, die Gewichtsänderung berücksichtigten sie, dem Beispiel Stahls folgend, überhaupt nicht, sondern betrachteten die Vermehrung des Gewichtes als etwas rein zufälliges. Oder sie konstruierten einige sehr merkwürdige Erklärungen der Erscheinung, wie z. B., daß die Metallkalke loser als die Metalle und deshalb auch schwerer seien. Erstens machte man sich hierbei einer Verwechslung von absolutem und spezifischem Gewichte schuldig, und die Behauptung ist zugleich unrichtig, weil die Metallkalke spezifisch leichter als die Metalle sind, wie schon Boyle in bezug auf einige Metalle hervorgehoben hatte. Dasselbe unwissenschaftliche Gepräge trug die Annahme, daß das Phlogiston negatives Gewicht besitze, wodurch das rückständige Produkt schwerer als die ursprüngliche Substanz sein müsse. Die führenden Chemiker der phlogistischen Periode machten sich zwar so grober Verirrungen nicht schuldig, sie führten statt dessen an, daß die Gewichtsänderung, die sich bei chemischen Reaktionen oft geltend macht, ein Phänomen sei, dessen Erklärung Sache der Physiker sei. In der Tat war es auch dem Physiker *Lavoisier* vorbehalten, die richtige Erklärung sowohl des Verbrennungsphänomens wie einiger anderer damit vergleichbarer Erscheinungen zu geben.

*

Die Größe Lavoisiers liegt einerseits darin, daß er sich von allen Vorurteilen freimachte, andererseits in dem muster-gültigen Gebrauch von wissenschaftlichen Prinzipien bei der Erklärung von chemischen Reaktionen. Ein reichhaltiges Material von wichtigen Tatsachen hatten die Anhänger der phlogistischen Lehre der Nachwelt vererbt. Lavoisier

selbst hat zwar keine wichtigen Entdeckungen chemischer Art gemacht, aber er hat die früheren Erfahrungen von neuen Gesichtspunkten zusammengefaßt, und die richtige Erklärung einiger vorher ganz unrichtig gedeuteten Vorgänge gegeben. Man dürfte nicht irren, wenn man dies seiner gründlichen Kenntnis der Physik und Mathematik zuschreibt, welche seine Stellung der phlogistischen Hypothese gegenüber von vornherein zu der eines Zweiflers machte. Als Physiker mußte Lavoisier in erster Linie die Ursache der Gewichtsänderung suchen, die beispielsweise bei der Verkalkung von Metallen eintrat. Für die Eigenschaften der bei den chemischen Reaktionen entstandenen Verbindungen interessierte er sich dagegen weniger.

Die im eigentlichen Sinne wissenschaftliche Wirksamkeit Lavoisiers fängt im Jahre 1770 an. Die Gegenstände, die er behandelt, zeigen wohl einen mannigfachen Wechsel, ein leitender Gedanke liegt aber allen zugrunde. Sie bezwecken alle ein und dasselbe, das Stürzen der phlogistischen Lehre und die Gründung einer neuen, zufriedenstellenden Verbrennungstheorie, oder was dasselbe ist, die Errichtung eines neuen chemischen Lehrgebäudes. Dasselbe sollte nicht auf den Ruinen des alten Systems errichtet werden, denn dort war alles von oben bis unten morsch, sondern auf einer neuen Grundlage, die von Tatsachen gestützt wurde.

Eine Frage, welche die Chemiker des achtzehnten Jahrhunderts lebhaft beschäftigte, war die, ob die Elemente des *Aristoteles*, Feuer, Luft, Wasser und Erde ineinander verwandelt werden könnten oder nicht. Daß Wasser in Erde umgewandelt werden kann, hielten viele für durchaus bewiesen durch die Beobachtung, daß Wasser nach langdauernder Erhitzung einen „erdigen“ Rückstand hinterläßt. Diese Frage nahm nun Lavoisier zur erneuten experimentellen Prüfung auf. Er erhitzte Wasser während 100 Tagen in einem geschlossenen Glasgefäß, dessen Gewicht vor dem Versuche genau ermittelt war. Nachdem das Gefäß

die 100 Tage erhitzt gewesen war, wurde es von neuem gewogen, und Lavoisier konnte eine bedeutende Gewichtsverminderung feststellen; dieselbe wurde aber von dem Gewicht des Rückstandes genau kompensiert, der bei der Verdunstung des Inhaltes erhalten wurde. Die vermutete Umwandlung von Wasser in Erde konnte also zu einem gewöhnlichen Lösungsphänomen reduziert werden. Das Resultat, das Lavoisier bei diesem Versuche gewonnen hatte, erregte große Aufmerksamkeit, ist aber an und für sich weniger merkwürdig als die benutzte Untersuchungsmethode. Hier schimmert schon die Morgendämmerung des „Zeitalters der quantitativen Analyse“, wie man die Periode der Entwicklungsgeschichte der chemischen Forschung genannt hat, worin wir uns noch befinden.

Etwas später, in den Jahren 1771—72, zeigt Lavoisier mit *Cadet*¹⁾ und *Macquer*²⁾, daß die Zufuhr von Luft bei der Verbrennung des Diamants notwendig ist. Zur selben Zeit zeigt er auch, daß Schwefel und Phosphor bei der Verbrennung beträchtlich an Gewicht zunehmen. Er erklärt diese Gewichtsvermehrung dadurch, daß bei der Verbrennung dieser Körper Luft aufgenommen wird.

Bis dahin war Lavoisier zu der alleinherrschenden phlogistischen Lehre in keine direkte Opposition getreten, durch jede neue Erfahrung wurde er aber von der Unhaltbarkeit dieser Lehre überzeugt. Lavoisier war es aber nicht genug niederzureißen, er wollte auch aufbauen. Hierzu mangelte es ihm aber noch an genügendem Material. Es war in erster Linie das Studium der Gase, besonders der Luftart, die bei der Verbrennung absorbiert wird, wodurch er hoffte, der Lösung des Problems näher zu kommen.

Das Jahr 1773 wurde für Lavoisier besonders reich an bedeutungsvollen Resultaten, die er in seine Arbeit *Opuscules physiques et chimiques* niederlegte. Er schlichtet hier den wissenschaftlichen Streit, der zwischen *Black* und *Meyer*

¹⁾ Seite 99 ff.

entstanden war, und der die Ursache der Kaustizierung des Kalksteins bei der Erhitzung betraf. Meyer hatte die Ansicht verfochten, daß der Kalkstein bei dem Brennen ein bedeutungsvolles Prinzip, die sogenannte *acidum pingue*, aufnehme und dadurch kaustische Eigenschaften erhalte. Black seinerseits behauptete, gestützt auf seine durch Experimente erworbene Erfahrung, daß die Kaustizierung darauf beruhe, daß der Kalkstein durch die Hitze in Kalk und „fixe Luft“, eine von der atmosphärischen Luft verschiedene Gasart, zersetzt werde. Lavoisier entschied zugunsten von Black, indem er mittels seiner quantitativen Bestimmungsmethode zeigte, daß das Brennen weit entfernt dem Kalkstein irgendeinen neuen Bestandteil zuzuführen, statt dessen eine Verminderung des Gewichtes bewirkte.

In der oben erwähnten Arbeit berichtet Lavoisier weiter über seine klassischen Experimente über Zinn und Phosphor. Er zeigt hier, daß wenn Zinn oder Phosphor mit Luft in geschlossenen Gefäßen erhitzt werden, nur ein Fünftel des Luftvolumens sich mit dem Zinn, bzw. dem Phosphor, vereinigt, und wenn dieses Fünftel verbraucht ist, so hört jede weitere Absorption von Luft auf. Lavoisier zeigte auch, daß die übriggebliebenen vier Fünftel des Luftvolumens die Verbrennung nicht unterhalten können, und, was nicht weniger wichtig ist, daß das Gesamtgewicht des Apparates durch den Versuch gar keiner Veränderung unterliegt.

Es handelte sich nun für Lavoisier noch darum, die Eigenschaften desjenigen Bestandteiles der Luft festzustellen, welcher sich mit dem Zinn und dem Phosphor verbindet. Wenn auch das Verdienst, den Sauerstoff entdeckt zu haben, unstreitbar Scheele gebührt, hat doch Lavoisier als erster die Bedeutung dieser Entdeckung völlig verstanden, und er baut dieselbe als Grundstein in seine neue Verbrennungstheorie hinein.

Die Luft war, nach Lavoisier, nicht länger als einfacher Körper, als Element, aufzufassen. Sie ist ein Gemenge von

zwei Gasarten, von denen die eine die Atmung zu unterhalten vermag und die Gewichtsvermehrung der Stoffe, die kalzinieren werden, bewirkt, während die andere Gasart die Atmung nicht unterhalten kann und bei der Kalzinierung deshalb ohne Wirkung ist. Zugleich zeigt Lavoisier, daß die „fixe Luft“ eine Verbindung von Kohlenstoff mit dem neuen Gase, dem Sauerstoff, ist.

Im Jahre 1777 spricht Lavoisier die Ansicht aus, daß die Gase nur als eine besondere Form der flüssigen und festen Materie aufzufassen sind, und daß wahrscheinlich alle Gase kondensiert werden könnten, wenn sie nur genügend abgekühlt oder einem genügend starken Druck ausgesetzt werden könnten. eine Voraussagung, die glänzend erfüllt worden ist. Etwa gleichzeitig dehnt Lavoisier seine Forschungen von dem chemischen auf das physiologische Gebiet aus, und zeigt hier, daß die Atmung nicht, wie vorher angenommen, ein lediglich mechanischer Prozeß ist, sondern ein dem Verbrennungsphänomen völlig analoger Vorgang. Bei der Respiration wird fixe Luft oder Kohlensäure dadurch gebildet, daß der Sauerstoff der eingeatmeten Luft sich mit Kohlenstoff aus dem organischen Gewebe verbindet. Einige Jahre später zeigt Lavoisier, daß bei der Respiration noch ein Stoff, der in den organischen Geweben vorhanden ist, der Wasserstoff, sich mit dem Sauerstoff zu Wasser verbindet. Das Wasser ist also ebensowenig wie die Luft als ein Element anzusehen.

Nachdem Lavoisier ferner gezeigt hatte, daß Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt werden kann, indem Wasserdampf über glühendes Eisen geleitet wird, und daß Wasser erhalten wird, wenn Metalloxyde mittels Wasserstoff reduziert werden, konnte er den entscheidenden Angriff gegen die phlogistische Lehre richten. Gerade die Tatsache, daß bei der Auflösung von Metallen in Säuren Wasserstoff entweicht, hatten die Phlogistiker als Beweis ihrer Theorie angeführt, indem sie den Wasserstoff ohne weiteres mit Phlogiston gleichsetzten. Nachdem Lavoisier

die Zusammensetzung des Wassers aufgeklärt hatte, konnte er zeigen, daß der Wasserstoff ein Zersetzungsprodukt des Wassers ist, dessen anderer Bestandteil, der Sauerstoff, sich mit dem Metalle zu einem Metallkalk verbindet, welcher letzterer dann mit der Säure ein Salz bildet.

Durch diese Erfahrungen, die im Jahre 1783 veröffentlicht wurden, richtete Lavoisier den Todesstoß gegen die phlogistische Lehre, die auch bei diesem Angriff in Trümmer fiel. Der Kampf zwischen Altem und Neuem war kurz, aber heftig. Es galt auch nicht weniger als eine Umwälzung der ganzen geläufigen chemischen Anschauungsweise. Aber nicht nur diese wurde von dieser wissenschaftlichen Revolution getroffen, sondern auch die chemische Terminologie. Die chemische Sprache mußte durchaus reformiert werden, um als Ausdrucksmittel der neuen Auffassung von den chemischen Erscheinungen dienen zu können.

Eine der nächsten Aufgaben Lavoisiers war es also, eine Nomenklatur zu schaffen, bei welcher Arbeit er von den ersten Anhängern der neuen Lehre, wie *Berthollet*¹⁾, *Fourcroy*¹⁾ und *Guyton de Morveau*¹⁾, tatkräftig unterstützt wurde. Diese Arbeit wurde im Jahre 1787 abgeschlossen und war von völlig bahnbrechender Beschaffenheit.

Von dieser Zeit an begann die neue Lehre, *la chimie pneumatique* (die Gas-Chemie), so genannt, weil sie aus Untersuchungen über die Gase hervorgegangen war, allgemeine Anerkennung zu gewinnen. Ihr Siegeslauf war vollendet, nachdem Lavoisier im Jahre 1789 seine *Traité élémentaire de chimie* herausgegeben hatte. Diese, durch Meisterschaft des Stils und gemeinfaßliche Klarheit der Darstellung ausgezeichnete Arbeit, ermöglichte die Anwendung des neuen Lehrsystems beim Unterricht.

Wenige Forscher sind in bezug auf ihre wissenschaftliche Wirksamkeit so verschieden beurteilt worden wie Lavoisier. Einerseits ist er als ein Heros der Wissenschaft

¹⁾ Seite 99 ff.

dargestellt worden, eine Richtung, die in der bekannten Äußerung von *Wurtz* gipfelt: „La chimie est une science française, elle fut constituée par Lavoisier.“ Andererseits hat man versucht, ihn lediglich zum mittelmäßig begabten Plagiator zu machen, zum Liebhaber, der kaum verdiene, Forscher genannt zu werden. So schreibt beispielsweise *Volhard*: „Lavoisier war ein Generalpächter, der in den Mußestunden sich mit physikalischen und chemischen Untersuchungen beschäftigte. Er hat sich viele Entdeckungen zugeeignet, die anderen gehören. Sind nicht alle diese Eingriffe in das Recht anderer ebenso viele Beweise seiner eigenen Unfähigkeit?“ Im selben Sinne äußert sich der Endländer *Thomson*, der Verfasser von *History of chemistry*, der u. a. Lavoisier beschuldigt, sich die Priorität der Entdeckung des Sauerstoffs angemahnt haben. So sonderbar diese Widersprüche erscheinen, so haben sie doch ihren natürlichen Erklärungsgrund. Nichts könnte dem Ruhme von Lavoisier schädlicher gewesen sein als die einseitigen und übertriebenen Lobreden, die ein Teil seiner Bewunderer, vorzugsweise unter seinen Landsleuten, zu seiner Ehre gehalten hat. Da diese panegyrischen Ergüsse oft genug den Charakter von Rauchopfern, der nationalen Eitelkeit dargeboten, angenommen haben, und da bedeutende Verdienste anderer mit absichtlichem Stillschweigen übergangen wurden, haben diese Lobreden eine kräftige, zum Teil berechnete Opposition hervorgerufen. Wie es aber oft geschieht, die eine Übertreibung erzeugt die andere, und diese Opposition hat sich nicht immer innerhalb der Grenzen der Gerechtigkeit gehalten. Eine oberflächliche Betrachtung der Arbeiten von Lavoisier kann zwar einige Vorwürfe gegen die Art seiner Darstellung berechnete erscheinen lassen. Manche Resultate, die Lavoisier in seinen experimentellen Untersuchungen vorlegt, sind nicht neu. So hat beispielsweise *Marggraf* viele Jahre vor Lavoisier die richtige Zusammensetzung des Gipses angegeben; *Scheele* hatte, wenn auch nur qualitativ, die Unrichtigkeit der Annahme,

daß Wasser in Erde umgewandelt werden könne, nachgewiesen; *Cavendish* führte schon im Jahre 1781 die Synthese des Wassers durch Verbrennen von Wasserstoff aus, wenn er auch die Reaktion in phlogistischem Sinne deutete, usw.

Denen, die Lavoisier verteidigt haben, ist es indessen nicht schwer geworden, aus seinen Arbeiten Zitate vorzubringen, die Lavoisier von der Beschuldigung, ein Plagiator zu sein, reinwaschen. Als eine Entschuldigung der Widersacher Lavoisiers und derjenigen, die ihm jenes wenig ehrenvolle Epiteton gegeben haben, kann gesagt werden, daß Lavoisier nicht gerade einen besonders großen Eifer zeigte, die Verdienste anderer Forscher hervorzuheben. Das ausgeprägte Selbstbewußtsein, das zuweilen aus den Schriften Lavoisiers hervorleuchtet, macht uns sein Bild nicht ganz so sympathisch, wie dasjenige seines großen Zeitgenossen, des sanften, anspruchslosen Scheele.

Nach dem Tode Lavoisiers im Jahre 1794 hatte die chemische Forschung in **Frankreich** in den drei genannten Chemikern *Berthollet*, *Fourcroy* und *Guyton de Morveau*¹⁾ ihre hervorragendsten Vertreter. Auch der jüngere *Vauquelin*¹⁾ ist zu erwähnen. Alle waren aus der Schule Lavoisiers hervorgegangen und deshalb eifrige Antiphlogistiker.

In **Deutschland** machte sich die Reaktion gegen die phlogistische Lehre weit weniger geltend als in dem Vaterlande von Lavoisier. Erst im letzten Jahrzehnte des achtzehnten Jahrhunderts fingen die Anhänger der phlogistischen Lehre zu weichen an und sich der neuen Anschauungsweise anzuschließen. Unter den eifrigsten Anhängern der antiphlogistischen Lehre in Deutschland sei in erster Linie *Klaproth*¹⁾ erwähnt, welcher im Jahre 1792 nach einer genauen Prüfung der bei der Verbrennung und Verkalkung vorgehenden Prozesse sich den Ansichten von Lavoisier offen anschloß. Dem Beispiele Klaproths folgten viele andere deutsche Chemiker.

¹⁾ Seite 99 ff.

Unter den führenden Geistern, die zur Zeit von Lavoisiers Angriff auf die phlogistische Hypothese in **England** wirkten, hat sich nur Black, und auch er erst im Jahre 1791 der Auffassung Lavoisiers angeschlossen; Priestley und Cavendish waren bis zu ihrem Tode eifrige Phlogistiker, Dasselbe gilt von den in **Schweden** wirkenden Chemikern Bergman und Scheele, die vom Tode ereilt wurden, ohne durch die Entdeckungen Lavoisiers von der Unhaltbarkeit der phlogistischen Hypothese überzeugt zu werden. Der deutsche Chemiker *Richter*¹⁾, der Franzose *Proust*²⁾ und der Engländer *Dalton*³⁾ können zwar, obgleich etwas jünger, zu den Zeitgenossen von Lavoisier gerechnet werden; die bedeutungsvolle Wirksamkeit dieser drei Chemiker gehört jedoch einem folgenden Zeitalter an.

Hervorragende Persönlichkeiten dieser Epoche.

Berthollet, Graf *Claude Louis*, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1748 in Talloire in Savoyen geboren. Er gehörte einer ursprünglich französischen Familie an, die während der Religionskämpfe ausgewandert war. In Turin Doktor der Medizin geworden, begab sich Berthollet nach Paris, wo er im Jahre 1772 der Leibarzt des Herzogs von Orléans wurde. Er widmete sich hier auch dem Studium der Chemie und erwarb sich bald auf diesem Gebiete eine bemerkenswerte Stellung. Während der großen Revolution, als Frankreich genötigt war, innerhalb des Landes einige Artikel zu verfertigen, die früher eingeführt wurden, war Berthollet unermüdlich beschäftigt, neue Hilfsmittel zu entdecken. Unter seiner Leitung wurden die Salpeterbereitung und die Stahlfabrikation wie viele andere Industrien zu einer früher ungeahnten Höhe entwickelt. Im Jahre 1794 wurde er Professor der Chemie an der Normal- und polytechnischen Schule in Paris, in welcher Stellung Berthollet eine sehr ersprießliche Wirksamkeit ausübte, während sein organisatorisches Talent für so wichtige Aufträge wie die Reisen mit Napoleon nach Italien und Ägypten in Anspruch genommen wurde. Berthollet hatte später die höchsten Ehrenplätze inne, sowohl während des Kaisertums wie nach der Restauration.

¹⁾ Seite 153. ²⁾ Seite 165. ³⁾ Seite 166.

Obwohl im Anfang Anhänger der phlogistischen Lehre, erklärte sich Berthollet im Jahr 1786 offen als Anhänger der von Lavoisier verteidigten antiphlogistischen Auffassung. Am Ende seines Lebens zog sich Berthollet nach dem Dorfe Arceuil nahe Paris zurück, wo sein Haus eine Zeitlang der Sammelplatz vieler der hervorragendsten Gelehrten der Zeit war, welche unter seinem Vorsitz eine gelehrte Gesellschaft, „Société d'Arceuil“ bildeten. Die Experimentaluntersuchungen von Berthollet sind von besonders großer Tragweite und Bedeutung. Hierher ge-



Claude Louis Berthollet.

hören seine Untersuchungen über die quantitative Zusammensetzung des Ammoniakgases, über die Blausäure, die Entdeckung von Knallsilber, die Bereitung von Kaliumchlorat und die praktische Verwendung von Chlor als Bleichmittel. Von durchgreifender Bedeutung sind die Untersuchungen von Berthollet über die chemische Affinität und die Abhängigkeit der Verwandtschaft von der Löslichkeit, Masse usf. der Stoffe.

Von den vielen wissenschaftlichen Abhandlungen Berthollets sind zu erwähnen: *Elements de l'art de la teinture* (1791), *Descriptions du blanchiment des toiles par l'acide muriatique oxygéné* (1775), *Recherches sur les lois de l'affinité* (1801) und *Essai de statique chimique*. Seine letzten Jahre

verbrachte Berthollet in Zurückgezogenheit, von dem Selbstmord eines Sohnes tief betrübt. — Er starb im Jahre 1822.

Cadet de Vaux, Antoine Alexis, französischer Apotheker und Chemiker, wurde im Jahre 1743 geboren. Cadet hat sich um eine rationellere Weinbereitung große Verdienste erworben. — Er starb in großer Armut im Jahre 1828.

Fourcroy, Antoine François, französischer Chemiker, wurde in Paris im Jahre 1755 geboren. Als Professor der Chemie am Jardin des Plantes wirkte er seit 1784 als eifriger Verfechter der antiphlogistischen Lehre. Einer verarmten Familie angehörend mußte er unter den drückendsten Umständen sich die Mittel zum Studium verschaffen. Seine Arbeiten auf medizinischem und chemischem Gebiet verschafften ihm die Ehre, schon im Jahre 1785 in die französische Akademie aufgenommen zu werden. Nachdem er 1792 Mitglied des Nationalkonventes, dann des Wohlfahrtsausschusses und des Rates der Ältesten gewesen war, wurde Fourcroy im Jahre 1801 Minister des Allgemeinen Unterrichts und erwarb sich während dieser Zeit große Verdienste durch die Begründung der *Ecole polytechnique* und *Ecole normale*, und durch die Organisation des *Institut de France*. Die größte Bedeutung Fourcroys für die chemische Forschung liegt auf dem Gebiete seiner organisatorischen Tätigkeit. Seine Experimentaluntersuchungen sind zwar von keiner größeren, allgemeinen Bedeutung, sie können aber als Vorarbeiten auf einer Menge Gebiete, besonders in der physiologischen Chemie, ihren Platz behaupten. Die meisten Untersuchungen von Fourcroy sind in den *Annales de Chemie*, die von ihm, Berthollet und Guyton de Morveau gemeinschaftlich begründet wurde, veröffentlicht.

Fourcroy starb in Paris im Jahr 1809.

Klaproth, Martin Heinrich, deutscher Chemiker, wurde im Jahr 1743 in Wernigerode geboren. Er begann seine Laufbahn an einer Apotheke in Berlin bei dem als erfahrenen Chemiker bekannten Apotheker *Valentin Rose*, nach dessen Tode Klaproth die Apotheke übernahm. Bei der Errichtung der Universität Berlin wurde Klaproth, obgleich 67 Jahre alt, Professor der Chemie im Jahr 1810.

Klaproth zeichnet sich durch die Genauigkeit seiner Untersuchungen aus; die quantitative Analyse ist durch ihn wesentlich entwickelt worden und schuf einen noch festeren Boden der antiphlogistischen Lehre von Lavoisier. Seine Untersuchungen auf dem analytischen Gebiete sind überhaupt als mustergültig zu betrachten. Seine Bestrebungen zielten haupt-

sächlich auf die Verbesserung der analytischen Methoden, um die Zusammensetzung der Mineralien festzustellen. Die Schärfe seiner Beobachtungen führte ihn zur Entdeckung mehrerer neuer Grundstoffe, wie Uran, Zirkonium, Titan und Cer (letzteres gleichzeitig mit und unabhängig von Berzelius und Hisinger). Die zahlreichen, in einer Menge zeitgenössischen Zeitschriften zerstreuten Abhandlungen von Klaproth, wurden von ihm selbst zu dem aus fünf Bänden bestehenden Werke: *Beiträge zur chemischen Kenntnis der Mineralkörper* (1795—1810) gesammelt, wozu als sechster Band die im Jahr 1815 herausgegebene Arbeit hinzukam: *Chemische Abhandlungen gemischten Inhalts*. Klaproth starb im Jahr 1817.

Lavoisier, Antoine Laurent, französischer Physiker, wurde am 26. August 1743 geboren. Sohn eines angesehenen Advokaten, erhielt er eine sehr gute Erziehung und erwarb sich



Antoine Laurent Lavoisier.

besonders in der Mathematik und Physik sehr gediegene Kenntnisse. Aber auch die Chemie, wo Rouelle sein Lehrer war, die Botanik, Mineralogie, Geologie, Meteorologie und Anatomie, lagen innerhalb des Bereiches von Lavoisiers Forschungseifer.

Schon ganz jung, genoß Lavoisier wegen seiner großen und vielseitigen Bildung so großes Ansehen, daß er nicht mehr als 25 Jahre alt als Adjoint in die französische Akademie aufgenommen wurde zunächst auf Grund einer preisgekrönten Abhandlung über die zweckmäßigste Art die Straßenbeleuchtung einer großen Stadt anzuordnen. Auch andere Entdeckungen, über deren bahnbrechende Bedeutung sich Lavoisier selbst völlig klar war, wurden für seine zukünftige Tätigkeit entscheidend. Weil er indessen einsah, daß seine Vermögensumstände ihm nicht erlauben würden, wissenschaftliche Forschung zu betreiben, suchte und erhielt er die einträgliche Beschäftigung als Generalpächter. Er ging eine vorteilhafte Ehe ein, und sein Heim wurde der Sammelplatz von allem, was in Paris damals in der Welt der Wissenschaft hervorragend war. Die rastlose Tätigkeit, die Lavoisier auf wissenschaftlichem Gebiete ausübte, verhinderte seine Tätigkeit als Generalpächter nicht. Unter seinen Kollegen war Lavoisier einer der Tätigsten und ihm wurden immer die bedeutsamsten Aufträge anvertraut; insbesondere wurde seine Tätigkeit überall dort in Anspruch genommen, wo wissenschaftliche Kenntnis in Verbindung mit praktischer Tüchtigkeit erfordert wurden.

Dieser nützlichen Tätigkeit machte indessen der Nationalkonvent ein Ende. Selbst der Urheber einer Revolution der chemischen Anschauungsweise, fiel Lavoisier der großen französischen Revolution zum Opfer. Er mußte für alle diejenigen Mißbräuche büßen, deren viele Generalpächter sich schuldig gemacht hatten. Vor das Revolutionstribunal gestellt, wurde er zum Verlust des Lebens und zur Konfiskation seiner Güter verurteilt. Das Urteil wurde noch am selben Tage, am 8. Mai 1795, vollstreckt.

Maquer, Peter Joseph, französischer Chemiker, wurde im Jahr 1718 geboren. Als Professor der Chemie an Jardin des Plantes übte er eine bedeutungsvolle Lehrtätigkeit aus. Auch durch seine Lehrbücher, *Eléments de chymie théorique* und *Eléments de chymie pratique*, hat Maquer zum Verbreiten von chemischer Kenntnis mitgewirkt. Seine selbständigen Arbeiten gehören in überwiegendem Grad dem Gebiet der angewandten Chemie an, wo er Beiträge von großer Bedeutung geliefert hat, besonders die Färbung und die Darstellung von Porzellan betreffend. — Er starb im Jahr 1784.

Guyton de Morveau, Freiherr Louis Bernhard, französischer Chemiker, wurde in Dijon im Jahr 1737 geboren. Er widmete sich zuerst juristischen Studien, verließ aber im Jahre

1783 die Jurisprudenz, um ganz und gar zur Chemie überzugehen, in deren Geschichte er durch die auf Anregung von Lavoisier mit Berthollet und Fourcroy gemeinsam unternommene Arbeit über neue chemische Nomenklatur hervortrat. Nachdem er einige Jahre die Professur der Chemie an der *Ecole polytechnique* innegehabt hatte, wurde er im Jahre 1799 Generaladministrator der Münze. — Er starb im Jahre 1816.

Vauquelin, Louis Nicolas, französischer Chemiker, war in Hébertot in der Normandie im Jahre 1763 geboren. Er begann seine Laufbahn an einer Apotheke in Rouen, kam aber 1780 nach Paris, wo er eine Stellung in der Apotheke Fourcroys erhielt. Bald wurde er Mitarbeiter Fourcroys, in welcher Stellung er durch seine glänzenden Untersuchungen in kurzer Zeit viele Aufmerksamkeit erregte. Nach Fourcroys Tode wurde er dessen Nachfolger als Professor an der medizinischen Fakultät. Die Arbeiten von Vauquelin, die sich durch ungewöhnliche Genauigkeit auszeichnen, beziehen sich auf eine Menge verschiedener Gebiete der Chemie. Seine Untersuchungen von Mineralien trugen zur Entwicklung der Mineralogie kräftig bei und führten zur Entdeckung von neuen Grundstoffen wie von Chrom und Beryllium. Auch in der organischen Chemie hat Vauquelin wichtige Beiträge geliefert; wir verdanken ihm die Entdeckungen unter anderem der Chinasäure, des Asparagins und der Kampfersäure. Seine Abhandlungen sind größtenteils in den *Annales de Chimie*, zu deren Herausgebern Vauquelin seit 1791 gehört, publiziert. — Er starb in Paris im Jahre 1827.

VI.

Die chemische Forschung nach Lavoisier bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts.

1. Die Atomtheorie von Dalton. — Die weitere Entwicklung der Atomtheorie von Dalton. — Das Gesetz von Dulong-Petit. — 2. Die elektrochemischen Theorien von Davy und Berzelius. — Das dualistische System von Berzelius. — Chemische Nomenklatur und Zeichen. — Ältere Radikaltheorie. — 3. Reaktion gegen den Dualismus. — Kerntheorie. — Typentheorie. — Der Kampf zwischen der dualistischen und der unitarischen Auffassung. — Modifikationen der Radikaltheorie. — Entwicklung der Typentheorie. — 4. Verschmelzen der Radikaltheorie mit der Typentheorie. — Theorie der mehrbasischen Säuren. — Die Resttheorie von Gerhardt. — Versuche zur Klassifikation. — Die Atomgewichte von Gerhardt und die Feststellung der Begriffe Molekül, Atom und Äquivalent. — Die Untersuchungen von Wurtz, Hofmann und Williamson. — Die Typentheorie von Gerhardt. — Hervorragende Persönlichkeiten der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts.

1. **Die Atomtheorie von Dalton.** Der Gedanke, daß die kleinsten Teilchen der Stoffe aus Atomen bestehen, wurde schon im Altertum von Demokrit ausgesprochen und ist dann während der Entwicklung der Chemie immer von neuem in den Vordergrund getreten. Hierdurch wurde aber kein Grund zu einer wirklich chemischen Atomlehre gelegt. Die Korpuskulartheorie von Boyle war eine interessante Spekulation, sie mündete aber in die Annahme einer Urmaterie aus und übte daher keinen weiteren Einfluß auf die Entwicklung der chemischen Wissenschaft aus. Erst als Erfahrungen die Annahme von der Existenz der Atome stützten, konnte von der Begründung einer chemischen Atomtheorie die Rede sein. Das Verdienst, eine solche Theorie aufgestellt zu haben, gebührt dem genialen, englischen Chemiker Dalton¹⁾. Bevor diese

¹⁾ Seite 149 ff.

chemische Großtat ausgeführt werden konnte, mußte der Begriff der chemischen Proportion festgestellt werden. Unter chemischer Proportion versteht man das Verhältnis, worin einfache Körper sich zu zusammengesetzten vereinigen. Ein wichtiger Teil dieser Arbeit war vor Dalton von zwei anderen Chemikern, dem Deutschen Richter¹⁾ und dem Franzosen Proust¹⁾ geleistet worden. Richter muß als der genannt werden, der die Lehre von den chemischen Proportionen begründet hat, wenn er sich auch der Tragweite seiner Untersuchungen nicht bewußt war. Zu der Zeit, wo Dalton seine Atomtheorie vorlegte, scheint dieser Forscher die fragliche Arbeit von Richter nicht gekannt zu haben. Proust gebührt die Ehre, als Erster gezeigt zu haben, daß das Verhältnis, worin zwei Körper sich zu einer chemischen Verbindung vereinigen, konstant ist, und daß, wenn ein Element mehrere Verbindungen mit derselben Menge eines anderen bildet, sich die Menge des ersten nach einfachen rationalen Zahlverhältnissen ändert.

Daltons bekanntes Gesetz der multiplen Proportionen, das sich dem zweiten Satz von Proust eng anschließt, diente ihm zur Grundlage seiner Atomlehre. Diese legte er in ihren Grundzügen schon in den Jahren 1802—03 dar, die ausführliche Darstellung der neuen Theorie aber gab Dalton erst im Jahre 1808 im ersten Bande seiner Arbeit „*System of chemistry*“. Dieses Jahr kann daher der Zeitpunkt genannt werden, von dem an die ganze chemische Welt die epochemachende Entdeckung Daltons verwerten konnte. Die erste Beobachtung, die Dalton einen festen Stützpunkt für seine Atomtheorie gab, betraf die Zusammensetzung des ölbildenden Gases (Äthylen) und des leichten Kohlenwasserstoffes (Methan). Aus den Analysen dieser beiden Gase fand nämlich Dalton, daß, auf dieselbe Menge Kohlenstoff bezogen, das Methan doppelt soviel Wasserstoff wie das Äthylen enthält, also im Verhältnis 2:1. Diese Regelmäßigkeit veranlaßte ihn, auch andere Kohlenstoffverbindungen in der-

selben Weise zu untersuchen, wie Kohlenoxyd und Kohlensäure, und er fand, daß die Sauerstoffmengen, die in diesen Verbindungen mit einer und derselben Menge Kohlenstoff verbunden waren, sich wie 1 : 2 verhielten. Die Überzeugung, daß diese einfachen Zahlenverhältnisse eine bestimmte Gesetzmäßigkeit anzeigten, bedurfte kaum noch der Bestätigung, welche Dalton später in dem einfachen Zahlenverhältnis zwischen Stickstoff und Sauerstoff in Stickoxydul, Stickoxyd, salpetriger Säure und Salpetersäure, und weiter endlich bei den Sauerstoffverbindungen des Schwefels fand. Dalton hatte also gezeigt, daß, wenn verschiedene Mengen von einem Elemente sich mit einer und derselben Menge eines anderen Elementes verbinden, so verhalten sich die Mengen des ersteren zu einander wie einfache ganze Zahlen. Das Gesetz der multiplen Proportionen war gefunden und aus experimentellen Resultaten hergeleitet, die jedoch wegen der mangelhaften analytischen Hilfsmittel dieser Zeit an Genauigkeit viel zu wünschen übrig ließen. Dalton blieb indessen bei diesem an und für sich so wichtigen Resultate nicht stehen, sondern er suchte die Erklärung der gefundenen einfachen Gesetzmäßigkeit zu finden. Er fand dieselbe in der atomistischen Hypothese. Diese Hypothese, die besagt, daß die Körper aus endlichen, nicht weiter teilbaren Teilchen, den Atomen, bestehen, erklärte in befriedigender Weise die Tatsachen, die im Gesetz der multiplen Proportionen ihren Ausdruck finden. Man brauchte nur statt der relativen Werte absolute einzusetzen, d. h. anzunehmen, daß im Kohlenoxyd ein Atom Kohlenstoff mit einem Atom Sauerstoff vereinigt sei usw. Auf der Basis dieser Annahmen legte Dalton seine Atomtheorie vor, deren Kern aus folgenden zwei Sätzen besteht:

1. Jedes Element besteht aus gleichartigen Atomen von unveränderlichem Gewicht.

2. Die chemischen Verbindungen entstehen derart, daß Atome verschiedener Elemente sich miteinander in möglichst einfachen Zahlverhältnissen vereinigen.

Die übrigen Spekulationen von Dalton, die Atome betreffend, die er der Einfachheit halber als kugelförmig betrachtete, wie seine Annahme, daß die Atome einander nicht berühren, sondern von einer Wärmesphäre getrennt seien, sind den beiden oben angeführten Sätzen gegenüber von sehr untergeordneter Bedeutung. Sie haben die folgende Entwicklung der chemischen Atomtheorie in keiner Weise beeinflußt.

Der von Dalton ausgesprochene Satz, daß das Atomgewicht einer Verbindung gleich sei der Summe der Atomgewichte der sie bildenden Elemente, erscheint uns jetzt völlig selbstverständlich, aber viele Chemiker zur Zeit Daltons waren der Ansicht, daß die Wärementwicklung bei der Bildung einer chemischen Verbindung mit Substanzverlust verbunden sei.

Auf die oben angeführten Prämissen gestützt, versuchte Dalton die relativen Atomgewichte festzustellen. Er ging dabei vom Wasser aus, der einzigen bekannten Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff (das Wasserstoffsperoxyd war noch unbekannt) und stellte das Mengenverhältnis der beiden eingehenden Elemente fest. Dalton nahm dann die gefundene Menge Wasserstoff als Einheit an und bezog darauf sowohl den Sauerstoff wie andere Elemente. Weil die von Dalton benutzten Analysemethoden mit großen Fehlerquellen behaftet waren, konnte er bei seinen Bestimmungen natürlich keine genauen Werte erhalten, aber das Prinzip, die Verbindungsgewichte der Elemente durch Angaben ihrer Atomgewichte festzustellen, ist doch das unstreitbare Verdienst Daltons.

Dalton suchte auch eine chemische Zeichensprache zustande zu bringen in der Absicht, die atomistische Zu-

sammensetzung der chemischen Verbindungen anschaulich zu machen. Die Atome der Elemente wurden von ihm durch verschiedene, kreisförmige Symbole ausgedrückt, Sauerstoff durch ein \odot , Wasserstoff durch \ominus , Stickstoff durch \oplus und Schwefel durch \oplus , und diese Zeichen, neben einander gestellt sollten den Bau der chemischen Verbindungen ausdrücken. Das Symbol des Wassers wurde in folgender Weise gezeichnet: $\odot\ominus$, dasjenige des Ammoniaks $\odot\oplus$, Schwefelsäure $\odot\oplus\oplus$ usw.

Die weit einfachere Zeichensprache, die einige Jahre später von Berzelius eingeführt wurde, verdrängte indessen die Symbole von Dalton bald vollständig.

Die weitere Entwicklung von Daltons Atomlehre. Die von Dalton aufgestellte Atomtheorie wurde im allgemeinen günstig aufgenommen, obwohl von einzelnen Seiten Stimmen laut wurden, die dieselbe unbefriedigend fanden und außerdem anderen das Verdienst dessen zuschrieben, was sie in derselben als richtig betrachteten. Die Stellung, welche drei der berühmtesten Chemiker der Zeit, *Gay-Lussac*¹⁾, *Davy*¹⁾ und *Berzelius*¹⁾, einnahmen, muß näher beleuchtet werden, um ihren Einfluß auf die Entwicklung der Atomlehre auseinanderzusetzen. Von durchgreifendem Einfluß auf die Entwicklung der Atomlehre sind die Untersuchungen von *Gay-Lussac* über die Gasgesetze und die unermüdlischen Bestrebungen von *Berzelius* durch vielseitige und gründliche Versuche die wirklichen Atomgewichte festzustellen und dadurch der Atomlehre eine feste Grundlage zu verschaffen.

Gay-Lussac, der durch seine epochemachenden Untersuchungen über die Volumverhältnisse der Gase zur Entwicklung der Atomlehre soviel beitragen sollte, stellte sich Daltons Annahme von Atomgewichten gegenüber zweifelnd.

¹⁾ Seite 149 ff.

Er meinte, man könne durch Analyse und Synthese nur festsetzen, in welchem „r a p p o r t“ ein Element, z. B. Wasserstoff, Stickstoff oder Schwefel zu einem anderen, z. B. Sauerstoff stehe.

Schon im Jahre 1805 hatte Gay-Lussac, in Gemeinschaft mit *Alexander von Humboldt*¹⁾, die Beobachtung gemacht, daß zwei Volume Wasserstoff mit einem Volumen Sauerstoff Wasser bilden. Durch eine Untersuchung, deren Resultate am Ende des Jahres 1808 in *Mémoires de la soc. d'Arcueil* veröffentlicht wurden, zeigte Gay-Lussac, daß ähnliche einfache Volumverhältnisse immer gelten, wenn gasförmige Körper sich verbinden, und ferner, daß, wenn der entstandene Körper ebenfalls gasförmig ist, auch sein Volumen in einfachem Verhältnis zu den Volumen der Komponenten steht. Er zeigte, daß dies der Fall ist, z. B. bei der Bildung von zwei Volumen Kohlensäure aus einem Volumen Kohlenoxyd und einem Volumen Sauerstoff, bei der Verbindung von einem Volumen Chlor mit einem Volumen Wasserstoff zu zwei Volumen Chlorwasserstoff, von drei Volumen Wasserstoff mit einem Volumen Stickstoff zu zwei Volumen Ammoniak, usw. Gay-Lussac, der schon früher geneigt war, auf Grund desgleichen Verhaltens der Gase gegen Druck- und Temperaturveränderungen auf einen gleichen molekularen Zustand derselben zu schließen, formulierte nun die Resultate seiner Versuche in folgendem, wichtigem Satze: Die Volumen einfacher oder zusammengesetzter Gase, also ihre Dichten, sind proportional ihren empirisch gefundenen Verbindungsgewichten oder rationellen Multiplen derselben. Gay-Lussac beabsichtigte sein Volumengesetz in Einklang zu bringen mit der atomistischen Hypothese, er vermochte aber nicht die theoretischen Schwierigkeiten zu überwinden, die trotz der Einfachheit der Volumverhältnisse sich dabei darboten, sondern er blieb bei seinem rein empirischen Standpunkt stehen.

¹⁾ Seite 149 ff.

Die scheinbar so nahe liegende Annahme, daß gleiche Volumen verschiedener Gase eine gleich große Anzahl von kleinsten Teilchen enthalten, daß aber dieselben bei den Gasen nicht isoliert, sondern zu zweien vereinigt vorkommen, war schon im Jahre 1811 von *Avogadro*¹⁾ aufgestellt worden. Aus dieser Annahme folgt, daß es die Massen der Teilchen sind, d. h. ihre Molekulargewichte, die den Gasdichten proportional sind. Diese selbständig auftretenden Teilchen wurden von Avogadro *molécules intégrantes*, die Bestandteile derselben aber, die Atome, *molécules élémentaires* genannt. So fruchtbringend dieser Gedankengang sich später zeigen sollte, und so einfach man mit Hilfe desselben die Gasvolumen auf Atome und umgekehrt beziehen konnte, der gesunde Kern dieser Spekulation wurde von der Mitwelt so gut wie nicht beachtet.

Dalton war dem von Gay-Lussac nachgewiesenen Gesetz gegenüber so vorbehaltlos, daß er sogar an der Richtigkeit der Resultate zweifelte. Auch seine Landsleute *Davy* und *Thomson*²⁾ legten der gefundenen Gesetzmäßigkeit keinerlei Bedeutung für die atomistische Anschauungsweise bei, oder gaben den Volumverhältnissen eine ganz unrichtige Deutung. So nahmen sie an, daß ein Volumen Wasserstoff nur halb soviel Atome wie ein gleiches Volumen Sauerstoff enthielte.

Davy verhielt sich ebenfalls der Atomtheorie seines Landsmannes Dalton gegenüber äußerst skeptisch. Er wollte die Atomgewichte Daltons nicht als solche gutheißen, sondern er betrachtete sie nur als „Proportionszahlen“ der Elemente, weil er der Ansicht war, daß es der Bestimmung von Atomgewichten an jeder sicheren Grundlage mangelte.

Berzelius aber, der die von Dalton vorgelegte Atomlehre völlig würdigte, betrachtete das Studium der

¹⁾ Seite 149 ff.

chemischen Proportionen und das Feststellen der Gesetze, welche dieselben regeln, als seine wissenschaftliche Hauptaufgabe. Der Ausgangspunkt seiner Versuche und der aus denselben gezogenen Schlüsse war der Sauerstoff, das Element, das seit den epochemachenden Untersuchungen Lavoisiers der Mittelpunkt war, um den sich alle chemische Forschung drehte. Schon durch seine ersten veröffentlichten Untersuchungen lieferte Berzelius wichtige Beweise für das Vorhandensein von chemischen Proportionen bei den Sauerstoffverbindungen der Elemente. Von der größten Bedeutung für die gesunde Entwicklung der Atomlehre war die Arbeit, die Berzelius mit bewunderungswerter Energie durchführte, durch die Analyse von zusammengesetzten Körpern die relativen Atomgewichte sowohl von diesen wie von ihren einfachen Bestandteilen kennen zu lernen. In den Jahren 1812—16 untersuchte Berzelius die Oxydationsprodukte der Mehrzahl der bekannten Metalloide und Metalle, und stützte, indem er die Zusammensetzung dieser Verbindungen genau ermittelte, das von Dalton aufgestellte Gesetz der multiplen Proportionen in hohem Grade. Berzelius ging hierbei als wahrer Naturforscher zu Werke. Er sammelte zuerst eine bedeutende Menge Tatsachen, die dann, in rationeller Weise zusammengestellt, eine Entwicklung der atomistischen Anschauungsweise ermöglichten.

In dem Volumgesetz von Gay-Lussac sah Berzelius eine gute Stütze dieser Betrachtungsweise. Auf die hier entdeckte Gesetzmäßigkeit nahm er Bezug bei seinen Berechnungen der Anzahl der Atome, die in einer chemischen Verbindung enthalten sind, und also auch bei dem Festsetzen der Atomgewichte. Die Volumtheorie von Berzelius ist ein Versuch, das Volumgesetz von Gay-Lussac an die Atomtheorie von Dalton anzuknüpfen. Berzelius geht dabei von der Voraussetzung aus, daß bei jedem einfachen Körper, in Gasform gebracht, ein Volumen auch einem Atom entspricht. Diese Teilchen werden von Berzelius

Volumatome genannt. Wenn auch Berzelius selbst davon überzeugt war, daß diese Betrachtungsweise ein großer Fortschritt gegen die Korpuskulartheorie von Boyle war, in welcher kein Bezug auf die Volumverhältnisse genommen wurde, so sah er doch klar, daß die Anwendung der Volumtheorie begrenzt war. Die bei den Gasen gewonnene Erfahrung auf die festen Körper zu übertragen, schien Berzelius bedenklich. In dem Volumgesetz hatte er indessen ein wichtiges Hilfsmittel gefunden um die atomistische Zusammensetzung einer Menge Verbindungen zu bestimmen und um aus dem gefundenen Atomverhältnisse die Atomgewichte einer großen Anzahl von Elementen herzuleiten.

Gesetz von Dulong-Petit. *Dulong*¹⁾ und *Petit*¹⁾ hatten aus einigen Versuchen, die zwar mit einem Material ausgeführt worden waren, das in bezug auf Reinheit viel zu wünschen übrig ließ, den Schluß gezogen, daß die spezifische Wärme vieler fester Körper, insbesondere die der Metalle, ihren Atomgewichten nahe proportional sei. Obgleich ihr Verfahren in bezug auf Genauigkeit hochgestellten Anforderungen nicht entsprach, zeigte es sich bei späteren, mit großer Präzision ausgeführten Bestimmungen daß der von Dulong und Petit gezogene Schluß im ganzen berechtigt war. Die Gesetzmäßigkeit, die wenigstens bei den meisten metallischen Grundstoffen gilt, faßten sie folgenderweise zusammen: Die Atome der einfachen Stoffe haben dieselbe Wärmekapazität, oder die Atomwärmen der Elemente sind gleich groß. Die Abweichungen von dieser Regel, die sich bei mehreren Metalloiden geltend machten, haben erst in späterer Zeit ihre Erklärung gefunden in der großen Veränderlichkeit von der spezifischen Wärme dieser Elemente. Die Bedeutung des Gesetzes von Dulong-Petit für das Feststellen der Atomgewichte der Elemente war offenbar. Man brauchte

¹⁾ Seite 149 ff.

Ekecrantz, Chemie.

ja nur die spezifische Wärme eines Grundstoffes zu ermitteln, um aus derselben und der konstanten Atomwärme, d. h. dem Produkte von spezifischer Wärme und Atomgewicht, das betreffende Atomgewicht unmittelbar berechnen zu können. Sie gingen auch sofort ans Werk, das Gesetz zu diesem Zwecke zu verwenden, und wurden dabei zu dem später als richtig erkannten Schlusse geführt, daß einige der Atomgewichtszahlen, die Berzelius für einige Metalle ermittelt hatte, halbiert werden müßten.

2. Die elektrochemischen Theorien von Davy und von Berzelius. Die Erkenntnis, daß zwischen elektrischer Kraft und chemischen Vorgängen eine nahe Beziehung besteht, kam im Anfang des neunzehnten Jahrhunderts zur Reife, nachdem es *Nicholson*¹⁾ und *Carlisle* gelungen war, mit Hilfe des elektrischen Stromes das Wasser in seine Bestandteile, und später Berzelius und *Hisinger*¹⁾, in analoger Weise, Salze in Säuren und Basen zu zersetzen. Als die Frucht der Menge von Beobachtungen über die Einwirkung des elektrischen Stromes auf chemische Verbindungen und über das Auftreten von elektrischer Spannung bei chemischen Vorgängen, legte *Davy* im Jahre 1807 seine elektrochemische Theorie vor, die er durch langjährige, geistvoll angelegte Versuche fest gestützt zu haben glaubte. Als Ausgangspunkt diente ihm die experimentell festgestellte Tatsache, daß heterogene, chemisch reaktionsfähige Stoffe, wie Schwefel und Kupfer, wenn sie in Berührung kommen, entgegengesetzt elektrisch werden. Wärme vermehrt die elektrische Spannung, dieselbe verschwindet aber, wenn die beiden Stoffe sich miteinander chemisch verbinden. Letzteres Verhalten wurde von *Davy* als ein Ausgleich des elektrischen Gegensatzes gedeutet. Je größer dieser Gegensatz vor der Vereinigung der verschiedenen Stoffe ist, desto größer muß auch die chemische Verwandtschaft sein. Durch Zufuhr von Elektrizität zu den Verbindungen erhalten

¹⁾ Seite 149 ff.

die Bestandteile dieselbe Art von Elektrizität wieder, die sie vor der Vereinigung hatten. Die positiven Bestandteile gehen zum negativen Pole und die negativen Bestandteile zum positiven Pole. Davy nahm an, daß die chemischen Verwandtschaftserscheinungen und die elektrischen Vorgänge von derselben Quelle herrühren. Für die elektrochemische Theorie von Davy charakteristisch ist die Annahme, daß die Teilchen, die zu einander Affinität haben, erst durch Berührung miteinander elektrisch werden. Diese Ansicht wurde bei späteren ähnlichen Versuchen zur Erklärung von chemischen Reaktionen verlassen, während andere seiner Gesichtspunkte beibehalten wurden.

Berzelius stellte die Grundzüge seiner elektrochemischen Theorie im Jahre 1812 dar, nachdem er schon früher über die Untrennbarkeit der elektrischen Phänomene von chemischen Reaktionen, über die Verbrennung als elektrochemische Erscheinung, über die elektrische Polarität der kleinsten Teilchen usf., sich geäußert hatte. Es ist merkwürdig, wie gut *Berzelius* es verstand, seine Theorie aus den Tatsachen herzuleiten, und man findet es natürlich, daß die elektrochemische Theorie von *Berzelius*, die in sich alle zur Zeit ihres Hervortretens bekannten Erscheinungen aufnahm, durchdringen und lange Zeit vorherrschen mußte. Die neue Lehre von *Berzelius*, die er auf seine elektrochemische Anschauungsweise stützte, war während eines Zeitraumes von nahezu zwanzig Jahren so gut wie allein stehend, bis sie schließlich neuen Tatsachen, mit denen sie nicht in Einklang zu bringen war, weichen mußte.

Berzelius ging von der grundsätzlichen Anschauung aus, daß die Atome der Körper an und für sich elektrisch geladen sind. Die Grundeigenschaft der Teilchen ist demgemäß ihre elektrische Polarität. Sie haben mindestens zwei Pole, deren Elektrizitätsmengen verschieden sind, so daß entweder die positive oder die negative Elektrizität überwiegt. Auf Grund dieses Übergewichtes der einen Art von Elektrizität zerfallen die Körper in elektropositive und

elektronegative. Ihre Natur gibt sich dadurch zu erkennen, daß sie bei der Elektrolyse zum positiven oder zum negativen Pol wandern. Berzelius nahm die Existenz von elektrischer Polarität sowohl bei den zusammengesetzten wie bei den einfachen Körpern an, obgleich der elektrische Gegensatz sich bei diesen stärker geltend macht als wie bei jenen. Die Intensität der Polarität war Berzelius mit einem Überschuß von der einen oder anderen Art von Elektrizität gleichbedeutend, und die verschiedene polare Intensität der Teilchen bildete die Ursache des verschiedenen Grades von Affinität, der den Stoffen eigen war. In ähnlicher Weise, wie die Verwandtschaft von der Temperatur abhängig erschien, mußte auch die Polarität eine Funktion der Temperatur sein.

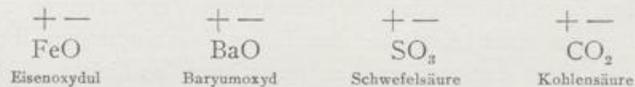
Die chemische Verbindung von Elementen oder einfachen Verbindungen wie Säuren und Basen besteht nach Berzelius in der Attraktion, die ungleichnamige Pole der Teilchen aufeinander ausüben, mit darauffolgendem Ausgleich der Elektrizitäten. Ist bei den ursprünglichen Stoffen die positive Elektrizität vorherrschend, so wird eine elektropositive Verbindung erhalten, im entgegengesetzten Falle eine elektronegative. Gleichen sich die verschiedenen Elektrizitätsmengen aus, so wird die entstandene Verbindung elektrisch indifferent. Wie bei den Atomgewichtsbestimmungen, war auch hier der Sauerstoff die Norm, nach der Berzelius die Art der vorherrschenden Polarität der Grundstoffe beurteilte. Die Elemente, die mit Sauerstoff basische Verbindungen bilden, wurden, wenn auch nur ihr höchstes Oxyd basische Natur hatte, als elektropositiv betrachtet, und die Elemente, deren Verbindungen mit Sauerstoff den Charakter von Säuren hatten, als elektronegativ. Nach dieser Norm ordnete Berzelius die Grundstoffe in einer Reihe, welche, mit dem negativen Sauerstoff beginnend, über die Metalloiden fortsetzte und dann mit dem Wasserstoff als Übergangsglied auf die Metalle überging und mit den elektropositivsten unter ihnen,

dem Natrium und Kalium, abschloß. Berzelius hob oft hervor, daß viele Elemente sich teils positiv, teils negativ verhalten, z. B. der Schwefel, der dem Sauerstoff gegenüber sich positiv, dem Wasserstoff gegenüber sich aber negativ verhält. Als das absolut negative Element wurde von Berzelius der Sauerstoff aufgestellt, weil derselbe keine positiven Eigenschaften irgendeinem anderen bekannten Elemente gegenüber zeigte.

Mit Hilfe seiner elektrochemischen Theorie gelang es Berzelius in befriedigender Weise alle Erscheinungen zu erklären, die innerhalb des damaligen chemischen Erfahrungsgebiets lagen. Die elektrolytischen Prozesse, wie die Wanderung der positiven und negativen Bestandteile einer Verbindung zum negativen, bzw. positiven Pole, erhielten ihre einfache Deutung durch die Annahme, daß durch die Einwirkung des elektrischen Stromes den Teilchen der zusammengesetzten Körper ihre ursprüngliche Polarität zurückgegeben wurde. Die verschiedenen Affinitätswirkungen konnten auf dieselbe Ursache bezogen werden. Von der Annahme ausgehend, daß die Atome polar elektrisch sind, konnte Berzelius die anorganische Chemie ordnen und klären, das einzige Gebiet, das damals in Betracht kam. Seine elektrochemische Theorie führte ihn zunächst zu einer bestimmten Auffassung der Konstitution und rationellen Zusammensetzung der chemischen Verbindungen und weiter zu einer Art, die chemischen Verbindungen ihrer Konstitution entsprechend zu bezeichnen, endlich zu einer dieser Bezeichnung entsprechenden Nomenklatur. Berzelius' Arbeit auf diesem Gebiete wurde von großartigem Erfolge gekrönt. Noch heute ist die von ihm eingeführte chemische Zeichensprache unentbehrlich, während seine dualistische Auffassung von der Zusammensetzung der Körper die gleiche Lebenskraft nicht besessen hat. Berzelius ist ferner der erste, der einen scharfen Unterschied zwischen der empirischen und der rationellen Zusammensetzung der chemischen Verbindungen gemacht hat. Die Fest-

stellung der Konstitution bestand nach Berzelius in der Erforschung der näheren Bestandteile. Ein sicheres Feststellen derselben war nach Berzelius eine der wichtigsten Aufgaben, womit ein Chemiker sich beschäftigen konnte. Berzelius selbst setzte seine ganze Kraft für die Lösung solcher Fragen ein, und als das Mittel, dieses erstrebte Ziel zu erreichen, diente ihm seine elektrochemische Theorie.

Das dualistische System von Berzelius. Die notwendige Konsequenz der elektrochemischen Anschauungsweise war es, daß jede chemische Verbindung als aus zwei elektrisch entgegengesetzten Teilen bestehend betrachtet werden mußte, denn ohne diesen Gegensatz würde eine chemische Verbindung nicht zustande kommen können. Die Konstitution einer chemischen Verbindung war bekannt, sobald ihre näheren Bestandteile, der positive und der negative, bekannt waren. Durch das Studium der sauerstoffhaltigen Verbindungen, der Säuren, Basen und Salze, vermochte Berzelius seine dualistische Lehre zu entwickeln. Das mit dem Sauerstoff verbundene Element bildet den positiven Bestandteil; in den Oxyden wird derselbe vom Metall, in den Säuren vom Metalloid gebildet. Der elektrochemische Gegensatz wurde durch nachstehende Formeln veranschaulicht:



In den Salzen bildet die wasserfreie Base den positiven, die Säure den negativen Bestandteil, wie durch nachstehende Formeln veranschaulicht wird:



Als wichtigsten Beweis dieser Auffassung führte Berzelius die elektrolytische Zersetzung von chemischen Ver-

bindungen in ihre Bestandteile an, welche dann zu den elektrisch entgegengesetzten Polen wandern. Auch die Doppelsalze hat Berzelius versucht dualistisch zu deuten. So bezeichnet er das schwefelsaure Kali als positiven, die schwefelsaure Tonerde als negativen Bestandteil des Alauns.

Im Jahre 1819, als Berzelius seine elektrochemische Theorie in ihrem ganzen Umfang veröffentlichte, war er fest davon überzeugt, daß alle Säuren Sauerstoff enthalten. In den Säurehydraten spielte nach Berzelius das Wasser die Rolle des schwach elektropositiven, in den Metallhydroxyden die des schwach elektronegativen Bestandteiles. Die Hydrate der Schwefelsäure und des Kupferoxyds formulierte er folgenderweise:



Später mußte jedoch Berzelius die von Lavoisier übernommene Ansicht, daß alle Säuren Sauerstoff enthalten, verlassen. Die binäre Anschauung, die von Rouelle schon für das Wasser, dann von Lavoisier für Säuren und Basen benutzt worden war, hatte natürlich durch die elektrochemische Theorie von Berzelius die kräftigste Stütze erhalten.

CHEMISCHE NOMENKLATUR UND ZEICHEN.
Die ersten Versuche von Berzelius, eine rationelle Bezeichnung der chemischen Verbindungen einzuführen, datieren vom Jahre 1811. Die von Berzelius vorgeschlagene Nomenklatur schließt sich der von Lavoisier und seinen Mitarbeitern Berthollet, Fourcroy und Morveau ausgearbeiteten ziemlich nahe an, durch Berzelius wurde dieselbe aber wesentlich erweitert und vertieft. Die Einteilung der Grundstoffe nach ihrem elektrochemischen Charakter in Metalloide und Metalle, die Benennungen Oxydul, Oxyd und Superoxyd für die positiven Sauerstoffverbindungen, sowie die Einteilung der Säuren nach dem Grade der Oxydation hatte sich so zweckmäßig erwiesen,

daß nur unbedeutende Veränderungen nötig waren. Die den Sauerstoffverbindungen entsprechenden Chlorverbindungen wurden analog durch verschiedene Endungen oder Vorsilben bezeichnet, z. B. Chlorür, Chlorid und Superchlorid. Bei der Benennung der Sauerstoffsalze wurde auf die näheren Bestandteile Bezug genommen, wobei der Namen der Säure vor den Namen der Base gesetzt wurde z. B. schwefelsaures Kupferoxyd.

In nahem Anschluß an die chemische Nomenklatur, die dem elektrochemischen Verhalten der Verbindungen einen klaren, sprachlichen Ausdruck gegeben hatte, gebührt Berzelius das große Verdienst eine chemische Zeichensprache geschaffen zu haben, die in noch mehr zusammengedrängter Weise demselben Zwecke dienen konnte. Mittels einfacher Symbole war es möglich, nicht nur die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen anzugeben, sondern auch ihr Verhalten selbst in sehr verwickelten Reaktionen deutlich zu veranschaulichen. Berzelius repräsentierte jedes Element durch ein Zeichen, und er wählte als solche den ersten oder die zwei ersten Buchstaben des lateinischen, in seltenen Fällen des griechischen Namens der Elemente. So wurden bezeichnet: Wasserstoff durch H (*Hydrogenium*), Schwefel durch S (*Sulphur*), Sauerstoff durch O (*Oxygenium*), Kohlenstoff durch C (*Carbo*), Silber durch Ag (*Argentum*), Quecksilber durch Hg (*Hydrargyrum*) usw. Diese Symbole bezeichneten zugleich die auf eine gewisse Einheit bezogenen Atomgewichte der Elemente.

Indem man diese Symbole nebeneinanderstellte und die Atomzahl, wenn dieselbe eins überschritt, besonders angab, erhielt man die chemischen Formeln der Verbindungen, z. B. H_2O Wasser, SO_2 schweflige Säure, CO_2 Kohlensäure, $Na_2O.CO_2$ kohlenensaures Natriumoxyd usw. Die durchstrichenen Symbole, die Berzelius benutzte, sollten angeben, daß das Element als Doppelatom auftrate. Dies war beispielsweise der

Fall beim Wasserstoff im Wasser HO , bei Chlor in Überchlorsäure ClO_7 und Eisen in Eisenoxyd FeO_3 . Die Ursache dieser Schreibweise war die, daß Berzelius immer von Sauerstoff als Einheit ausging und dieses Element als Maß der Sättigungskapazität anderer Elemente verwenden wollte. Hierdurch wurde Berzelius zur Annahme von als chemische Einheiten wirkenden Doppelatomen genötigt, und als Ausdruck derselben dienten ihm die durchstrichenen Symbole. Später kehrte aber Berzelius zur Annahme von einfachen Atomgewichten, auch für diese Elemente, zurück.

Die Auffassung von Berzelius, daß gewisse Elemente nur paarweise oder als Doppelatome in die chemischen Verbindungen eintreten, fand von vielen Seiten Widerspruch. Die Chemiker, die einer entgegengesetzten Meinung waren, nahmen in solchen Verbindungen statt der doppelten einfache Atome an und wurden hierdurch zu chemischen Äquivalenten statt zu Atomgewichten geführt. In seiner trefflichen Arbeit, „*Die Chemie der Jetztzeit*“, beleuchtet *Blomstrand*¹⁾ die eben erwähnte Auffassung und Schreibweise von Berzelius mit folgenden Worten: „Diese fehlerhafte Vorstellung war ohne Frage die fast alleinige Ursache, daß die Atomtheorie von Berzelius von Anfang an so wenig Eingang fand; sie lähmte wie eine hemmende Fessel die freie Entwicklung derselben und führte nach und nach eine eigentümliche Verwirrung hinsichtlich der chemischen Grundbegriffe herbei, indem allmählich der Unterschied zwischen Atomgewicht und Äquivalent beinahe verwischt wurde, bis zuletzt die Volumatomgewichte und die ganze Atomtheorie von Berzelius bei der großen Mehrzahl der Chemiker seiner Schule in eine so gut wie vollkommene Vergessenheit gerieten.“

Die ältere Radikaltheorie. — Die dualistische Anschauung, die durch die elektrochemische Theorie

¹⁾ Seite 149 ff.

von Berzelius völlig dominierend wurde, gab, auf die organische Chemie übertragen, die Anregung zur Radikaltheorie.

Lavoisier, der in dieser wie in anderer Hinsicht seiner Mitwelt weit voran war, hatte schon den Radikalbegriff auf organische Verbindungen angewandt. In ähnlicher Weise wie er den Stickstoff als Radikal der Salpetersäure und den Kohlenstoff als Radikal der Kohlensäure auffaßt spricht er auch von den Radikalen *oxalique*, *malique*, *citrique*, *tartareux* usw., und versteht darunter immer denjenigen Teil der Verbindung, der mit Sauerstoff die Säure bildet.

Nachdem Berzelius durch eine Reihe genauer Versuche, hauptsächlich in den Jahren 1815—17, sich überzeugt hatte, daß das Gesetz der multiplen Proportionen auf die organischen Verbindungen völlige Anwendbarkeit hat, verglich er die organischen und anorganischen Verbindungen, und faßte seine Ansichten über die näheren Bestandteile der organischen Verbindungen folgenderweise zusammen: Nachdem wir den Unterschied zwischen den Verbindungen aus der organischen und anorganischen Natur haben näher kennen lernen, sowie die verschiedene Art, in welcher die Bestandteile dieser Verbindungen an einander gebunden sind, haben wir gefunden, daß der Unterschied eigentlich darin besteht, daß alle Sauerstoffverbindungen aus der anorganischen Natur ein einfaches Radikal haben, während die organischen Substanzen aus Oxyden mit zusammengesetzten Radikalen bestehen. Organische Stoffe aus dem Pflanzenreiche enthalten im allgemeinen ein Radikal, das aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist, diejenigen aus dem Tierreiche ein Radikal, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff zusammengesetzt. Diese Auffassung von Berzelius wurde von ihm während der nächsten Zeit nicht weiter entwickelt, und dieselbe gewann, obgleich der von Gay-Lussac im Jahre 1815 entdeckte Körper Cyan ein

treffliches Beispiel eines zusammengesetzten Radikals darbot, so gut wie keine Anhänger.

Dies dürfte hauptsächlich darauf beruht haben, daß fast zur selben Zeit für eine der am besten bekannten Gruppen der organischen Verbindungen eine andere Anschauung aufkam, welche ebenso gut, wenn nicht besser die Zusammensetzung dieser Verbindungen wiederzugeben schien. Gay-Lussac hatte nämlich gefunden, daß die Dampfdichte von Alkohol gleich ist der Summe der Dampfdichten von Wasser und ölbildendem Gase, und daß die Dampfdichte des Äthers erhalten wird, wenn man die Dampfdichte des Wassers zu der doppelt genommenen Dichte des ölbildenden Gases addiert. Er schloß aus diesem Verhalten, daß der Alkohol eine Verbindung sei von 1 Volumen ölbildenden Gases und 1 Volumen Wasser, und der Äther eine Verbindung von 2 Volumen ölbildenden Gases mit 1 Volumen Wasser. Nicht nur erhielten die zu dieser Zeit über Alkohol und Äther bekannten Tatsachen durch diese Annahme ihre Erklärung, auch die Zusammensetzung vieler anderer Derivate von Alkohol und Äther konnten in derselben Weise ins klare gebracht werden. Man nahm in allen diesen Verbindungen die Existenz der Gruppe Ätherin, C_4H_4 , an. Hierdurch entstand die sogenannte Ätherintheorie, die besagte, daß in allen Verbindungen, die aus Alkohol hergestellt werden konnten, die genannte Gruppe eingehe. Diese Ätherinverbindungen wurden mit Ammoniak und dessen salzartigen Verbindungen verglichen:

Ätherin C_4H_4	Ammoniak NH_3
Alkohol $C_4H_4 + H_2O$	Ammoniumoxydhydrat $NH_3 + H_2O$
Äther $2C_4H_4 + H_2O$	Ammoniumoxyd $2NH_3 + H_2O$
Chloräthyl $C_4H_4 + HCl$	Salmiak $NH_3 + HCl$
Äthylsulfid $2C_4H_4 + H_2S$	Ammoniumsulfid $2NH_3 + H_2S$

usw.

Ogleich die Ätherintheorie niemals ausgedehntere Anwendung erhielt, war sie doch der allgemeinen Annahme von den Gesichtspunkten hinderlich, die Berzelius über die Radikale hatte.

Die weitere Entwicklung der Theorie der Radikale wurde zunächst durch die Untersuchungen veranlaßt,

die *Wöhler*¹⁾ und *Liebig*¹⁾ im Jahre 1832 über die Benzoylverbindungen ausführten. Aus diesen Untersuchungen ging hervor, daß man in den Benzoylverbindungen das Vorhandensein einer Atomgruppe, des Benzoyls $C_{14}H_5O_2$ annehmen konnte, die in bezug auf Reaktionsverhältnisse die größte Übereinstimmung mit den Radikalen der anorganischen Chemie, den Metallen, zeigte, und die wie diese von einer Verbindung in die andere überführt werden konnte. Berzelius begrüßte mit großer Befriedigung diese Entdeckung, weil er überzeugt war, daß jetzt der Radikaltheorie und somit auch der organischen Chemie ein neuer Tag anbrechen würde. In der Tat erwarb sich jetzt die Radikaltheorie einen fast einstimmigen Beifall. Speziell in Deutschland schloß man sich ihr allgemein an, und Liebig konnte bald die organische Chemie als die Chemie der zusammengesetzten Radikale definieren. Auch die französischen Chemiker schlossen sich, wenn auch nur für kurze Zeit, an, und sogar *Dumas*¹⁾, der bis dahin der Ätherintheorie gehuldigt hatte, sprach nach einem persönlichen Zusammentreffen mit Liebig im Jahre 1837, seinen Übergang offen aus.

Diese Übereinstimmung der Ansichten sollte jedoch nicht lange dauern. Eigentümliche Erscheinungen, die zuerst in einzelnen Fällen von einigen französischen Chemikern nachgewiesen waren, die aber bald in immer größerer Anzahl bekannt wurden, machten die Frage aktuell, ob Sauerstoff, Chlor und andere negative Elemente in das Radikal eintreten könnten oder nicht. Berzelius, der von Anfang an das sauerstoffhaltige Radikal der Benzoylverbindungen mit so großer Befriedigung begrüßt hatte, hielt jetzt die Annahme von sauerstoffhaltigen Radikalen für völlig unrichtig. „Eine solche Ansicht“, sagte Berzelius, „ist derselben Art, wie wenn man die schweflige Säure für das Radikal der Schwefelsäure, oder das Manganhyperoxyd für das Radikal der Mangansäure

¹⁾ Seite 149 ff.

ansehen wollte. Ein Oxyd kann kein Radikal sein. Es liegt im Begriff des Wortes Radikal, daß es den Körper bedeutet, welcher im Oxyd mit Sauerstoff verbunden ist“.

Es bereitete der älteren Radikaltheorie große Schwierigkeiten, von ihrem elektrochemischen, dualistischen Standpunkte aus die chlorhaltigen Substanzen zu erklären, die jetzt in immer größerer Zahl entdeckt wurden, und zu deren Deutung die von Frankreich stammende Substitutionstheorie einfachen Ersatz von Wasserstoff durch Chlor annahm. Daß zwei elektrochemisch so verschiedene Elemente wie Chlor und Wasserstoff einander Atom für Atom in den chemischen Verbindungen ersetzen und fast dieselbe Rolle spielen könnten, konnte die Radikaltheorie unter keinen Umständen einräumen. Die Anhänger derselben bemühten sich in jeder Weise, die Erscheinung in Übereinstimmung mit der elektrochemischen Anschauung zu bringen, indem sie ihr eine andere Deutung gaben, bis sie schließlich, der Notwendigkeit weichend, wenigstens die Hauptgründe der Lehre, die sie bekämpft hatten, annehmen mußten.

3. Die Reaktion gegen den Dualismus. Die Entdeckung neuer Tatsachen, die mit der herrschenden Theorie im Widerspruch stehen oder durch diese nur eine ungenügende Erklärung finden, führt stets zur Entstehung einer neuen theoretischen Anschauungsweise. So führte das Studium der eigentümlichen Verbindungen, welche durch die Einwirkung von Chlor auf organische Substanzen entstehen, zur Aufstellung zweier, für die fernere Entwicklung der Chemie besonders bedeutungsvoller Theorien, der Substitutionstheorie und der Typentheorie.

Die Substitutionstheorie. Schon Gay-Lussac hatte beobachtet, daß Wachs beim Bleichen mit Chlorgas Wasserstoff verliert, während es Chlor aufnimmt, ohne seine Eigenschaften wesentlich zu verändern. Dumas hatte beobachtet, daß ein ähnlicher Vorgang bei dem Ter-

pentinöl stattfindet, und während seiner Untersuchungen über die Einwirkung von Chlor auf andere organische Verbindungen entdeckte er eine empirische Regel für die Substitution von Wasserstoff in solchen Verbindungen, eine Gesetzmäßigkeit, die er im Anfang des Jahres 1834 in folgenden zwei Sätzen ausdrückte:

1. Wenn eine wasserstoffhaltige Substanz der wasserstoffentziehenden Einwirkung von Chlor, Brom, Jod usw. unterworfen wird, so nimmt sie für jedes Atom Wasserstoff, das sie verliert, ein Atom Chlor, Brom, Jod usw. auf.
2. Enthält die wasserstoffhaltige Substanz Wasser, so verliert sie dessen Wasserstoff, ohne daß er durch Chlor, Brom usw. ersetzt wird, wenn aber das Chlor, Brom usw. weiter einwirkt, so findet die Substitution wie im vorigen Falle statt.

Die Substitutionsregel von Dumas gab den Anlaß zu einer großen Anzahl Versuche. Hierbei erhielt das empirische Gesetz der Substitution bald eine Erweiterung, und zwar durch *Laurent*¹⁾, welcher als Erster die Eigenschaften des entstandenen Produktes mit denjenigen der ursprünglichen Substanz verglich und Betrachtungen anstellte über die Rolle, die das reagierende Element bei der Substitution spielt. So entstand aus der empirischen Regel der Substitution eine *Substitutionstheorie*, deren hauptsächlichster Inhalt von Laurent im Jahre 1835 folgenderweise formuliert wurde: Wenn eine äquivalente Substitution von Wasserstoff durch Chlor stattfindet, so nimmt das Chlor den Platz des Wasserstoffs ein und spielt nachher in gewissen Beziehungen ganz dieselbe Rolle wie der Wasserstoff. Das chlorierte Produkt zeigt also Analogie mit der Verbindung, aus welcher es dargestellt wurde. Zwar verwahrte sich Dumas anfangs gegen die Rolle, die das Chlor nach der Ansicht von Laurent bei der Substitution spielen

¹⁾ Seite 149 ff.

sollte, er ging aber bald zu derselben Auffassung über, nachdem eine größere Anzahl Chlorsubstitutionsprodukte außer von Laurent, von *Malaguti*, *Regnault*¹⁾ und vielen dargestellt worden waren, und besonders, nachdem es ihm selbst gelungen war, die *Trichloressigsäure* darzustellen.

Die Kerntheorie. Unter diesem Namen legte *Laurent* im Jahre 1836 eine theoretische Anschauungsweise vor, die, wenn sie auch ohne größeren Einfluß auf die Entwicklung der chemischen Wissenschaft geblieben ist, doch eine kurze Erwähnung verdient.

Um sich eine Auffassung von der Lagerung der Atome in der chemischen Verbindung bilden zu können, verglich *Laurent* dieselbe mit einem festen körperlichen Gebilde, z. B. einer Säule, deren Kanten und Ecken aus aneinandergelegten Atomen gebildet waren. Von dieser Säule kann keine Kante (kein Atom) entfernt werden, ohne daß sie zusammenbricht. Tritt an Stelle des weggenommenen Atomes ein anderes, so kann die Verbindung Bestand haben, und obgleich aus andrem Material bestehend, hält das Gebäude zusammen. An diese Säule oder die Außenseite dieses Kerns können andere Atome sich lagern und dieselbe völlig umhüllen. Der Hauptinhalt dieser Theorie von *Laurent* ist der folgende: Die organischen Verbindungen bestehen entweder aus einem Kern oder aus einem Kern in Verbindung mit angelagerten Atomen. Die Kerne sind aus Kohlenstoffatomen und anderen Atomen gebildet, und diese bilden zusammen eine geometrische Figur. In dem nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehenden Kerne, dem Stammkerne, kann ein oder mehrere, sogar alle Wasserstoffatome von anderen Atomen oder Atomgruppen ersetzt werden, welche dabei ganz dieselben Plätze wie früher die Wasserstoffatome einnehmen werden. Hierdurch werden abgeleitete Kerne oder *Nebenkerne* erhalten. Die Stellung der Atome ist also von weit größerer Bedeutung, als ihre Beschaffenheit.

Die Bedeutung der Kerntheorie war die, daß mit Hilfe derselben die organischen Verbindungen nach einem einheitlichen Prinzip geordnet werden konnten, weshalb sie zur systematischen Behandlung derselben sehr geeignet war.

Die Typentheorie. In einer Reihe Abhandlungen über die chemischen Typen legte *Dumas* im Jahre

¹⁾ Seite 149 ff.

1839 seine Typentheorie vor, deren Hauptsätze von ihm folgenderweise formuliert wurden:

1. Die in eine Verbindung eintretenden Elemente können in vielen Fällen durch äquivalente Mengen anderer Elemente oder auch durch zusammengesetzte Stoffe, die dann die Rolle eines Elementes spielen, ersetzt werden.
2. Wenn eine derartige Substitution nach äquivalenten Mengen stattfindet, behält die Verbindung, innerhalb deren die Substitution stattgefunden hat, ihren chemischen Typus, und das eintretende Element spielt hierbei dieselbe Rolle wie das heraustretende.

Dumas unterscheidet weiter zwischen *chemischen* und *mechanischen Typen*. Zu demselben *chemischen Typus* rechnet er alle Verbindungen, die eine gleich große Anzahl Äquivalente enthalten, die in derselben Weise miteinander verbunden sind und dieselben Grundeigenschaften haben. Zum selben *mechanischen Typus* oder *Molekular-typus* rechnet Dumas alle Verbindungen, welche, obgleich sie eine gleich große Anzahl Äquivalente enthalten, doch in bezug auf Eigenschaften wesentliche Unterschiede zeigen. Dumas betonte auch ausdrücklich, daß die Eigenschaften einer Verbindung in erster Linie von der Lagerung der Teilchen und weniger von ihrer Natur bestimmt werden.

Vergleicht man die Typentheorie von Dumas mit der Substitutionstheorie von Laurent, so sieht man, daß jene in ihren Hauptzügen nun eine Erweiterung dieser, wenngleich eine wesentliche, ist. Dumas und Laurent haben gleichen Anteil an der Entwicklung der Ansichten gehabt, die in den beiden Theorien niedergelegt sind. Doch hat Dumas durch seine Typentheorie den größeren Einfluß auf die Entwicklung der chemischen Wissenschaft ausgeübt, weil er, eben auf Grund seiner Theorie, der erste war, der gegen die dualistische Anschauung energisch auftrat.

Im Jahre 1839 richtete Dumas den ersten, heftigen Angriff gegen Berzelius und faßte seine Kritik des elek-

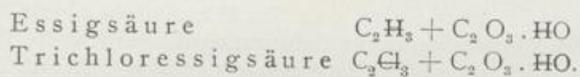
trochemischen Dualismus in folgender Weise zusammen: „Gründet sich“, fragte Dumas, „die elektrochemische Hypothese von der Polarität, die den Atomen der einfachen Körper beigelegt wird, wirklich auf so klar ersichtliche Tatsachen, daß man dieselbe zum Glaubensartikel erheben kann? Oder wenn sie nur als Hypothese betrachtet werden soll, besitzt sie dann wenigstens die Eigenschaft, sich den Tatsachen anzupassen und dieselben zu erklären, so daß man eine feste Grundlage des Glaubens an ihre Richtigkeit habe? Man muß sagen, daß dies nicht der Fall ist.“

Dumas hatte hierdurch das Signal zu dem erbitterten Kampfe gegeben, welcher von Berzelius und seiner Schule gegen die Substitutions- und Typentheorien geführt wurde. Aus diesem Streite gingen die letzteren Anschauungen in der Hauptsache siegreich hervor, nachdem sie eine vollkommeneren Form erhalten hatten. Dies beruhte teilweise darauf, daß die Anhänger des Dualismus beständig zu neuen, immer gewagteren Hypothesen ihre Zuflucht nahmen, während von der anderen Seite stets neue bedeutungsvolle Entdeckungen in den Kampf gesandt wurden.

Der Streit zwischen der dualistischen und der unitarischen Auffassung. „Die Gewohnheit einer Meinung erzeugt oft die völlige Überzeugung ihrer Richtigkeit; sie verbirgt die schwächeren Teile davon und macht uns unfähig, die Beweise dagegen anzunehmen.“ So äußert sich Berzelius, man könnte fast sagen prophetisch, bei Besprechung der Entwicklung der elektrochemischen Hypothese. Während der ganzen Geschichte der chemischen Forschung hat wohl diese Äußerung keine bessere Beleuchtung gefunden als an der elektrochemischen Hypothese selbst. Wie wäre es wohl möglich, daß zwei in bezug auf Grundeigenschaften so verschiedenartige Elemente wie Wasserstoff und Chlor einander in Verbindungen ersetzen könnten? Wie war es nur möglich, daß jemand auf eine so verkehrte Meinung kommen konnte wie die, daß diese Elemente dieselbe Rolle spielen könnten?

Alle möglichen Einwände wurden gegen die Substitutionserscheinungen und die daraus abgeleiteten Theorien erhoben. Im Anfang bezweifelte man die Richtigkeit der Versuche, doch wiederholte Analysen und zahlreiche neue Entdeckungen machten sie unantastbar. Später suchte man die neuen Ansichten lächerlich zu machen oder die durch die Substitution gegebene Erklärung durch andere, die mit der herrschenden Lehre in besserer Übereinstimmung waren, zu ersetzen. Solange Laurent allein den Streit über die Substitutionsphänomene führte, schien es den Gegnern dieser Auffassung kaum nötig, seine Spekulationen ernstlich zu widerlegen. Nachdem aber Dumas durch seine Typentheorie dem Begriffe der Substitution einen bedeutend größeren Umfang gegeben hatte, wurde es notwendig, den Kampf ernstlich aufzunehmen. Berzelius, der von Anfang an die Tragweite der neuen Anschauung von Dumas völlig klar einsah, richtete zuerst seine Aufmerksamkeit auf das Verhältnis der Essigsäure zur Trichloressigsäure. Er versuchte zu zeigen, daß sie unter keinen Umständen einander gleichen, sondern daß sie in ihren Grundeigenschaften ganz verschieden seien. Die Essigsäure sei das Oxyd des Radikales C_4H_3 , die Trichloressigsäure dagegen eine *gepaarte Säure*, eine mit Kohlenstoffchlorid gepaarte Oxalsäure, $C_2Cl_3 + C_2O_3$. Den zahlreichen Chlorsubstitutionsprodukten, die während der nächsten Zeit von Regnault und Malaguti dargestellt wurden, schuf Berzelius ähnliche Paarungsformeln, die von ihm als die richtigen Ausdrücke der Konstitution dieser Verbindungen betrachtet wurden. Die von Berzelius vorgeschlagenen Kuppelungsformeln fanden wenig Anklang, und auch Liebig trat bald gegen diese Auffassung von Berzelius auf. Berzelius fuhr indessen fort, mit allen möglichen Mitteln für seine dualistische Lehre zu kämpfen. Um neuentdeckte Tatsachen mit seinen Anschauungen in Übereinstimmung zu bringen, konstruierte er mit beispielloser Geschicklichkeit zu jeder neuen Verbindung eine neue gepaarte Formel mit stets neuen Radikalen.

Indessen wuchs das Material der Substitutionserscheinungen in erstaunlicher Weise. Nachdem es im Jahre 1842 *Melsen* gelungen war, aus der Trichloressigsäure mittels Kaliumamalgam wieder Essigsäure darzustellen, war die Auffassung von Berzelius, daß zwischen diesen beiden Säuren kein Zusammenhang bestände, nicht weiter aufrecht zu erhalten. Während es früher als unrichtig hatte gelten sollen, die Zusammensetzungen der Trichloressigsäure und der Essigsäure als analog zu betrachten, und deswegen jene als eine gepaarte Oxalsäure aufgefaßt wurde, so wurde jetzt die Formel der Trichloressigsäure von Berzelius nicht geändert, statt dessen betrachtete er auch die Essigsäure als eine mit Methyl gepaarte Oxalsäure.

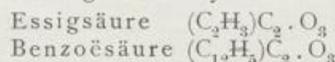


Durch diesen Schritt hatte Berzelius eingeräumt, daß es möglich war, innerhalb des gekuppelten Teiles einer Verbindung Wasserstoff durch Chlor zu ersetzen. Berzelius selbst wurde hierdurch Mitarbeiter an der Entwicklung der Substitutionstheorie. Das Chlor konnte eintreten und eine gleiche Anzahl Wasserstoffatome ersetzen, wenn auch eine derartige Substitution nur innerhalb der Kuppelung stattfinden konnte. Was früher zur Absurdität gestempelt wurde, betrachtete man, nachdem die Hypothese der „Paarlinge“ aufgestellt war, als etwas „überraschend klares und einfaches“. Daß diese Paarlinge rein hypothetische Atomkomplexe waren, wollte man nicht als Schwäche der Hypothese anerkennen. Man beruhigte sich, indem man sich erinnerte, daß wenigstens einige von diesen hypothetischen Atomgruppen wirklich bekannt waren, denn wieviele hypothetische Substanzen gibt es nicht! Man hatte hierbei auch den großen Vorteil, dem Paarling alle Eigenschaften beilegen zu können, die zur Erklärung der Reaktionen einer Verbindung notwendig schienen.

Bei der Freude über die Hypothese der Paarlinge hatte man vergessen, daß es eigentlich die Lehre von der Substitution war, die bekämpft werden sollte. Während gegen die Substitutionstheorie gestritten wurde, hatten die Anhänger der dualistischen Lehre den ganzen Inhalt der ersteren nach und nach anerkennen müssen. Durch die zerteilten Paarungsformeln drückte man ganz dasselbe aus, was Laurent aussprach, als er die Substitutionstheorie zuerst vorlegte, nämlich daß das Chlor die früher von Wasserstoffatomen besetzten Plätze einnimmt. Hierdurch war der Substitutionsbegriff anerkannt worden und hat seither seinen gegebenen Platz beibehalten, wie auch die theoretisch-chemischen Anschauungen gewechselt haben.

Modifikationen der Radikaltheorie. Während des Kampfes gegen die Substitutionstheorie war die Radikaltheorie in fast völlige Vergessenheit geraten. Die Radikale waren zu Kuppelungen aufgelöst worden, anstatt der Radikaltheorie hatte man eine Paarungstheorie bekommen. In diesem Zustand der Auflösung befand sich die Lehre von den Radikalen bei dem Tode Berzelius'. Seinen Schülern und Anhängern wurde nun die schwierige Arbeit zuteil, aus den Bruchstücken der Radikalen, den Paarlingen, jene wieder zusammenzufügen. Hierbei entstanden zahlreiche Modifikationen der älteren Radikaltheorie, die alle als Grundlage die Hauptsätze der elektrochemischen Radikaltheorie behielten, im übrigen aber mehr oder weniger von anderen theoretischen Anschauungen in sich aufnahmen.

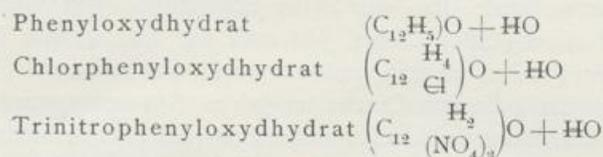
Ein Versuch, die von Berzelius aufgestellten Paarungsformeln mit der Radikaltheorie zu verschmelzen, ist die von Kolbe¹⁾ im Jahre 1848 vorgelegte Theorie der gepaarten Radikale. Nach der Auffassung von Kolbe war die Essigsäure das Oxyd eines Radikales, das die Paarung von Methyl mit Kohlenstoff bildet, und in der Benzoëssäure bildet das Radikal die Paarung von Phenyl mit Kohlenstoff:



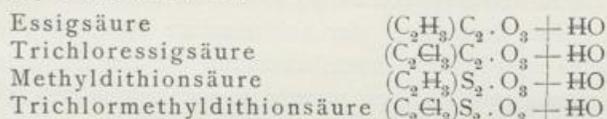
Derartige Radikale wurden zum Unterschied von den einfachen Radikalen gepaarte oder kombinierte Radikale genannt.

¹⁾ Seite 149 ff.

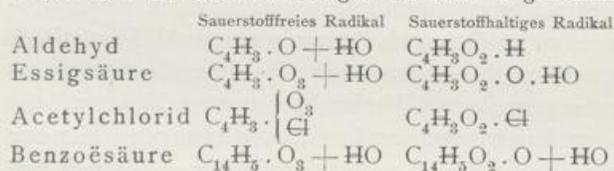
Die Einführung des Substitutionsbegriffes in die Radikaltheorie führte zur Annahme von substituierten Radikalen, z. B.:



Den Anhängern der gepaarten Radikale bot diese Substitution innerhalb der Paarung nichts ihren Ansichten widersprechendes dar. In ähnlicher Weise entstanden Verbindungen, die gepaarte Radikale mit einer Substitution innerhalb der Paarung enthielten, z. B.:



Auch die Frage, ob es denkbar sei, daß Sauerstoff in das Radikal eintreten könne oder nicht, veranlaßte noch Meinungsverschiedenheiten unter den Anhängern der Radikaltheorie. Während einige, sich der Berzeliusschen Auffassung anschließend, der Ansicht waren, daß der totale Sauerstoffgehalt sich außerhalb des Radikales befände, wurde von anderen das Vorhandensein sauerstoffhaltiger Radikale angenommen, wie:



Die Entwicklung der Typentheorie. Die Theorie der Substitution und der Typen, wie dieselbe von Laurent dargestellt und von Dumas weiter entwickelt worden war, erklärte im ganzen die chemischen Erscheinungen in einfacher und übersichtlicher Weise, sie war aber mit einer gewissen Geneigtheit zur Verallgemeinerung behaftet, die bisweilen zu weit getrieben wurde. Die zahlreichen Angriffe gegen dieselbe von seiten der Anhänger der Radikaltheorie, welche im allgemeinen mit experimen-

tellen Tatsachen glücklich abgewehrt wurden, bewirkten auch, daß das Schwache und Unhaltbare bald genug ausgemerzt wurde. So wurde die Substitution von Wasserstoff durch Chlor, Brom, Jod und die Nitrogruppe bald außer Zweifel gesetzt und allgemein angenommen. Dagegen fand die von Dumas im Jahre 1840 ausgesprochene Ansicht, daß man durch Substitution auch den Kohlenstoff der organischen Verbindungen ersetzen könne, keinen Beifall. Man fand auch, daß die bei der Einwirkung von Sauerstoff auf die organischen Verbindungen entstandenen Produkte von der Muttersubstanz viel mehr abweichende Eigenschaften zeigten als diejenigen, die durch Einwirkung von Chlor, Brom, Jod oder Salpetersäure entstanden. Aus diesem Grunde bezeichnete man nun die bei den letzt erwähnten Reaktionen erhaltenen Verbindungen als Substitutionsprodukte. Diese wirklichen Substitutionsderivate glichen in ihren Haupteigenschaften in hohem Grade den Verbindungen, woraus sie hergeleitet worden waren. Dieses Verhalten brachte man zum Ausdruck, indem man sagte, bei der Substitution sei der Typus erhalten. Ein Versuch Dumas, die von demselben mechanischen Typus abgeleiteten Verbindungen zusammenzustellen, erwies sich jedoch als wenig zweckmäßig, obgleich er gerade durch diese Typen gehofft hatte, die Systematisierung der organischen Verbindungen zu erleichtern.

Im großen ganzen wurden eben diejenigen Teile der Typentheorie, die von Laurent herrührten, allgemein angenommen, während die Entwicklung derselben durch Dumas nicht immer ebensoviel Glück hatte. Nichtsdestoweniger muß man einräumen, daß die theoretische Anschauung, die von Dumas dargestellt worden ist, einen großen Einfluß auf die Entwicklung der chemischen Wissenschaft ausgeübt hat.

Wie immer bei solchen Gelegenheiten war man im Kampfe zwischen der Radikaltheorie und den Substitutions- und Typentheorien auf beiden Seiten zu weit gegangen.

Ebenso abweisend, wie die Anhänger der Radikaltheorie solange als möglich den Substitutionserscheinungen gegenüber sich verhielten, ebenso abgeneigt waren die Anhänger letzterer Anschauung, das Gute der Radikaltheorie anzuerkennen. Dumas hatte zwar die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, daß bei der Substitution nicht nur Elemente an Stelle anderer Elemente treten könnten, sondern daß es auch innerhalb eines und desselben Typus gewisse zusammengesetzte Gruppen gäbe, die von einfachen Stoffen ersetzt werden könnten, und die deshalb den Namen *R a d i k a l e* verdienten. Weil aber die Mehrzahl der Chemiker, die zur Ausbreitung der Typentheorie beitrugen, es vorzogen, statt der rationellen Formeln empirische zu schreiben, so ging man eines der größten Verdienste der Radikaltheorie verlustig, nämlich des Hervorhebens von analogen Verhältnissen durch die übereinstimmende Schreibweise der Formeln. Es dauerte eine geraume Zeit, ehe das Gute der Radikaltheorie von den Anhängern der Typentheorie anerkannt und von ihnen aufgenommen wurde, um dann durch die fernere Entwicklung und Verschmelzung der beiden Theorien einer klareren theoretischen Auffassung den Weg zu bahnen.

4. Verschmelzung der Radikaltheorie mit der Typentheorie. Die beiden Forscher, *Laurent* und *Gerhardt*¹⁾, die die Umgestaltung der Typenlehre gemeinsam ausgeführt haben, waren beide ausgeprägte Gegner der dualistischen Anschauung, verhielten sich aber gegen die Annahme von Radikalen nicht ablehnend, wenn sie auch diesem Begriffe einen etwas veränderten Inhalt gaben.

Ehe wir über die Vereinigung der beiden Anschauungen berichten, soll in der Kürze über einige theoretische Betrachtungen und experimentelle Untersuchungen, die zur schließlichen Verschmelzung wesentlich beigetragen haben, berichtet werden.

Die Theorie der mehrbasischen Säuren. Wie schon mehrfach erwähnt, stellte die elektrochemische

¹⁾ Seite 149 ff.

Theorie die chemischen Verbindungen als aneinander addierte Elemente oder einfachere Verbindungen dar. So schrieb man beispielsweise die sauren Salze als Additionsprodukte von neutralem Salz und Säurehydrat:

Neutrales schwefelsaures Kali $\text{KO} \cdot \text{SO}_3$,

Schwefelsäurehydrat: $\text{HO} \cdot \text{SO}_3$,

Saures schwefelsaures Kali: $\text{KO} \cdot \text{SO}_3 + \text{HO} \cdot \text{SO}_3$.

Die durch obige Formel angegebene Menge von saurem schwefelsauren Kali enthielt also doppelt soviel Säure wie das entsprechende neutrale Salz. Beim Gebrauch einer derartigen Schreibweise schloß man die Phosphorsäure und die Zitronensäure aus, deren Salze alle mit gleich viel Säure geschrieben wurden, weil die Formeln dieser beiden Säuren nicht geteilt werden konnten, ohne daß Bruchteile von Atomen entstanden, z. B.:

Phosphorsäure: $\text{PO}_5 \cdot 3 \text{HO}$,

Saure Salze: $\text{PO}_5 \cdot 2 \text{HO} \cdot \text{MO}$, $\text{PO}_5 \cdot \text{HO} \cdot 2 \text{MO}$,

Neutrales Salz: $\text{PO}_5 \cdot 3 \text{MO}$.

Die beiden genannten Säuren wurden als dreibasisch betrachtet, weil ihre Formelausdrücke nicht durch 3 teilbar waren. Für Berzelius war nämlich die Nichtteilbarkeit der Formel der Grund, eine Säure als mehrbasisch anzusehen. Nachdem *Graham*¹⁾ die verschiedenen Modifikationen der Phosphorsäure untersucht hatte, entwickelte *Liebig* im Jahre 1838, auf umfassende Untersuchungen über eine große Anzahl von Salzen organischer Säuren gestützt, unter dem Titel „Theorie der mehrbasischen Säuren“ seine Ansichten über die Konstitution dieser Säuren. *Liebig* hatte gefunden, daß eine große Anzahl von Säuren sich wie die Phosphorsäure in dem Sinne verhält, daß 1 Atom Säure sowohl 1 oder 2 wie 1, 2 oder 3 Atome einer Base aufnehmen konnte. Er betrachtete derartige Säuren, auch wenn ihre Formeln teilbar waren, als mehrbasisch; als zweibasisch,

¹⁾ Seite 149 ff.

wenn sie mit einer und derselben Base zwei verschiedene Arten von Salzen bilden konnten, als dreibasisch, wenn sie unter denselben Verhältnissen drei verschiedene Arten von Salzen bilden konnten.

Der Begriff der mehrbasischen Säuren wurde dann von *Gerhardt* erweitert. Nach *Gerhardt* ist jede Säure mehrbasisch, die saure Salze und Doppelsalze bilden kann, d. h. jede, die mehr als ein durch Metall zu ersetzendes Wasserstoffatom enthält. Er fügte ferner als besonderes Kriterium, daß eine Säure zweibasisch sei, hinzu, daß sie zwei Ätherarten, saure und neutrale, den verschiedenen Salzen entsprechend bilden solle.

Laurent schloß sich dieser Auffassung von *Gerhardt* an, stellte die damals bekannten Kennzeichen der mehrbasischen Säuren zusammen, und setzte hinzu, daß während eine einbasische Säure nur ein Amid bilden kann, eine mehrbasische Säure dagegen mehrere Amide zu bilden imstande ist. Eine zweibasische Säure bildet demgemäß ein neutrales und ein saures Amid.

Man kann die Beziehung zwischen der Theorie der mehrbasischen Säuren und der Lehre von den Typen leicht finden. Während man bei Verwendung des dualistischen Systems oft den Salzen einer und derselben Säure verschieden große Formeln zuerteilte, so suchte die Theorie der mehrbasischen Säuren vergleichbare Mengen; man schrieb hier alle Salze, neutrale wie saure so, daß sie auf denselben Typus wie die Säure selbst bezogen werden konnten. Die Theorie der mehrbasischen Säuren wurde also ein Mittel, die Molekulargröße der Säuren und Salze festzustellen, und dieselbe wurde nicht nur wegen zahlreicher, neuer Entdeckungen, die sie veranlaßte, der Wissenschaft fruchtbringend, sondern sie trug auch zur Entwicklung einer klaren theoretischen Anschauung wesentlich bei.

Die Theorie der Reste von *Gerhardt*. Zu der Zeit, wo *Gerhardt* seine Theorie der Reste, im Jahre 1839, vorlegte, wütete der Kampf zwischen Radikal-

theorie und Substitutionstheorie am heftigsten. Letztere Anschauung erhielt in der Lehre der Typen von Dumas ihren schärfsten Ausdruck, indem sich diese nicht nur gegen den Dualismus, sondern auch gegen den Begriff des Radikales überhaupt wandte. Gerhardt, der es als einen Übelstand empfand, sich der Kenntnis von den näheren Bestandteilen der organischen Verbindungen zu entsagen, versuchte, wiewohl unter anderem Namen und mit veränderter Bedeutung, die so verketzerten Radikale in die chemische Anschauung wieder einzuführen. Er stellte zu diesem Zwecke seine Theorie der Reste, *Théorie des résidues* auf.

Die Reste sind nach Gerhardt die Atomkomplexe, welche bei der Wechselwirkung zweier Substanzen, wegen der größeren Verwandtschaft gewisser Elemente, sich miteinander verbinden, während die Komplexe isoliert nicht vorkommen können. In dieser Weise erklärte Gerhardt die Bildung von Nitrobenzol aus Benzol und Salpetersäure, und äußerte sich über die Bildung derartiger, als „gepaart“ bezeichneter Verbindungen folgenderweise: „Wenn zwei Stoffe miteinander reagieren, so tritt aus dem einen derselben ein Element z. B. Wasserstoff heraus, das sich mit einem Element aus dem zweiten Stoffe z. B. Sauerstoff verbindet. Diese beiden Elemente bilden zusammen die stabile Verbindung Wasser, worauf die Reste zusammentreten.“ Prüft man die Auffassung von Gerhardt näher, so findet man, das dieselbe sowohl den Begriff der Substitution wie auch die Radikale in der Form veränderlicher Atomkomplexe enthält. In der Tat suchte Gerhardt durch diese Anschauungsweise den Verlauf der Substitution zu erklären, insofern als er ausdrücklich hervorhob, daß das heraustretende Element von der äquivalenten Menge eines anderen Elementes oder von einem gleichwertigen Reste der reagierenden Substanz ersetzt werden sollte.

In anderer Form war eine derartige Auffassung sowohl von Laurent wie von Dumas ausgesprochen worden, Ger-

hardt verstand es aber, aus seiner Anschauung wichtige Schlüsse zu ziehen, die den chemischen Charakter und besonders die Sättigungskapazität „gepaarter Verbindungen“ betrafen.

Versuche einer Klassifikation. Es liegt in der Natur der Sache, daß eine Systematik immer der Ausdruck gewisser theoretischer Anschauungen ist. Jede durchgreifendere Veränderung der chemischen Anschauungsweise muß notwendigerweise eine Veränderung der Systematik nach sich ziehen, umgekehrt üben aber die Versuche, übersichtliche Systeme zustande zu bringen, auf die Entwicklung der theoretischen Anschauungen immer großen Einfluß aus.

Der Versuch einer wissenschaftlichen Systematik der organischen Chemie wurde im Jahre 1828 von *Dumas* und *Boullay* gemacht, indem sie sämtliche Alkoholderivate in Übereinstimmung mit der Äthertheorie (Seite 123) zusammenstellten. In der Radikaltheorie hatte man eine Menge derartiger Zusammenstellungen, wie die der Äthylverbindungen, der Benzoylverbindungen usw. Den Versuch, eine alle organischen Verbindungen umfassende Systematik durchzuführen, machte, gestützt auf seine Kerntheorie, *Laurent* im Jahre 1836. Die Begrenzung des organischen Erfahrungsgebietes zu dieser Zeit bewirkte indessen, daß ein derartiger Versuch der Systematisierung großen Schwierigkeiten begegnete. Die Klassifikation von *Laurent* hat nichtsdestoweniger großen Einfluß ausgeübt und ist die Grundlage mehrerer späterer Klassifikationsversuche gewesen. Im Jahre 1842 hatte *Schiel* die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, daß die Radikale derjenigen organischen Verbindungen, die Alkohole genannt werden, in ihrer Zusammensetzung besonders einfache, regelmäßige Serien bilden, und in den Eigenschaften dieser Verbindungen ebenfalls eine der Zusammensetzung entsprechende Regelmäßigkeit vorhanden ist. In seiner Arbeit *Précis de chimie organique* (1844 bis 1845) machte *Gerhardt* diese Reihen, die

er in großer Anzahl zusammenstellte und homologe Reihen nannte, zur Hauptgrundlage der Systematik.

Während diese Chemiker bestrebt waren, in die rasch wachsende Anzahl von organischen Verbindungen Ordnung zu bringen, begnügten sich recht viele Vertreter der Chemie mit der von einem früheren Zeitalter hergebrachten Klassifikation nach sogenannten natürlichen Familien. Nach den verschiedenartigsten Gründen stellte man hier die chemischen Verbindungen nach Farbe, Konsistenz und physikalischen Eigenschaften zusammen.

Die Atomgewichte von Gerhardt und das Feststellen der Begriffe Molekül, Atom und Äquivalent. Im Anfang der vierziger Jahre hatte die Ungewißheit in bezug auf die Atomgewichte, die den Elementen zuzuteilen sind, ihren Höhepunkt erreicht. Das mit so großer Mühe von Berzelius zustande gebrachte Atomgewichtssystem war man geneigt aufzugeben oder wenigstens stark zu verändern. Anstatt der mit großer Schärfe und Genauigkeit festgesetzten Atomgewichte der Grundstoffe wollte man jetzt Verbindungsgewichte verwenden, d. h. Zahlen, die den Ausdruck der einfachsten Proportionen, worin die Stoffe sich miteinander chemisch verbinden, bilden. Alle Spekulationen über die relativen Atomgewichte wurden in den Bann getan, und man strebte vor allem einer möglichst einfachen Formulierung der chemischen Verbindungen nach. Die nächste Folge dieses Umschlages der Anschauungen war die Halbierung einer großen Anzahl der Berzeliusschen Atomgewichte. So erhielt man für Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel und die meisten Metalle anstatt der früher benutzten Atomgewichte nur halb so große, abgerundete Äquivalente: C=6, O=8, S=16, Ca=20, Mg=12 usw.

Gerhardt wandte sich im Jahre 1842 gegen diese Äquivalente und hob hervor, wie unberechtigt ihre Anwendung sei. Er zeigte, daß die bei den Reaktionen der orga-

nischen Verbindungen abgeschiedenen Mengen Wasser, Kohlensäure, Kohlenoxyd und schweflige Säure nie einem derartigen Äquivalente entsprechen, sondern zwei Äquivalenten oder einer geraden Zahl derselben. Den Unterschied der sich hierdurch in der Formulierung der anorganischen und der organischen Verbindungen geltend machte, suchte Gerhardt in der Weise zu vermeiden, daß er für die Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Schwefel, um die es sich in erster Linie handelte, die von Berzelius angegebenen Atomgewichte, auf Wasserstoff als Einheit bezogen, also $C = 12$, $O = 16$, $S = 32$, zu ihren Rechten kommen ließ. Mit dieser Reform blieb indessen Gerhardt auf halbem Wege stehen, denn während er den genannten Grundstoffen die richtigen Atomgewichte zuerteilte, so verwandte er bei der Mehrzahl der Metalle nur halb so große Atomgewichte wie die von Berzelius festgesetzten. Im Gegensatz zu Berzelius, der von der Voraussetzung ausging, daß die meisten Metalloxyde nach der allgemeinen Formel RO zusammengesetzt sind, verglich Gerhardt die Metalloxyde mit dem Wasser und drückte ihre Zusammensetzung durch das Symbol R_2O aus. Hieraus folgte, daß er für die einwertigen Metalle richtige Atomgewichte erhielt, für die zweiwertigen aber halb so kleine, z. B. für Kalzium 20 statt 40, für Blei 103,5 statt 207 usw.

Außer dieser Unvollkommenheit lag über den Spekulationen von Gerhardt über die Atomgewichte eine andere Dunkelheit, die geeignet war, viel Verwirrung herbeizuführen. Er nannte nämlich die obigen von ihm benutzten Zahlen Äquivalente, und wandte diese Bezeichnung auch bei chemischen Verbindungen (Molekülen) an. So waren nach Gerhardt die durch die Formeln HCl , H_2SO_4 und $C_2H_4O_2$ angegebenen Mengen von Chlorwasserstoff, Schwefelsäure und Essigsäure äquivalent.

Auf diesem Gebiete wurde Klarheit erst durch Laurent geschaffen, der klar und deutlich den Unterschied zwischen Molekulargewicht, Atomgewicht und Äqui-

valentgewicht nachwies. Laurent gebührt auch die Ehre, die der Entwicklung der Chemie so bedeutungsvolle Hypothese von Avogadro zu neuem Leben gerufen zu haben.

Unter Molekulargewicht verstand Laurent die Gewichtsmengen eines Elementes oder einer chemischen Verbindung, die in Gasform, unter gleichen äußeren Bedingungen, das gleiche Volum einnehmen wie zwei Atome Wasserstoff; die von zwei Atomen Wasserstoff dargestellte Menge wurde von Laurent als das Molekül des Wasserstoffs aufgefaßt. Die Molekulargewichte von Chlor, Sauerstoff, Stickstoff und Cyan wären also durch die Formeln Cl_2 , O_2 , N_2 , $(\text{CN})_2$ wiederzugeben, und die Molekulargewichte von Chlorwasserstoff und Essigsäure durch Formeln HCl und $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, weil die diesen Formeln entsprechenden Mengen in Gasform ein gleiches Volumen einnehmen wie zwei Atome Wasserstoff. Hier fällt die Übereinstimmung zwischen der Auffassung von Laurent und der Hypothese von Avogadro in die Augen, welcher Laurent eine bedeutend größere Tragweite gegeben hat. Die Moleküle wurden von Laurent definiert als „die kleinsten Mengen, die man anwenden muß, um eine chemische Verbindung zustande zu bringen.“ Die Beweise dieser Auffassung formuliert Laurent in folgender Weise:

1. Da bei chemischen Veränderungen stets Mengen Substanz reagieren oder abgeschieden werden, die eine gerade Anzahl Atome enthalten, so enthalten auch die Moleküle stets eine gerade Anzahl. Weil z. B. bei der Einwirkung von Chlor auf organische Verbindungen stets 2, 4, 6 usw. und nie 1, 3, 5 usw. Atome Chlor reagieren, so enthält ein Molekül Chlor immer zwei Atome.

2. Wenn verschiedene Verbindungen völlig dieselben Veränderungen zeigen, so müssen sie auch völlig analoge Zusammensetzung haben. Vergleicht man z. B. die Einwirkung von Chlor mit derjenigen von Chloreyan, Benzoylchlorid und anderen, so führt auch dies zur Annahme, daß ein Molekül zwei Atome enthalte.

Ein Atom ist nach Laurent die kleinste Menge eines Elementes, die in einer chemischen Verbindung vorkommen kann. Als Atomgewichte nahm er die von Gerhardt angegebenen Werte an, welche bei den meisten Elementen mit den von Berzelius festgesetzten identisch waren.

Äquivalente bedeuteten für Laurent „gleichwertige Mengen von analogen Stoffen.“ Aus dieser Definition des Begriffes der Äquivalenz folgte, daß ein und dasselbe Element verschiedene Äquivalente haben könnte, je nachdem es mit verschiedenen Elementen Verbindungen bildete.

Diese gemeinschaftlichen Einsätze von Gerhardt und Laurent in wichtige, theoretisch-chemische Fragen, wurden indessen von den Vertretern der Chemie mit wenig Verständnis empfangen, insbesondere wurde der Annahme von wechselnden Äquivalenten ein lebhafter Widerstand entgegen gesetzt. Die ganz richtigen, nur experimentell noch nicht völlig bestätigten Ansichten von Laurent über die Größe der Moleküle der Elemente waren noch am Ende der vierziger Jahre nicht allgemein geltend. Die früher erwähnten Verbindungsgewichte (Seite 140) wurden mehrenteils beibehalten, und standen in so hohem Ansehen, daß sogar Gerhardt selbst in seinem im Jahre 1853 herausgegebenen *Lehrbuch der Chemie*, in den ersten drei Teilen dieser Arbeit entgegen seiner Überzeugung, auf derartige Verbindungsgewichte gegründete Äquivalentformeln benutzte. Kräftigere Beweise als die von Laurent und Gerhardt angeführten mußten also vorgebracht werden, damit die von ihnen vorgeschlagenen Atom- und Molekulargewichte allgemein angenommen werden sollten.

Die Untersuchungen von Wurtz, Hofmann und Williamson. Von der größten Bedeutung für die festere Gestaltung der Ansichten, die zuletzt ihre Zusammenfassung in der *Typentheorie* von Gerhardt erhielten, waren die von *Wurtz*¹⁾ und von

¹⁾ Seite 149 ff.

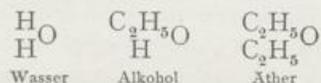
A. W. Hofmann²⁾ gemachten Entdeckungen einiger organischer Ammoniakderivate. Jenem gelang es im Jahre 1849 durch Zersetzung von Cyansäureestern mittels Kaliumhydroxyd die organischen Basen Methylamin und Aethylamin darzustellen. In bezug auf organische, stickstoffhaltige Verbindungen hatte Berzelius früher die Auffassung ausgesprochen, daß sie als „gepaarte Verbindungen mit Ammoniak“ anzusehen wären, und im Anfang schloß sich auch Wurtz dieser Auffassung an. Später neigte er aber zu der Ansicht, daß diese organischen Basen wirklich Substitutionsprodukte des Ammoniaks sein können.

Die typentheoretische Anschauungsweise dieser Basen wurde völlig durchgeführt erst durch die in experimenteller Hinsicht glänzenden Untersuchungen von A. W. Hofmann über die Aminbasen. Die Bildung dieser Aminbasen aus Ammoniak und den Alkyl-Halogenderivaten bildete einen vorzüglichen Beweis für die Richtigkeit der Annahme, daß diese Verbindungen aus Ammoniak durch den Austausch von Wasserstoff gegen Alkyl entstanden seien. Diese Auffassung erhielt eine weitere Stütze durch die Entdeckung von Imid- und Nitrilbasen, welche kaum anders aufgefaßt werden können denn als Ammoniak, in dem zwei bzw. drei Wasserstoffatome durch Alkylgruppen ersetzt sind. Erst durch die Untersuchungen von Hofmann ging Wurtz zu der Ansicht über, daß alle diese Basen als Ammoniakderivate aufzufassen sind.

Nachdem hierdurch Ammoniak als Typus völlig anerkannt worden war, wurde dies, dank den epochemachenden Untersuchungen von Williamson¹⁾, auch beim Wassertypus der Fall. Williamson versuchte durch Einführung von Kohlenwasserstoffradikalen in vorher bekannte Alkohole zu den Homologen der letzteren zu gelangen. Bei der Einwirkung von Äthyljodid auf Kaliumäthylat erhielt er aber nicht den gesuchten Alkohol, sondern

¹⁾ Seite 149 ff.

statt dessen Äthyläther. Das Resultat veranlaßte ihn, zu untersuchen, ob bei der Einwirkung von Methyljodid auf Kaliumäthylat ein einheitliches Produkt entstehe oder ein Gemenge von Methyl- und Äthyläther. Es stellte sich heraus, daß letzteres der Fall war. Das erhaltene Produkt war nämlich Methyläthyl oxyd. Dadurch erhielt sowohl die gerade zu dieser Zeit, im Jahre 1850, brennende Frage nach der Molekulargröße von Alkohol und Äther, wie auch diejenige nach dem Atomgewicht des Sauerstoffs, ihre endgültige Lösung. Die Annahme von Liebig, daß der Alkohol ein Hydrat des Äthers sei, mußte verlassen werden; dagegen erwiesen sich die von Berzelius aufgestellten Molekularformeln der beiden Verbindungen als völlig richtig. Die durch Wechselwirkung von Alkohol und Schwefelsäure stattfindende Ätherbildung erhielt durch die Versuche von Williamson eine endgültige Erklärung. Er betrachtete Alkohol und Äther als dem Wasser analog zusammengesetzt und aus demselben herzuleiten, wie aus folgenden Formeln hervorgeht:

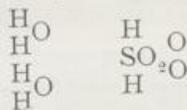


Eine derartige Anschauungsweise benutzte Williamson, um die Zusammensetzung einer Menge organischer und anorganischer Verbindungen zu erklären, und sie trug in der nächsten Zukunft reiche Früchte. Sie führte Gerhardt zur Entdeckung der Säureanhydride und Wurtz zur Erkenntnis des Vorhandenseins von Kohlenwasserstoffradikalen, durch deren nähere Untersuchung das Problem der Molekularformeln ganzer Serien von organischen Verbindungen seine Lösung erhielt.

Die Typentheorie von Gerhardt. Aus der Darstellung der von Wurtz, Hofmann und Williamson ausgeführten Untersuchungen geht hervor, daß dieselben zur Entwicklung einer typentheoretischen Auffassung der organischen Verbindungen in hohem Grade mitgewirkt haben.

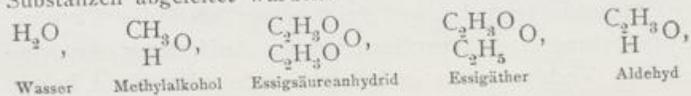
Aus dem Ammoniaktypus leitete man eine große Zahl von stickstoffhaltigen Verbindungen ab, und eine noch größere Anzahl von dem von Williamson eingeführten Wassertypus. Gerhardt vollendete das Werk, indem er diesen beiden Typen den Typus des Wasserstoffes (bzw. des Chlorwasserstoffes) zufügte, und versuchte dann von diesen Formeln sämtliche Verbindungen der organischen Chemie abzuleiten.

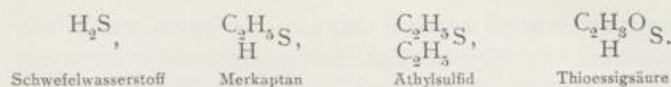
Das schon bei der Radikaltheorie bemerkbare Bestreben, organische Verbindungen mit anorganischen zu vergleichen, hat die Typentheorie noch mehr gekennzeichnet, indem hier anorganische Verbindungen als Typen der Zusammensetzung von organischen Verbindungen dienten. Williamson dehnte die Anwendung des Wassertypus nicht nur auf sauerstoffhaltige, sondern auch auf sauerstofffreie Substanzen aus. Indem er ferner den Wassertypus verdoppelte oder verdreifachte, führte Williamson den Begriff der mehratomigen Radikale in die Chemie ein. So leitete er beispielsweise die Schwefelsäure von zwei Molekülen Wasser ab, worin zwei Wasserstoffatome durch das zweiatomige Radikal Sulfuryl, SO_2 ersetzt sind:



In derselben Weise leitete er unter Annahme des dreiatomigen Radikales Phosphoryl, PO , die Phosphorsäure von drei Molekülen Wasser ab.

Von dem Wassertypus leitete Gerhardt die Mehrzahl der organischen Verbindungen ab, wie Alkohole, Säuren, einfache und zusammengesetzte Äther, Aldehyde, Ketone und Salze. Als ein dem Wasser beigeordneter Typus wurde Schwefelwasserstoff benutzt, von welchem Typus die den Alkoholen, Säuren usw. entsprechenden, schwefelhaltigen Substanzen abgeleitet wurden:

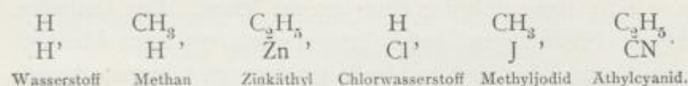




Von dem Ammoniaktypus wurden abgeleitet Amine, Säureamide, Phosphine, Arsine u. a.:



Der Wasserstofftypus umfaßte Kohlenwasserstoffe und Organometalle. Von dem Chlorwasserstoff wurden abgeleitet Chloride, Jodide, Cyanide u. a.:



Mit Recht konnte Gerhardt dieses Ordnen der organischen Verbindungen nach gewissen Typen ein *Système unitaire* heißen, denn jeder Gedanke an irgendeinen Dualismus war von seiner Anschauungsweise ausgeschlossen. Sogar die Salze mußten unitarisch aufgefaßt werden, weil sie vom Wassertypus abgeleitet waren.

Mit Fug dürfte man die Frage stellen, ob Gerhardt durch die Ableitung der organischen Verbindungen von gewissen Typen, der Lösung derjenigen Aufgabe näher gekommen ist, die von Berzelius als die höchste Aufgabe der Chemie bezeichnet worden war, nämlich die Kenntnis der näheren Bestandteile der Verbindungen oder, mit anderen Worten, ihrer Konstitution. Dies war nicht der Fall, und Gerhardt selbst hat seine Überzeugung von der Unmöglichkeit den wirklichen Bau der organischen Verbindungen zu erforschen, sehr deutlich angegeben. Nach Gerhardt sollen die chemischen Formeln als Bild der Umsetzungen, an den die chemischen Verbindungen teilnehmen, aufgefaßt werden, sie haben deshalb nur die Aufgabe, die Bildung und Zersetzung der Verbindungen zu veranschaulichen. „Die Typen bezeichnen unter keinen Umständen die Art der

Atomgruppierung, sondern vielmehr Analogien und Metamorphosen. Der Typus dient als *E i n h e i t* beim Vergleich aller Verbindungen, die eine gleichartige Zersetzung aufweisen oder Produkte von gleichartigen Zersetzungsprozessen sind“.

Aus dem Angeführten geht hervor, daß das System von Gerhardt als eine schließliche Verschmelzung der Typenlehre von Dumas mit der älteren Radikaltheorie zu betrachten ist.

Von diesen beiden Anschauungen hat Gerhardt einzelne Teile benutzt um dieselben, wenngleich etwas umgeformt, in sein System unitaire eingehen zu lassen. Der Gedanke, daß die organischen Verbindungen nach gewissen Mustern gebaut sind oder daraus abgeleitet werden können, stammt hauptsächlich von der älteren Typenlehre. Von durchgreifender Bedeutung für die neue Typentheorie war es, daß sie der Radikaltheorie die Vorstellung von Atomgruppen, die sich wie Elemente verhalten, entnahm. Derartige Gruppen können aber nicht, wie man im Anfang glaubte, in freiem Zustande vorkommen, sondern nur innerhalb der Verbindungen die Rolle eines Elementes spielen.

Während die ältere Typentheorie der Ansicht war, daß die Beschaffenheit der Bestandteile keinen bemerkbaren Einfluß auf den Charakter einer Verbindung ausübte, so näherte sich in diesem Punkte Gerhardt, wenn auch anscheinend widerwillig, der Auffassung der Berzeliusschen Schule. Er hebt hervor, daß die in die Typen anstatt des Wasserstoffes hineintretenden Atome oder Atomgruppen je nach ihrer elektrochemischen Natur den Charakter der entstandenen Verbindungen bestimmen. Nach Gerhardt ist das Kali $\begin{matrix} \text{K} \\ \text{H} \end{matrix} \text{O}$, eine basische und die Salpetersäure $\begin{matrix} \text{NO}_2 \\ \text{H} \end{matrix} \text{O}$ eine saure Verbindung, weil in jener ein positives, in dieser ein negatives Radikal statt des Wasserstoffs ins Wasser eingetreten ist; der Alkohol $\begin{matrix} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \end{matrix} \text{O}$ ist so gut

wie chemisch neutral, weil das Radikal Äthyl in bezug auf chemische Eigenschaften dem Wasserstoff sehr ähnlich ist. Ein derartiger Umschlag der Anschauungsweise derjenigen Schule, die früher jeden Gedanken, daß die elektrochemischen Verhältnisse die Eigenschaften der Verbindungen in irgendeiner Weise beeinflussen, aufs lebhafteste bekämpft hatte, gehört zu den bedeutungsvollsten Momenten in bezug auf den theoretisch-chemischen Standpunkt zu Mitte des neunzehnten Jahrhunderts.

Hervortretende Persönlichkeiten der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts.

Arago, François Jean Dominique, französischer Astronom, Physiker und Staatsmann, wurde im Jahre 1786 in Estagel nahe Perpignan geboren. Er machte die polytechnische Schule in Paris mit Auszeichnung durch und wurde im Jahre 1805 der Schriftführer des „Bureau des longitudes“. Im Jahre 1809 wurde er zum Professor an obiger Lehranstalt ernannt. Er gründete, mit Gay-Lussac gemeinschaftlich, im Jahre 1816 „*Annales de Chimie et de Physique*“ und wurde im Jahre 1830 Direktor der Pariser Sternwarte und zugleich Schriftführer der französischen Akademie der Wissenschaften. — Arago starb zu Paris im Jahre 1853.

Avogadro, Graf Amadeo A. di Quaregna e Ceretto, italienischer Physiker, wurde in Turin im Jahre 1776 geboren. Im Jahre 1796 wurde er in seiner Geburtsstadt Doktor der Rechte und erhielt später daselbst einige niedrige juristische Stellen. Als Autodidakt widmete er sich dem Studium der Physik immer mehr und verließ zuletzt die Jurisprudenz ganz und gar. Nachdem er einige bescheidene Lehrstellen in Turin und Vercelli bekleidet hatte, wurde er im Jahre 1820 zum Inhaber einer für ihn errichteten Stellung als Professor der höheren Physik an der Universität Turin, welche Avogadro bis 1850 bekleidete. Im Jahre 1811 stellte Avogadro die nach ihm benannte Hypothese auf, daß alle Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die gleiche Anzahl von Molekülen pro Einheit des Volumens enthalten. Die wirkliche Tragweite dieses Satzes, der jetzt die Grundlage der Chemie und wichtiger Teile der Physik bildet, wurde von

Avogadro selbst wie von der Mitwelt nicht aufgefaßt. — Er starb in Turin im Jahre 1850.

Berzelius, Jöns Jacob, wurde am 20. August 1779 geboren. Seine Wiege stand nicht fern vom Strande des Wettersees am Fuße des Omberg. Früh verlor er seine Eltern, wurde von Pflegeeltern erzogen, und die Kindheit hinterließ Erinnerungen, bei denen der erwachsene Mann nicht gern verweilte. Schon am Gymnasium zu Linköping, in den Jahren 1793—96,



Jöns Jacob Berzelius.

offenbarte sich seine Lust für das Studium der Natur, und zwar in so hohem Grade, daß er die gewöhnlichen Lehrgegenstände versäumte und deshalb, als er zur Universität übergang, das Zeugnis erhielt: „ein Jüngling von wenig guten Sitten und zweifelhafter Hoffnung“ zu sein. Der erstere Teil dieses Urteils war erwiesenermaßen falsch, der spätere wurde von der Zukunft widerlegt. An der Universität Upsala, wo er als Student im Jahre 1796 immatrikuliert wurde, widmete sich Berzelius medizinischen Studien, die er im Jahre 1802 zum Abschluß brachte. Während des Aufenthaltes an der Universität erwachte seine Lust für physische und chemische Studien, doch nicht an-

geregt durch die Vertreter dieser Fächer, denn diese ermunterten ihn nicht im geringsten, sondern dank einem Pflegebruder, der zu gleicher Zeit dort studierte. Die glänzende Periode der Naturwissenschaften während der Tage von Linné, Bergman und Scheele war vorüber. Der akademische Unterricht war wenig befriedigend und Berzelius mußte, wie so mancher der großen Männer der Wissenschaft, sein eigener Lehrmeister werden. Der Geist an der Universität paßte nicht für einen Mann von Berzelius' Denkungsart, nicht für einen Mann, der wahre Erkenntnis nur auf dem Wege der Erfahrung finden zu können glaubte. Berzelius verließ die Universität sobald er, im Jahre 1804, Doktor der Medizin geworden war. In Stockholm wurde er bestellt, gegen eine geringe Vergütung die Professur der Pharmacie an dem jetzigen Karolinischen Institut zeitweilig aufrecht zu erhalten. Als die Stelle besetzt wurde, wurde er übergangen, aber nicht viel später, nach dem Tode des Ordinarius, im Jahre 1807, wurde er Professor der Chemie und Pharmazie an der genannten Lehranstalt. Er war damals nur 28 Jahre alt, aber schon ein berühmter Gelehrter. Diese Stellung hatte Berzelius bis 1831 inne, wo er Abschied nahm, um sich der wissenschaftlichen Wirksamkeit und die Besorgung der Akademie der Wissenschaften ausschließlich zu widmen; seit 1818 war Berzelius der ständige Schriftführer der Akademie. Am Ende des Jahres 1847 wurde der früher so rüstige Mann von einem Schlaganfall gelähmt, später kam ein Rückenmarksleiden hinzu, wovon ihn der Tod am 7. August 1848 befreite.

Diese sind die Umriss eines Lebens, das der wissenschaftlichen Forschung ganz und gar gewidmet war. Kein Chemiker, weder früher noch später, hat wie er diese Wissenschaft beherrscht, wenige Chemiker haben so viele Anerkennung erhalten und sind Gegenstand so großer Bewunderung ihrer Mitwelt wie er gewesen. Fürsten und gelehrte Gesellschaften wetteiferten, ihn mit Auszeichnungen zu überhäufen, doch der Erfolg verleitete ihn nicht, sich selbst zu überschätzen. Er kannte seinen Wert, betrachtete sich aber immer nur als Diener der Wissenschaft. Wohlwollend, in seiner Auffassung selbständig, prunklos und die Verdienste anderer gern anerkennend, ließ Berzelius bei allen denjenigen, mit denen er in Berührung kam, eine unvergeßliche Erinnerung zurück. Mit den Schülern, die aus fremden Ländern zu ihm strömten, knüpften sich Freundschaftsbande, die keine Meinungsverschiedenheit, nur der Tod auflösen konnte.

Ein Forscher kann in vielen, verschiedenen Richtungen

seiner Wissenschaft nützen. Er kann neue Felder der Forschung öffnen, indem er neue Tatsachen entdeckt, die zur Vermehrung des wissenschaftlichen Materiales beitragen; ferner kann er sammeln und zu einem übersichtlichen Ganzen die Resultate der wissenschaftlichen Forschung zusammenstellen; er kann endlich als Systematiker der Wissenschaft eine zeitgemäße Form geben. Berzelius hat in jeder dieser Beziehungen der Wissenschaft großartige Dienste geleistet, in erster Linie als experimenteller Forscher.

Die experimentellen Arbeiten von Berzelius, von einer früher unbekanntenen Genauigkeit gekennzeichnet, erstrecken sich über das ganze Gebiet der Chemie. Es ist natürlich unmöglich, hier eine noch so oberflächliche Übersicht über die von Berzelius gemachten, in mehr als zweihundert Abhandlungen niedergelegten, experimentellen Funde zu geben. Fast alle zu seiner Zeit bekannten Grundstoffe wurden in ihren chemischen Eigenschaften von ihm näher studiert. Neue Grundstoffe, Selen, Cer und Thorium, und neue Klassen von Verbindungen, wie Fluor- und Schwefelsalze, wurden von Berzelius entdeckt und charakterisiert. Die quantitative Analyse wurde ausgearbeitet. Wichtige Untersuchungen auf dem Gebiete der physiologischen und organischen Chemie wurden ausgeführt. Methoden, organische Verbindungen zu analysieren wurden ausgearbeitet; die ersten exakten Analysen von organischen Substanzen stammen von Berzelius. Die Entdeckung der gleichen Zusammensetzung von Traubensäure und Weinsäure führte zur Feststellung von dem in der modernen Chemie so äußerst wichtigen Begriffe der *Iso-merie*. Die wichtigste aller Arbeiten von Berzelius ist jedoch die Feststellung der Atomgewichtszahlen oder relativen Atomgewichte, eine Arbeit, die für sich allein genüge, um ihm für alle Zeiten einen Ehrenplatz in der Geschichte der Chemie zu verschaffen.

Auch als Sammler wissenschaftlicher Tatsachen hat Berzelius Großtaten vollbracht. Seine in viele Sprachen übersetzte Lötrohrchemie rettete die Arbeiten von Gahn (Seite 70) vor Vergessenheit; die Vorlesungen von Berzelius über Tierchemie im Jahre 1806 sind die Grundlage des nunmehr so bedeutungsvollen Zweiges der Wissenschaft, der physiologische Chemie genannt wird. Durch seine großen, mit vorbildlicher Ordnung und Klarheit geschriebenen Lehrbücher der Chemie wurde Berzelius der Lehrmeister seiner Zeit auf chemischem Gebiete. Das wichtigste Resultat seiner Sammeltätigkeit haben wir aber

in den von Berzelius jährlich herausgegebenen Übersichten über die Fortschritte der Chemie und Physik, zusammen 26 Bände, zu suchen. Durch dieselben wurde die Kenntnis der in einer Menge wissenschaftlicher Zeitschriften verstreuten chemischen Literatur sehr erleichtert, und neue Arbeiten wurden einer oft wohl angebrachten Kritik unterworfen.

Die Periode der Chemie, während deren Berzelius seine wissenschaftliche Laufbahn begann, war auch besonders bedeutungsvoll. Kaum war Lavoisier gestorben, als die antiphlogistische Auffassung überall siegte und die Grundlage wurde, worauf Berzelius sein Lehrgebäude aufzuführen konnte. Schon am Ende des 18. Jahrhunderts war durch die Untersuchungen von Richter über die Neutralisation von Säuren und Basen der Grund zur Äquivalentlehre gelegt, und die Fortführung dieser Untersuchungen wurde Gegenstand der ersten chemischen Arbeiten von Berzelius. Zugleich wurde durch Dalton die atomistische Betrachtungsweise von Demokrit in die chemische Wissenschaft eingeführt, wo dieselbe seither, wie auch die Anschauungen gewechselt haben, die Grundlage aller Theorien geblieben ist. Kurz nach der Entdeckung des Gesetzes der multiplen Proportionen durch Dalton, machte Gay-Lussac die fast ebenso wichtige Entdeckung der einfachen Gesetzmäßigkeit, die bei der Verbindung gasförmiger Stoffe stattfindet. In seiner elektrochemischen Theorie hat Berzelius wie in einem Brennpunkt alle diese Hypothesen zusammengeführt und vereinigt.

Dalton, John, englischer Chemiker und Physiker, wurde im Jahre 1766 in Eaglesfield, Cumberland, geboren. Als Sohn eines armen Webers mußte er früh sein Brot als Hauslehrer verdienen. Dank seinem Interesse für die Physik und Mathematik verstand es Dalton, sich eine so gründliche Ausbildung in diesen beiden Fächern zu verschaffen, daß er der Ausführung selbständiger Untersuchungen auf diesen Gebieten fähig war. Seit 1793 war er als Lehrer der Physik und Chemie an *New College*, Manchester, tätig und machte hier im Jahre 1794 die bedeutungsvolle Entdeckung der sogenannten Farbenblindheit. Dalton begann sich nun auch mit der Lösung chemischer Fragen zu beschäftigen, und sicherlich haben dabei seine früheren Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften der Gase auf seine späteren chemischen Arbeiten einen großen Einfluß gehabt, denn er hatte dadurch eine große experimentelle Gewandtheit erworben, die ihn befähigte, gasförmige Körper zu analysieren. Außer in einer Menge in verschiedenen Zeit-

schriften veröffentlichten Abhandlungen, ist der hauptsächlichste Teil seiner chemischen Untersuchungen in seiner Arbeit *New system of chemical philosophy* enthalten.

In ungewöhnlichem Maße bescheiden, strebte Dalton der Erwerbung einer besseren Stellung oder einem größeren Wirkungskreise nicht nach, sondern vom Jahre 1799 ab war er ausschließlich als Privatlehrer tätig. Bei dem wahrhaft philosophischen Gemüte von Dalton war seine beste Belohnung die Erforschung der Wahrheit. — Er starb in Manchester im Jahre 1844.



John Dalton.

Davy, Humphrey, Baronet, englischer Chemiker, wurde in Penzance, Cornwall im Jahre 1778 geboren. Im Jahre 1802 wurde er Professor der Chemie an der Royal Institution, London und 1820—27 war er der Präsident der Royal Society. Durch seine im Jahre 1806 begonnenen Untersuchungen über die Einwirkung des elektrischen Stromes auf chemische Verbindungen gab Davy der wissenschaftlichen Entwicklung der Chemie eine große Förderung. Bei diesen Untersuchungen kam Davy zur Entdeckung des Metalloides Bor, der Metalle der Alkalien und alkalischen Erden. Im Jahre 1810 sprach Davy aus, daß Chlor, früher als eine chemische Verbindung betrachtet, ein Element sei und daß die Verbindungen der Metalle mit Chlor eine besondere Gruppe von Salzen seien, welche Gruppe

später Haloidsalze genannt worden ist. Im Jahre 1815 erfand er die in Kohlengruben benutzte, nach ihm benannte Sicherheitslampe. Unter den wichtigeren Schriften Davys sind erwähnenswert: *Elements of chemical philosophy* und *Elements of agricultural chemistry*. Durch zunehmende Kränklichkeit wurde die Tatkraft Davys frühzeitig gelähmt. Schon im Jahre 1813 mußte er aus Gesundheitsrücksichten seine Professur aufgeben und seine Gesundheit in südlicheren Ländern wiederzu-



Humphrey Davy.

gewinnen suchen; 1820—27 hielt er sich wieder in England auf, starb aber während einer Reise in Genf, im Jahre 1829.

Dulong, Louis Pierre, französischer Chemiker und Physiker, war im Jahre 1785 in Rouen geboren. Außer seinen mit Petit ausgeführten Untersuchungen über die Atomwärme, hat Dulong auf rein chemischem Gebiete mehrere äußerst bedeutungsvolle Untersuchungen ausgeführt z. B. über den Chlorstickstoff, dessen Entdeckung im Jahre 1811 ihm ein Auge und drei Finger kostete, über die Sauerstoffverbindungen des Phosphors und Stickstoffes u. a. Bei Berzelius' Besuche in Paris 1819 führte Dulong mit ihm zusammen Untersuchungen über die Dichten der Gase

und über das Atomgewicht des Wasserstoffs aus. Dulong starb im Jahre 1838 als Studiendirektor an der Ecole polytechnique, Paris.

Dumas, Jean Baptiste, französischer Chemiker, geboren im Jahre 1800 in Alais, verdient unter den Großen der Chemie einen hervorragenden Platz. Als junger Apotheker kam er in Genf mit mehreren hervorragenden Gelehrten, wie *Pictet, de Candolle, de la Rive* u. a., in Berührung, und hierdurch wurde seine Lust sich mit wissenschaftlichen Fragen zu beschäftigen in hohem Grade angestachelt. Besonders durch die mit *Prévost*



Jean Baptiste Dumas.

ausgeführten physiologisch-chemischen Untersuchungen lenkte er gleich zu Anfang die Aufmerksamkeit auf sich. Auf Anraten von Humboldt reiste Dumas im Jahre 1823 nach Paris, wo er von den hervorragendsten Chemikern der Zeit herzlich empfangen wurde. Er wurde zuerst Lehrer der Chemie an Ecole polytechnique und darauf Professor zuerst am Athénéeum, dann an der Sorbonne, wo er eine außerordentlich fruchtbringende Lehrtätigkeit ausübte. Da ihm ein zweckentsprechendes Laboratorium fehlte, so legte er ein solches auf eigene Kosten im Jahre 1832 an. Im selben Jahre wurde er Mitglied der französischen Akademie der Wissenschaften. Nach der Revolution 1848 wurde Dumas in „die gesetzgebende Versammlung“ gewählt. 1849—51 gehörte er dem Kabinett als Minister der Landwirtschaft und des Handels an. Im Jahre 1868 wurde

Dumas zum beständigen Schriftführer der Akademie ausersehen. Unter seinen Schriften seien erwähnt: *Traité de chimie appliquée aux arts* und *Leçons sur la philosophie chimique*. — Dumas starb zu Cannes im Jahr 1884.

Faraday, Michael, englischer Physiker und Chemiker, wurde im Jahre 1791 in Newington Butts, wo der Vater Schmied war, geboren. Im Alter von 13 Jahren wurde er bei einem Buchbinder in London in die Lehre gegeben, benutzte aber während der Lehrzeit seine Mußestunden um Chemie und andere naturwissenschaftliche Fächer zu studieren. Im Jahre 1812 fand er Gelegenheit einige Vorlesungen von Sir Humphry Davy zu hören und wurde auf dessen Empfehlung im folgenden Jahre Assistent an dem chemischen Laboratorium der Royal Institution. Nachdem er während einer längeren Reihe von Jahren eine Menge bedeutender Entdeckungen auf dem chemischen Gebiete veröffentlicht hatte, wurde er im Jahre 1827 zum Professor der Chemie an Royal Institution ernannt. Obgleich Faraday viele bedeutende chemische Entdeckungen gemacht hat, sind doch seine Entdeckungen innerhalb der Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus von noch größerer Bedeutung. Durch das Studium der zersetzenden Einwirkung des elektrischen Stromes erkannte Faraday die Gesetzmäßigkeit, die in dem nach ihm benannten elektrolytischen Gesetze ihren Ausdruck findet. Faraday starb in London im Jahre 1867.

Gay-Lussac, Louis Joseph, französischer Chemiker und Physiker, wurde im Jahre 1778 in Saint-Léonard (Haute-Vienne) geboren. Er studierte in Paris an der Ecole polytechnique und führte dort seine ersten Untersuchungen aus. Im Jahre 1809 wurde er Professor an derselben Lehranstalt und gleichzeitig Professor der Physik an der Sorbonne und später, im Jahre 1832, daneben Professor der allgemeinen Chemie am Jardin des Plantes. In Anbetracht sowohl der Zahl wie der Bedeutung seiner Arbeiten muß Gay-Lussac zu den hervorragendsten Naturforschern seiner Zeit gerechnet werden. Als klassische Arbeiten in der Chemie werden angesehen die Untersuchungen von Gay-Lussac über das Jod, über die Sauerstoffverbindungen des Chlors und vom theoretischen Standpunkt die Entdeckung des zusammengesetzten Radikales Cyan. Eine große Anzahl anderer chemischer Untersuchungen von Gay-Lussac betreffen z. B. die Gärungsprozesse, die Ätherbildung u. a. Gay-Lussac ist der Begründer der *Titrieranalyse* und hat außerdem eine Menge technisch wichtiger Analysemethoden ausgearbeitet, die die Untersuchung von Pulver, Chlorkalk, Pottasche, Soda, Borax und an-

dere Stoffe betreffen. Die meisten Experimentaluntersuchungen von Gay-Lussac sind in den *Annales des Chimie*, einige in den *Mémoires de la Société d'Arcueil* und den *Comptes rendus* veröffentlicht. — Er starb in Paris im Jahre 1850.

Gerhardt, Karl Friedrich, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1816 in Straßburg geboren. Er studierte an mehreren deutschen Hochschulen, zuletzt unter der einsichtsvollen Leitung von Liebig. Nachdem er einige Jahre seine Studien in Paris fortgesetzt hatte, war Gerhardt in den Jahren 1844—48 Professor der Chemie an der Universität Montpellier, und nahm



Louis Joseph Gay-Lussac.

dann seinen Wohnsitz in Paris, um sich der chemischen Forschung völlig widmen zu können. Gerhardt starb im Jahre 1856, kurze Zeit nachdem er zum Inhaber der Professur für Chemie an der Universität Straßburg berufen worden war.

Graham, Thomas, englischer Chemiker und Physiker, wurde im Jahre 1805 geboren. Er widmete sich frühzeitig dem Studium der Chemie und Physik und wurde, nachdem er im Jahre 1824 sein Doktorexamen gemacht hatte, 1830 Professor der Chemie an Andersonian Institution, Glasgow. Im Jahre 1837 erhielt er den Ruf als Professor an University College, London, und wurde 1855 zum Direktor der englischen Münze ernannt. Unter den chemischen Arbeiten von Graham sind besonders erwähnenswert seine Untersuchungen über die isomeren

Phosphorsäuren, den Phosphorwasserstoff und die Legierung des Wasserstoffs mit Palladium. Sein Buch: *Elements of chemistry*, das im Jahre 1837 erschien, ist sowohl in der Originalsprache wie in der deutschen Bearbeitung von *Otto* von großer Bedeutung für die chemische Ausbildung an den Universitäten gewesen. — Er starb im Jahre 1869.

Hisinger, Wilhelm, schwedischer Chemiker und Physiker, wurde in Westmanland im Jahre 1766 geboren. Er studierte an



August Wilhelm von Hofmann.

der Universität Upsala und war eine Zeitlang Mitglied des Bergkollegiums, der obersten Aufsichtsbehörde für Bergbau. Er schied indessen bald aus und ließ sich auf seinen ererbten Besitztümern Skinskatteberg und Baggå nieder, wo er große Hüttenwerke betrieb. Nebenbei betrieb er auch erfolgreiche wissenschaftliche Studien. In Gemeinschaft mit Berzelius entdeckte er die Cererde und führte ebenfalls mit Berzelius Untersuchungen über die Einwirkung des elektrischen Stromes auf Lösungen von Salzen aus. — Er starb 1852.

Hofmann, August Wilhelm, deutscher Chemiker, geboren in Gießen 1818. Nachdem er mehrere Jahre Philosophie und Jurisprudenz studiert hatte, widmete er sich unter der Leitung

von Liebig dem Studium der Chemie und wurde von Liebig als Assistent angenommen. Nach einer kürzeren Tätigkeit als Privatdozent an der Universität Bonn, nahm Hofmann im Jahre 1845 einen Ruf an das eben gegründete College of Chemistry, London, an, woselbst er 1856 auch *Warden* an der Münze wurde. Im Jahre 1861 wurde er zum Präsidenten der Chemical Society gewählt. Nachdem er 1864 nach Deutschland zurückgekehrt war, wurde er im Jahre 1865 der Nachfolger *Mitscherlichs* als Professor der Chemie an der Universität Berlin. Hofmanns Tätigkeit in Berlin erweckte neues Leben in der chemischen Forschung, was auch in der von ihm 1868 gestifteten Deutschen chemischen Gesellschaft seinen Ausdruck fand. Die Wirksamkeit Hofmanns als Universitätslehrer war außerordentlich ersprießlich. Eine große Anzahl bekannter, darunter viele hervorragenden Chemiker, sind aus seiner Schule hervorgegangen. Mit seiner Tätigkeit als Lehrer vereinigte er in der glücklichsten Weise die wissenschaftlichen Schriftstellers. Als experimenteller Forscher nimmt Hofmann einen ungewöhnlich hervorragenden Platz ein. In der organischen Chemie verdankt man Hofmann die klassischen Untersuchungen über stickstoff- und phosphorhaltige Verbindungen. Der Namen Hofmanns ist mit der Entwicklung der Teerfarbenindustrie unauflöslich verbunden, indem dieselbe größtenteils in den von Hofmann ausgeführten Untersuchungen ihren Ursprung hat. — Er starb im Jahre 1892.

von Humboldt, Freiherr Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander, deutscher Naturforscher, geboren in Berlin 1769, gestorben daselbst 1859. Er hat sich in erster Linie als Entdeckungsreisender berühmt gemacht.

Kolbe, Adolf Wilhelm Hermann, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1818 in Elliehausen bei Göttingen geboren. Unter der Leitung von Wöhler widmete er sich von 1838 an dem Studium der Chemie. 1851 wurde Kolbe Professor der Chemie zu Marburg und 1865 an der Universität Leipzig, deren neues chemisches Laboratorium unter seiner Oberaufsicht aufgeführt wurde.

Kolbes wissenschaftliche Bedeutung liegt wesentlich in seinen mit ausgezeichnetem Geschick ausgeführten Experimentaluntersuchungen und seinen hervorragenden Eigenschaften als Lehrer. Sein ausführliches *Lehrbuch der organischen Chemie* zeichnet sich in hohem Grade durch die Klarheit der Aufstellung, die Präzision der Ausdrücke und die fesselnde Darstellungsweise aus. Unter den experimentellen

Arbeiten von Kolbe verdienen hervorgehoben zu werden seine älteren Untersuchungen über die Einwirkung von Chlor auf Schwefelkohlenstoff, über die Nitrile, über die Elektrolyse von organischen Säuren, vor allem das Verfahren, Carbonsäuren durch Verseifung von Nitrilen darzustellen. Kolbe entdeckte 1873 eine einfache Methode, Salizylsäure durch die Einwirkung von Kohlendioxyd auf Phenol darzustellen, eine Methode, die in etwas veränderter Form, später eine ausgedehnte Verwendung gefunden hat. Indem er in seiner modifizierten Radikaltheorie die organischen Säuren von der Kohlensäure ableitete, hat Kolbe in der Tat früher als Kekulé die Ansicht von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs begründet. Kolbe hielt an der Berzeliusschen Ansicht über die „Paarung“ einseitig fest, er suchte diese Lehre weiter zu entwickeln und trat dabei gegen alle, die andere theoretische Anschauungen hegten, mit großer Schärfe auf. — Er starb im Jahre 1884.

Laurent, Auguste, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1807 in La Solie (Langres) geboren. Nachdem er unter Dumas' Leitung die Chemie studiert hatte, widmete sich Laurent vorzugsweise dem Studium der organischen Verbindungen. Im Jahre 1838 wurde er Professor der Chemie in Bordeaux, übernahm aber 1848 eine Stellung an der französischen Münze. Während der Jahre 1833—53 enthalten die *Annales de Chimie et de Physique* mehr als hundert Abhandlungen von Laurent. Gegen Ende seines Lebens schrieb Laurent sein berühmtes Werk, *Méthode de chimie*, das nach seinem Tode von *Biot* herausgegeben wurde. — Laurent starb schon im Jahre 1853.

Liebig, Justus, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1803 zu Darmstadt geboren. Früh schon erwachte seine Lust für die Chemie und im Alter von 14 Jahren hatte er, die Schulstudien versäumend, die ganze chemische Literatur der Hofbibliothek zu Darmstadt gelesen und die Experimente wiederholt, die er mit zu Gebote stehenden Hilfsmitteln ausführen konnte. 15 Jahre alt, erhielt Liebig eine Stellung in einer Apotheke nahe Darmstadt, verließ aber schon nach zehn Monaten diese Stellung, um Universitätsstudien zuerst in Bonn, dann in Erlangen zu treiben, worauf er sich nach Paris begab, das zu dieser Zeit der Mittelpunkt der chemischen Forschung war. Von Humboldt empfohlen, erhielt Liebig zum Privatlaboratorium von Gay-Lussac Zutritt, und brachte hier eine schon in Erlangen begonnene Untersuchung über die explosive Knallsäure zum Abschluß, eine Arbeit, die seinen Namen über die ganze wissenschaftliche Welt trug. Nach

zweijährigen Studien in Paris kehrte Liebig nach Gießen zurück, wo er, nun 21 Jahre alt, zum a. o. Professor und in kurzem zum ordentlichen Professor ernannt wurde. In Gießen bildete Liebig eine Schule hervorragender Chemiker, welche später die chemische Forschung in Deutschland zur reichen Blüte brachten. Wegen seiner großen wissenschaftlichen Verdienste wurde Liebig im Jahre 1845 in den erblichen, frei-



Justus von Liebig.

herrlichen Stand erhoben. 1852 wurde Liebig als Professor der Chemie nach München berufen.

Liebig hat einen gewaltigen Einfluß auf die Entwicklung der Chemie ausgeübt. Früh schon suchte er eine praktische Methode zur Bestimmung der Zusammensetzung der organischen Verbindungen zu finden, und er arbeitete schließlich im Jahre 1830 die noch allgemein gebräuchliche organische Elementaranalyse aus. Von derselben Zeit datiert seine für die Entwicklung der Chemie so äußerst bedeutungsvolle gemeinschaftliche Arbeit mit Wöhler. Das Jahr 1839 bezeichnet den Beginn eines neuen Zeitabschnittes der wissenschaftlichen Tätigkeit Liebig's. Er suchte nunmehr seine umfassende Erfahrung auf dem organisch-chemischen Gebiete zur Lösung von Problemen der

organischen Welt anzuwenden, d. h. die Lebensbedingungen und physiologischen Verhältnisse der Pflanzen und Tiere zu ermitteln. Die Resultate seiner Versuche und Spekulationen auf diesem Gebiete legte er in den Arbeiten nieder: *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie* und *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie*. Mit Poggendorf und Wöhler zusammen gab er ein *Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie*



Eilhard Mitscherlich.

heraus. Von 1831 an war er einer der Redakteure der hoch geschätzten Zeitschrift *Annalen der Chemie und Pharmazie*, die er von 1838 an teils allein, teils mit Wöhler redigierte. Nunmehr wird dieselbe *Justus Liebigs Annalen der Chemie* genannt. Zur Popularisierung der Chemie hat Liebig durch seine lebhaft und geistreich geschriebenen *Chemischen Briefe* wirksam beigetragen. — Er starb in München im Jahre 1873.

Mitscherlich, Eilhard, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1794 in Neuende bei Jever, Ostfriesland, geboren. Er widmete sich zuerst geschichtlichen Studien und später den orientalischen Sprachen. Gleichzeitig studierte er Chemie und Physik, ging aber im Jahre 1818 ganz zur Chemie über. Er machte im

folgenden Jahre seine bedeutungsvolle Entdeckung der Isomorphie, welche großes Aufsehen erregte, insbesondere bei Berzelius, der zu dieser Zeit in Berlin war. Im selben Jahre, 1819, folgte Mitscherlich Berzelius nach Stockholm und arbeitete in dessen Laboratorium bis 1821, wo er nach Deutschland zurückkehrte, um die Professur der Chemie an der Universität Berlin anzunehmen. Mitscherlich hat eine Menge bedeutungsvoller Untersuchungen auf dem Gebiete sowohl der anorganischen wie der organischen Chemie ausgeführt. Er gab auch ein seiner Zeit vorzügliches *Lehrbuch der Chemie* heraus. — Mitscherlich starb in Berlin im Jahre 1863.

Mosander, Karl Gustav, schwedischer Chemiker, wurde im Jahre 1797 in Kalmar, Schweden, geboren. Er fing seine Laufbahn in einer Apotheke an und wurde im Jahre 1820 als Eleve an dem Karolinischen Institut angenommen. Er erwies sich bald als einer der besten Schüler von Berzelius. 1836 wurde er Professor an der genannten Lehranstalt. Mosander war ein hervorragender Chemiker. Seine bedeutendste Arbeit umfaßt die außerordentlich schwierige Untersuchung der seltenen Erden, die in den Mineralien Cerit und Gadolinit vorkommen, wobei es ihm nachzuweisen gelang, daß die früher als einheitlich betrachtete Cererde ein Gemisch von drei Metalloxyden, Ceroyd, Lanthanoxyd und Didymoxyd, und daß die Yttererde ein Gemisch von Yttriumoxyd, Erbiumoxyd und Terbiumoxyd ist. — Mosander starb im Jahre 1858.

Nicholson, William, englischer Chemiker, geboren 1753 in London, war zuerst Handelsreisender, dann Schulpfleger in London und war endlich als Ingenieur tätig. Durch mißlungene Spekulationen zog er sich Schulden zu und mußte seine letzten Jahre in Schuldhafte verleben. Nicholson interessierte sich nicht nur für Chemie, sondern auch für Mathematik und Physik. Die nach ihm benannte Senkwage konstruierte er im Jahre 1787. Im Jahre 1800 machte er mit Carlisle die wichtigen Entdeckungen, daß Wasser bei der Einwirkung des elektrischen Stromes in Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt wird, und daß eine mit Lackmuß gefärbte Salzlösung unter denselben Verhältnissen beim positiven Pole rot, beim negativen Pole blau gefärbt wird. Letztere Beobachtung gab die Anregung zu den wichtigen Untersuchungen von Berzelius und Hisinger über denselben Gegenstand. — Nicholson starb im Jahre 1815.

Petit, Alexis Thérès, französischer Physiker, wurde im Jahre 1791 geboren, 1810 Professor an Lycée Bonaparte, Paris, und 1811 zugleich Lehrer an der Ecole polytechnique daselbst.

In der Chemie ist er durch seine mit Dulong ausgeführten Untersuchungen über die Atomwärme bekannt. — Petit starb schon im Jahre 1820.

Poggendorff, Johann Christian, deutscher Physiker, geboren 1796, wurde im Jahre 1834 a. o. Professor an der Universität Berlin. — Er starb dort 1877.

Proust, Joseph Louis, wurde 1755 geboren. Er war zuerst erster Apotheker am Krankenhaus La Salpêtrière in Paris, wurde aber später Professor der Chemie, zuerst an der Artillerieschule zu Segovia und dann an der Zentralschule Madrid. Die bedeutendste wissenschaftliche Tätigkeit Prousts bildet sein Streit mit Berthollet über die konstanten Gewichtsverhältnisse der einfachen Stoffe, wenn dieselben zusammengesetzte Verbindungen bilden. Berthollet war von der Auffassung ausgegangen, daß die Massen der reagierenden Stoffe die Mengen derselben, die in die chemische Verbindung eingingen, beeinflussen und hatte folglich den Schluß gezogen, daß die Verbindungen in stetig wechselnden, von den Umständen abhängigen Verhältnissen gebildet würden. Proust ließ sich in Streit mit Berthollet ein und widerlegte durch mit großer Genauigkeit ausgeführte experimentelle Versuche Punkt für Punkt die theoretischen Ansichten seines Gegners. Dieser bedeutungsvolle Streit, der im Jahre 1799 beginnend, nahezu acht Jahre dauerte, wurde beiderseits mit großem Scharfsinn geführt, hat viele mühevollen Versuche veranlaßt und endete mit dem Sieg Prousts. Hierdurch wurden die konstanten Gewichtsverhältnisse der Körper, wenn chemische Verbindungen gebildet werden, ein für allemal festgesetzt. — Proust starb im Jahre 1826 zu Angers.

Regnault, Henri Victor, französischer Physiker, geboren zu Aachen im Jahre 1810. Er wurde im Jahre 1840 Professor an der Ecole polytechnique, Paris, und im folgenden Jahre Professor der Physik am Collège de France. Im Jahre 1847 wurde er daneben zum „ingénieur en chef“ in einem Grubenbezirke und 1854 zum Direktor der kaiserlichen Porzellanfabrik in Sèvres ernannt. Regnault hat umfassende Untersuchungen über den Dampfdruck von Wasser bei verschiedenen Temperaturen, ebenso über die Dampftensionen von Alkohol, Äther u. a. ausgeführt. Er hat auch eine Menge anderer genauer Untersuchungen auf dem physikalischen Gebiete ausgeführt. Die wissenschaftlichen Abhandlungen von Regnault sind größtenteils in den *Annales de Chimie et de Physique* erschienen. Er hat auch einen *Cours élémentaire de chimie* herausgegeben,

wovon die vierzehnte Auflage im Jahre 1871 erschien und der in mehrere Sprachen übersetzt worden ist. — Regnault starb im Jahre 1878 zu Paris.

Richter, Jeremias Benjamin, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1762 in Hirschburg, Schlesien, geboren. Er wurde im Jahre 1794 Bergprobierer in Breslau, im Jahre 1800 Assessor an der Administration des Bergbaus zu Berlin, endlich „Arkanist“ an der königlichen Porzellanfabrik in Berlin. Richter stellte Untersuchungen über die Mengen von Säuren und Basen an, die bei der gegenseitigen Neutralisation verbraucht worden und tabellierte die gewonnenen Resultate. Er fand, daß, wenn von zwei Basen verschiedene Gewichtsmenge einer Säure erfordert wurden, daß dann dieselben Gewichtsmengen der Basen auch zur Neutralisation einer gewissen Menge einer zweiten Säure erfordert werden, und umgekehrt, daß diejenigen Gewichtsmengen verschiedener Säuren, die von einer gewissen Gewichtsmenge einer Base neutralisiert werden, auch von einer gewissen Menge einer zweiten Base neutralisiert werden. Die Untersuchungen von Richter auf diesem Gebiete sind von großer Bedeutung für die Entwicklung der Lehre von den chemischen Proportionen gewesen, sie blieben aber von der Mitwelt so gut wie unbeachtet, teils weil seine Schreibweise in hohem Grade dunkel und schwerverständlich war, teils weil das chemische Interesse zu dieser Zeit auf den Streit Lavoisiers gegen die Phlogistiker gelenkt war. Die wichtigsten Arbeiten von Richter sind *Anfangsgründe der Stöchiometrie oder Meßkunst chemischer Elemente* und *Über die neueren Gegenstände der Chemie*. — Richter starb zu Berlin im Jahre 1807.

Thomson, Thomas, englischer Chemiker, geboren 1773. Er hat durch seine experimentellen Untersuchungen großen Einfluß auf die theoretisch-chemischen Anschauungen, besonders in England, ausgeübt. Auch als chemischer Geschichtsschreiber hat er sich durch die Herausgabe seiner *History of chemistry* (1830—31) bekannt gemacht. Die Abhandlungen von Thomson wurden meistens in den von ihm herausgegebenen *Annales of philosophy* veröffentlicht. Als Lehrer war er in sehr ersprießlicher Weise in Glasgow (1818—41) tätig; er gründete dort das erste eigentliche Unterrichtslaboratorium Großbritanniens. — Thomson starb im Jahre 1852.

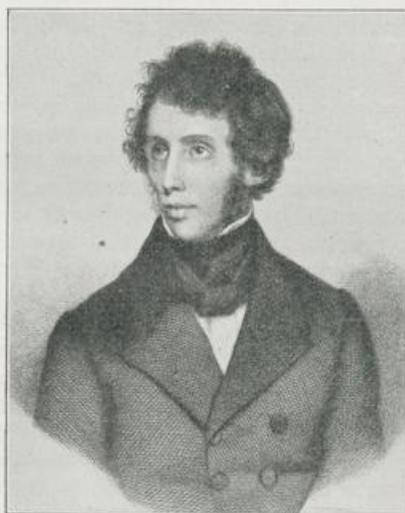
Williamson, Alexander William, englischer Chemiker, geboren 1824, studierte in Gießen unter der einsichtsvollen Leitung Liebigs. Während der Jahre 1849—87 war er als Pro-

fessor der Chemie an University Colleg in London tätig. Er hat, vorzugsweise in den Jahren 1850—60 die organische Chemie durch viele wertvolle Beobachtungen bereichert, wovon mehrere eine bedeutende theoretische Tragweite gehabt haben. Insbesondere sind seine Arbeiten über die Ätherbildung und die Zusammensetzung des Äthers von großer Bedeutung gewesen. — Er starb zu London im Jahre 1904.

Wurtz, Charles Adolphe, französischer Chemiker, wurde in Straßburg 1817 geboren. Er widmete sich gleichzeitig chemischen und medizinischen Studien und arbeitete einige Zeit bei Liebig in Gießen. Im Jahre 1843 wurde er in Paris zum Doktor der Medizin promoviert und setzte dann seine chemischen Studien zuerst bei *Balard* an der Sorbonne, dann in dem Privatlaboratorium von *Dumas* fort. Nachdem Wurtz im Jahre 1853 Professor der Chemie an der Ecole de médecine geworden, wurde das chemische Laboratorium dieser Lehranstalt eine ausgezeichnete Schule zur Ausbildung tüchtiger Chemiker. 1881 wurde Wurtz Professor der organischen Chemie an der Sorbonne und 1884 Senator. Seine erste größere Arbeit wurde schon während der Studienzeit in Gießen begonnen und betraf die unterphosphorige Säure. Wurtz ging dann ans Studium der Ester der Cyansäure, und wurde dadurch, 1849, zur wichtigen Entdeckung der aliphatischen Amine geführt. Von fast derselben Bedeutung war die im Jahre 1856 gemachte Entdeckung von Glycol und 1872 diejenige der Aldolkondensation. Wurtz übte einen sehr großen Einfluß auf die damaligen theoretisch-chemischen Anschauungen aus besonders in Frankreich und zwar durch seine *Leçons de philosophie chimique* (1862) und die große Encyclopädie *Dictionnaire de chimie pure et appliquée* (1868—78). — Er starb im Jahre 1884 zu Paris.

Wöhler, Friedrich, wurde im Jahre 1800 zu Eschersheim (bei Frankfurt a. M.) geboren. Schon als Schulknabe hegte er für chemische Experimente ein großes Interesse. Im Alter von 20 Jahren fing Wöhler medizinische Studien an der Universität Marburg an; weil aber sein chemisches Interesse dort wenig Aufmunterung fand, ging er zur Universität Heidelberg über, wo damals *Gmelin* Professor der Chemie war. Er begann hier seine wichtigen Untersuchungen über die Cyansäure, die später zu so bedeutungsvollen Entdeckungen führen sollten. Nachdem Wöhler 1823 sein Dokorexamen gemacht hatte, wurde er von *Gmelin* ermuntert, sich ganz der chemischen Forschung zu widmen und zu versuchen bei *Berzelius* in Stockholm arbeiten zu dürfen. Dieser empfing auch einen soviel ver-

sprechenden Chemiker wie Wöhler gern, und das Jahr, 1823 bis 24, währenddessen Wöhler bei Berzelius arbeitete, wurde von großer Bedeutung für seine künftige Richtung. Zwischen Berzelius und Wöhler wurde ein nie zerrissenes Freundschaftsband geknüpft. Nach der Rückkehr nach Deutschland erhielt Wöhler 1825 eine Stellung an der Gewerbeschule zu Berlin, in deren Laboratorium er eine Menge Untersuchungen innerhalb der verschiedenen Gebiete der Chemie ausführte, wovon erwähnt



Friedrich Wöhler.

seien die Darstellung von Aluminiummetall und die Synthese von Harnstoff aus Ammoniumcyanat. Im Jahre 1831 erhielt Wöhler den Auftrag, eine technische Schule in Kassel einzurichten; dieselbe wurde im Jahre 1832 eröffnet. In demselben Jahre führte er mit Liebig in Gießen die epochemachende Untersuchung über die Zusammensetzung des Bittermandelöls aus. Während der folgenden Jahre folgte als Resultat der gemeinsamen Arbeit von Wöhler und Liebig eine große Anzahl für die Chemie bedeutungsvoller Untersuchungen. Im Jahre 1836 wurde Wöhler Professor der Chemie an der Universität Göttingen, wo er, immer zusammen mit Liebig, seine Untersuchungen über die Harnsäure ausführte, welche zur Entdeckung einer gro-

Ben Anzahl neuer, organischer Verbindungen führte. Die Mehrzahl von Wöhlers Arbeiten sind in den von Liebig seit 1831 herausgegebenen *Annalen der Chemie und Pharmazie* veröffentlicht. Seit 1838 war auch Wöhler an der Redaktion dieser Zeitschrift beteiligt. Mit Liebig und Poggendorff gab Wöhler die große Enzyklopädie *Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie* heraus. Unter den übrigen Arbeiten von Wöhler sei erwähnt der in 13 Auflagen erschienene *Grundriß der organischen Chemie*. Die Jahresberichte und großen Lehrbücher von Berzelius wurden von Wöhler übersetzt und in Deutschland herausgegeben. — Wöhler starb in Göttingen im Jahre 1882.

VII.

Die Entwicklung in theoretisch-chemischer Hinsicht von der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts bis zur Gegenwart.

Entwicklung des Valenzbegriffes. — Die Strukturtheorie. — Der Streit über die konstante oder wechselnde Valenzzahl. — Periodisches System der Elemente. — Die elektrolytische Dissoziationstheorie von Arrhenius. — Einige wichtige Fortschritte der experimentellen Chemie im neunzehnten Jahrhundert. — Biographische Notizen von einigen in der späteren Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts hervortretenden Persönlichkeiten.

Die Entwicklung des Valenzbegriffes. Die Grundlage der Valenzlehre wurde von *Frankland*¹⁾ in seiner bedeutungsvollen, 1853 erschienenen Abhandlung, *Über eine neue Reihe organischer Körper, welche Metall enthalten*, gegeben. Es scheint eigentümlich, daß die Grundlage der Valenzlehre nicht von den einfachen Verbindungen der anorganischen Chemie, sondern von ziemlich komplizierten, organischen Verbindungen gebildet wurde. Teils auf die Untersuchungen von *Bunsen*¹⁾ über die Kakodylverbindungen gestützt, teils auf Grund eigener Untersuchungen, wies Frankland mit überzeugender Schärfe und Klarheit die Unhaltbarkeit der Paarungstheorie nach. Von dem Gesichtspunkte derselben, sagt Frankland, muß das sauerstoffbindende Vermögen eines Metalles unverändert bleiben, wenn dasselbe an ein Radikal gepaart wird. Franklin zeigt, unter anderem an Zinnäthyl als Beispiel, daß dies nicht der Fall ist. Nach der Paarungstheorie sollte das Zinnäthyl sich wie das Zinn selbst ver-

¹⁾ Seite 197 ff.

halten und also mit Sauerstoff in zwei Verhältnissen vereinigt werden können, das Zinnäthyl kann aber nicht mehr als ein Äquivalent von diesem Elemente aufnehmen.

Diese und ähnliche Verhältnisse werden von Frankland in der Weise erklärt, daß die sogenannten gepaarten Verbindungen Derivate anorganischer Verbindungen seien und aus demselben in der Weise entstehen, daß Sauerstoffäquivalente von Kohlenwasserstoffradikalen ersetzt werden. Zinnäthyl oxyd faßt Frankland als ein Zinnoxid auf, wo das eine Sauerstoffäquivalent von dem Äthylradikale ersetzt wurde, Kakodyloxyd als eine arsenige Säure und Kakodylsäure als eine Arsensäure, worin zwei Sauerstoffäquivalente von Methylradikalen ersetzt werden. Diese Anschauungsweise überträgt nun Frankland auf eine Menge organischer wie anorganischer Verbindungen und betrachtet die dabei zutage tretende Gesetzmäßigkeit als eine bei den Elementen vorhandene Grundeigenschaft. Frankland hebt hervor, daß, wenn man die chemischen Verbindungen überblickt, man schon bei einer oberflächlichen Betrachtung eine Symmetrie ihrer Formeln beobachtet. So zeigen Stickstoff, Phosphor, Antimon und Arsen die Geneigtheit, mit anderen Elementen Verbindungen zu bilden, in welche 3—5 Äquivalente der letzteren eingehen. Das Äquivalentverhältnis 1 : 3 hat man in den Verbindungen NO_3 , NH_3 , NJ_3 , PO_3 , PH_3 , PCl_3 , SbO_3 , SbH_3 , SbCl_3 , AsO_3 , AsH_3 , AsCl_3 usw. Das Äquivalentverhältnis 1 : 5 findet sich in den Verbindungen NO_5 , NH_4Cl , NH_4J , PO_5 , PH_4J usw. Es wurde hierdurch zum erstenmal der Satz ausgesprochen, daß die Elementatome eine innerhalb enger Grenzen wechselnde, aber bestimmte Sättigungskapazität besitzen. Bei den angeführten Elementen wurde dieselbe durch die Zahlen 3 und 5 ausgedrückt. Durch diese Auffassung hat Frankland die Anregung zu Spekulationen gegeben, die seither den Mittelpunkt der chemischen Forschung gebildet haben.

Über die Valenz des Kohlenstoffs der Alkoholradikale,

des in eigentlicher Meinung organischen Elementes, wurde erst ziemlich lange danach eine bestimmte Auffassung ausgesprochen. Anstatt aus den Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffes Schlüsse auf die Grundeigenschaften dieses Elementes zu ziehen, ging man einen viel mühsameren Weg und erhielt die Lösung dieser Frage durch das Studium von Verbindungen mit kohlenstoffhaltigen Radikalen. Von den Untersuchungen, die geeignet waren auf diesem Gebiete Licht zu verbreiten, sind besonders erwähnenswert die Untersuchungen von Berthelot¹⁾ über Glyzerin. In seiner 1858 erschienenen Abhandlung, *Über die Konstitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffes*, behandelt Kekulé²⁾ dieselbe Frage. Als Stütze seiner Auffassung von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffes hebt er hervor, daß, wenn man die einfachsten Verbindungen betrachtet, die der Kohlenstoff bildet, z. B. CH_4 , CH_3Cl , CCl_4 , CHCl_3 , COCl_2 , CO_2 , CS_2 und CHN , deutlich hervorgeht, daß die kleinste Quantität Kohlenstoff, die in einer Verbindung enthalten sein kann, d. h. ein Atom, stets vier Atome eines einatomigen oder zwei Atome eines zweiatomigen Elementes bindet. Der Kohlenstoff muß deshalb als vieratomig angesehen werden. Man sieht, daß der Gedankengang von Kekulé hier ganz derselbe ist wie derjenige von Frankland, als er die Drei- bis Fünfatomigkeit des Stickstoffs, Phosphors, Antimons und Arsens bewies. Das große Verdienst von Kekulé liegt darin, daß er die Auffassung der Atomigkeit des Kohlenstoffes zu der Auffassung der Art erweiterte, wie in einem organischen Stoffe zwei oder mehrere Kohlenstoffatome an einander gebunden sind. Die unmittelbare Folge dieser Spekulationen von Kekulé war die Lehre der Atomverkettung in den chemischen Verbindungen.

Die Strukturtheorie. Nachdem Frankland die

¹⁾ Seite 197 ff.

Eigenschaften der Grundstoffe, die wir *Valenzen* nennen, nachgewiesen hatte, wurde die Typentheorie, welche die organischen Verbindungen auf einige wenige Muster bezog, völlig ohne Bedeutung. Die Typen waren ja nichts weiter als Wasserstoffverbindungen von ein-, zwei- und dreiatomigen Elementen. An Hand dieser Auffassung Franklands von der Sättigungskapazität kam man zu der Vorstellung, daß die Elementaratome in verschieden hohem Grade miteinander verbunden sein können, und daß hierbei ein Austausch und ein Verschwinden von Affinitäten stattfinden kann. Dieser Gedankengang wurde zuerst von Kekulé entwickelt und hierdurch die Grundlage der *Strukturtheorie* gelegt.

Ehe irgendeine wirkliche Klarheit der Auffassung über Valenzen sich geltend machen konnte, mußte volle Gewißheit über die Größe der Atomgewichte herrschen. Insbesondere mußte der Unterschied zwischen Atom und Äquivalent bei mehratomigen Elementen scharf festgestellt werden. Von 1858 an begann eine gewisse Ordnung in den Zustand der Unsicherheit zu kommen, dank den Bemühungen des italienischen Chemikers *Cannizzaro*¹⁾, obgleich seine Bestrebungen nur allmählich Früchte tragen sollten. In seiner Abhandlung *Sunto di un corso di filosofia chimica* behandelt Cannizzaro die zur Ermittlung der Atomgewichte der Grundstoffe angewandten Methoden kritisch und hebt die Festsetzung der Gasdichte als sicheren Ausgangspunkt hervor. Ferner setzt er auseinander, inwiefern die spezifischen Wärmen der Metalle zur Bestimmung ihrer Atomgewichte dienen können. Dieselben seien von Gerhardt im allgemeinen ganz falsch angegeben. Nachdem die wirklichen Atomgewichte festgestellt waren, konnte die Lehre von der chemischen Wertigkeit der Grundstoffe wesentlich erweitert werden. Im Anfang wurde diese Lehre hauptsächlich auf die Kohlenstoffverbindungen angewandt, die der Gegenstand des eifrigsten Studiums waren. Je mehr die Auffassung von der

¹⁾ Seite 197 ff.

Atomigkeit der Elemente in den Vordergrund drang, je notwendiger wurde es, die Ursache dieser Grundeigenschaft der Elemente kennen zu lernen.

Der Streit über die konstante oder wechselnde Valenzzahl. Die zahlreichen Untersuchungen über die verschiedenen Atomigkeiten der Elemente gaben notwendigerweise als Resultat die Annahme, daß jedes Element eine gewisse maximale Sättigungskapazität besitze, ohne daß niedrigere Sättigungsstufen deswegen ausgeschlossen sind. Einer derartigen Auffassung, die schon von Anfang an von Frankland ausgesprochen worden war, schlossen sich viele hervorragende Chemiker, wie *Wurtz*, *Williamson*, *Kolbe* u. a. an. *Erlenmeyer* hat in seinem *Lehrbuch der organischen Chemie* dieser Auffassung besonders kräftig Ausdruck gegeben, indem er annimmt, daß jedes Element eine maximale Valenz besitze oder mit einer bestimmten Anzahl von Affinivalenzen oder Affinitätspunkten ausgerüstet sei, wovon jedoch in vielen Fällen nur ein Teil mit den Affinivalenzen anderer Elemente verbunden ist. Im Ammoniak sind z. B. von den fünf Affinitätspunkten des Stickstoffs nur drei betätigt, im Chlorammonium dagegen alle fünf. Gegen diese Auffassung von dem Wechsel der Valenz trat in erster Linie *Kekulé* auf. Er hob aufs kräftigste hervor, daß die konstante Atomigkeit der Elemente eine fundamentale Eigenschaft der Atome ist, ebenso unveränderlich wie die Atome selbst.

Die Verschiedenheit der Auffassung über die Frage, ob die Elemente eine konstante oder variable Atomwertigkeit besitzen, die sich im Anfang geltend machte, ist während der fortschreitenden Entwicklung der Strukturlehre immer mehr verwischt worden. Eine Menge Tatsachen haben die Annahme einer innerhalb bestimmter Grenzen wechselnder Atomwertigkeit erzwungen. Durch die Annahme, daß die höchste Atomwertigkeit eines Elementes, die Maximalvalenz, als die normale zu betrachten sei, und

daß die niedrigeren Atomwertigkeiten darauf beruhen, daß gewisse Affinivalenzen ruhend (nicht aktiv) sind, hat man versucht, die beiden einander widersprechenden Ansichten zu vereinigen.

Die fernere Entwicklung der Strukturlehre. In der Geneigtheit der Kohlenstoffatome, unter gegenseitigem Austausch einer, zweier oder dreier Affinitäten sich miteinander zu verbinden, fand man eine nahe zur Hand liegende Erklärung der großen Anzahl von Kohlenstoffverbindungen. Daß andere Elemente, z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Chlor, in derartige Kohlenstoffkomplexe eintreten konnten, wurde dadurch erklärt, daß die freien Affinitäten der Kohlenstoffatome hierbei in Anspruch genommen wurden von den Affinitäten der hineintretenden Atome. Man betrachtete die in solcher Weise entstandenen Verbindungen von Kohlenstoffatomen miteinander und mit anderen Elementen als *Atomverkettungen*. Indem man versuchte, die Elemente in Übereinstimmung mit ihren Sättigungskapazitäten in geeigneter Weise miteinander zu kombinieren, fand man einen Ausgangspunkt zur Beurteilung der Struktur der organischen Verbindungen. Die anorganischen Verbindungen bereiteten, weil weniger kompliziert, in dieser Hinsicht im allgemeinen keine Schwierigkeiten. Die Strukturformeln, die man hierbei erhielt, führten aber oft zu einer gewissen Überschätzung, weil sie als Symbole der räumlichen Anordnung innerhalb der fraglichen Moleküle aufgefaßt wurden. Daß die Strukturformeln in dieser Weise nicht aufgefaßt werden dürfen, wurde von Chemikern, wie *Kolbe*, *Bullerow*¹⁾ u. v. a., mit großer Schärfe betont. Hat die Strukturtheorie also derartigen hohen Anforderungen nicht entsprechen können, so verdanken wir derselben doch andererseits die glänzende Entwicklung der organischen Chemie seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Ein ausgezeichnetes Beispiel bildet die von Kekulé im Jahre 1867 auf-

¹⁾ Seite 197 ff.

gestellte Theorie der Konstitution von Benzol und Benzolderivaten.

Der hauptsächlichliche Inhalt dieser Theorie kann folgendermaßen resümiert werden:

1. Die Gleichwertigkeit der sechs Wasserstoffatome im Benzol und ebenso das Vorhandensein von drei isomeren Biderivaten wären unerklärlich, wenn man annehmen würde, daß die Kohlenstoffatome im Benzol zu einer offenen Kette wie in den Methanderivaten verbunden sind. Die Bedingung, daß die sechs Kohlenstoffatome im Benzol völlig gleichwertig sein müssen, wird durch die Annahme erfüllt, daß das erste und das letzte Kohlenstoffatom einer sechsgliedrigen Kette einander binden, wodurch ein geschlossener Ring entsteht.

2. Weil alle Kohlenstoffatome durch diese Art der Bindung gleichförmig gruppiert werden, sind sie auch imstande, sechs Wasserstoffatome völlig symmetrisch zu binden. Die im Anschluß hieran aufgestellte Benzolformel erklärt die Entstehung von drei isomeren Biderivaten, wenn jedes Kohlenstoffatom nur ein Wasserstoffatom bindet, wodurch eine zusammenhängende Kette von CH-Gruppen erhalten wird.

3. Daß die Kohlenstoffatome im Benzol einen geschlossenen, sechsgliedrigen Ring bilden, geht auch daraus hervor, daß Benzol nur sechs Atome Wasserstoff oder Halogen addieren kann nicht mehr.

4. Wird Benzol als reguläres Sechseck gezeichnet, wo jede Ecke eine CH-Gruppe bedeuten soll, so können die Isomeriemöglichkeiten bei sowohl Bi- wie Triderivaten deutlich angegeben werden.

Die Bedeutung des Isomeriebegriffes für die Entwicklung der Strukturtheorie. Bis 1820 wurde in der Chemie der Lehrsatz verkündet, daß Stoffe von gleicher qualitativer und quantitativer Zusammensetzung auch gleiche Eigenschaften besitzen müssen. Zwar waren damals schon Fälle bekannt, die dieser Auffassung zu widersprechen schienen, z. B. die beiden von Berzelius nachgewiesenen verschiedenen Arten von Zinnoxyd, man legte aber diesen Beobachtungen kein großes Gewicht bei, sondern nahm an, daß der Unterschied auf verschiedenen physikalischen Eigenschaften beruhe. So wenig waren die Chemiker auf die Möglichkeit vorbereitet,

daß es Stoffe von gleicher Zusammensetzung, aber chemisch und physikalisch ungleichartig gäbe, daß der erste entdeckte Isomeriefall auf dem organischen Gebiete anfangs als Irrtum galt.

Liebig hatte 1823 gefunden, indem er seine Analyse von knallsaurem Silber mit der von *Wöhler* im Jahre vorher ausgeführten Analyse von cyansaurem Silber verglich, daß die Analysenresultate beider Verbindungen völlige Übereinstimmung zeigten. Da *Liebig* seiner eigenen Genauigkeit ganz sicher war, nahm er anfänglich an, daß *Wöhler* einen Fehler begangen hätte, und analysierte deshalb das cyansaure Silber von neuem, um die Genauigkeit von *Wöhlers* Angaben zu kontrollieren. Bei der wiederholten Analyse erhielt er jedoch dasselbe Resultat wie *Wöhler*. Man hatte also zwei Stoffe kennen gelernt, die in bezug auf Eigenschaften so verschieden wie möglich waren, und doch die gleiche prozentische Zusammensetzung besaßen.

Berzelius nahm diesen neuen Gesichtspunkten gegenüber eine abwartende Stellung ein, nachdem es aber *Wöhler* im Jahre 1828 gelungen war, den Harnstoff als ein Umwandlungsprodukt der gleich zusammengesetzten Verbindung *Ammoniumcyanat* darzustellen, machten er und andere Chemiker sich mit dem Vorhandensein derartiger Verbindungen immer mehr vertraut. Durch seine eigenen Untersuchungen über die gleiche Zusammensetzung der Salze der Weinsäure und Traubensäure wurde *Berzelius* von der Richtigkeit dieser Auffassung überzeugt und schlug vor, Verbindungen mit diesen Eigenschaften *isomer* zu nennen. Bald bekam er den Anlaß, die Tragweite dieses Begriffes näher zu präzisieren und unterschied dann, in derselben Meinung, wie es heute noch geschieht, zwischen *Metamerie* und *Polymerie* als Spezialfälle von *Isomerie*. Aus vielen Äußerungen von *Berzelius* geht hervor, daß er die Ursachen der Isomerieerscheinungen bei organischen Verbindungen deutlich auffaßte. *Berzelius* galten nämlich die gleich zusammengesetzten Verbindungen

isomer, bei welchen die Elementaratome sich zu zusammengesetzten Radikalen in verschiedener Weise gruppiert hatten.

Nachdem die Strukturlehre allgemeineren Anschluß gewonnen hatte, konzentrierten sich die Bestrebungen der Chemiker auf die Aufgabe, innerhalb des Gebietes der organischen Chemie die größtmögliche Anzahl isomerer Verbindungen darzustellen und die Struktur dieser Verbindungen festzustellen. Bevor die Benzolverbindungen das Interesse der Chemiker in so hohem Grade mit Beschlag belegt hatten, war man eifrig bemüht, die verschiedenen Atomgruppierungen innerhalb der Moleküle der isomeren, aliphatischen Verbindungen festzusetzen und in befriedigender Weise zu erklären. Man suchte z. B. die rationellen Zusammensetzungen von Propylamin und dem isomeren Trimethylamin, die Ursache der Metamerie zwischen Diäthyloxyd und Methylpropyloxyd usw. zu ermitteln. Die zwischen diesen und anderen gleichartigen Verbindungen vorhandene Isomerie, auf einer verschiedenen Verkettung der Kohlenstoffatome beruhend, hat man *Kernisomerie* genannt.

Unter den sogenannten aromatischen Verbindungen fand man inzwischen einige andere Isomeriefälle, die auf eine verschiedene Atomverkettung innerhalb der Radikale nicht zurückgeführt werden konnten. Kekulé gibt in seiner Benzoltheorie an, daß die Ursache der verschiedenen Eigenschaften der Disubstitutionsderivate des Benzols die verschiedene Stellung der substituierenden Atomgruppen sei, eine Art von Isomerie, die später *Stellungs-* oder *Ortisomerie* genannt worden ist. Es zeigte sich indessen, daß man zuweilen organische Verbindungen auf findet, deren Zusammensetzung auf Grund ihrer Reaktionen durch zwei verschiedene Strukturformeln gleich gut dargestellt werden können. Dies Verhalten ist *Tautomerie* oder *Desmotropie* genannt worden und kann als eine besondere Art von Isomerie zwischen zwei ineinander leicht übergehenden Formen aufgefaßt werden.

Bei den Versuchen, die Konstitution organischer Verbindungen festzustellen, lernte man allmählich einige Fälle kennen, wo zwei oder mehrere Verbindungen, welche völlig gleichartige Struktur besaßen, doch verschiedene, gewöhnlich physikalische Eigenschaften zeigten. Eine derartige Verschiedenheit der Eigenschaften hatte *J. Wislicenus*¹⁾ bei den beiden strukturidentischen Gärungs- und Paramilchsäuren festgestellt. Eine Erweiterung des Isomeriebegriffes war also notwendig, und diese neue Art der Isomerie erhielt den Namen Geometrische Isomerie oder Alloisomerie.

Wislicenus deutete diese und andere ähnliche Isomeriefälle mit Hilfe einer Anschauungsweise, die kurz vorher von *Le Bel*²⁾ und von *van t'Hoff*³⁾ fast gleichzeitig in die Chemie eingeführt worden war. Diese Anschauung war in erster Linie dazu bestimmt, die optische Aktivität gewisser isomerer Verbindungen zu erklären. Man stellte sich das Kohlenstoffatom als Mittelpunkt eines Tetraeders vor und seine vier Affinitäten gegen die Ecken des Tetraeders gerichtet. Wenn nun dieses Kohlenstoffatom vier verschiedene Atome oder Atomgruppen bindet, wird dasselbe asymmetrisch genannt, und eine derartige Asymmetrie ist, wie es sich später gezeigt hat, die notwendige Bedingung der Entstehung von optischer Isomerie.

Binden zwei Kohlenstoffatome einander mit je einer Affinität, so müssen sie als um die gemeinsame, von den Affinitäten gebildete Achse drehbar gedacht werden. Die Möglichkeit dieser Rotation hört bei einer doppelten oder dreifachen Bindung zwischen den Kohlenstoffatomen auf. Derartige Isomeriefälle, die auf doppelgebundene Kohlenstoffatome zurückgeführt werden können, wie bei den Fumar- und Maleinsäuren, sind vorzugsweise von *J. Wislicenus*¹⁾ und seinen Schülern studiert worden. Alle

¹⁾ Seite 197 ff.

diejenigen Arten von Isomerie, von welchen man hat annehmen müssen, daß sie auf einer verschiedenen räumlichen Gruppierung beruhen, hat man unter der gemeinsamen Benennung *Stereoisomerie* zusammengefaßt. Bei gewissen Arten von Stickstoffverbindungen sind Isomerieverhältnisse beobachtet worden, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf sterische Ursachen zurückzuführen sind. Eine Theorie der stereochemischen Verhältnisse des Stickstoffs ist von *Hantzsch*¹⁾ und *Werner*¹⁾ 1891 aufgestellt worden.

Das Studium der isomeren Verbindungen hat zur Entwicklung der Strukturlehre wesentlich beigetragen. Kaum hätte man etwas finden können, was besser geeignet gewesen wäre, die Frage der Konstitution der organischen Verbindungen aufzuklären als eben Versuche, die Ursachen der Isomerieerscheinungen klarzulegen.

Das *periodische System der Elemente*. Die von *Prout* im Jahre 1816 aufgestellte Hypothese, daß die Atomgewichte sämtlicher Elemente ganze Multipeln des Atomgewichtes des Wasserstoffs seien, hat ihre Wirkung lange geltend gemacht, trotzdem sowohl *Berzelius* wie andere hervorragende Chemiker die Unhaltbarkeit der Annahme nachwiesen. Neue Spekulationen über die Beziehung zwischen den Eigenschaften und den Atomgewichten der Elemente traten öfters hervor, erwiesen sich aber wenig fruchtbar. Die Spekulation, die schließlich die größte Tragkraft zeigte, wurde im Jahre 1864 von *Newlands* aufgestellt. Er begnügte sich nicht damit wie einige seiner Vorgänger, nahestehende Elemente in Triaden oder kleinere Serien zu ordnen, sondern er bildete aus sämtlichen Elementen eine Serie, worin sie nach steigendem Atomgewichte geordnet waren. *Newlands* zeigt, daß in dieser Serie in etwa gleichem Abstände voneinander Elemente vorkommen, die in Eigenschaften und chemischen Reaktionen einander sehr nahe stehen. Geht man von einem Element aus, so ist

¹⁾ Seite 197 ff.

das darauffolgende achte der Reihe mit dem ersten Elemente mehr verwandt als irgendeines der dazwischenliegenden. Newlands nannte diese Relation das Gesetz der Oktaven, es gelang ihm aber nicht besonders gut, die angegebene Gesetzmäßigkeit nachzuweisen. Eine mitwirkende Ursache war, daß jedes neuentdeckte Element eine Verückung der Oktavenstellung für jedes der sieben zu beiden Seiten befindlichen Elemente mit sich brachte.

Am deutlichsten tritt die genannte Gesetzmäßigkeit hervor, wenn man die Elemente nach steigenden Atomgewichten ordnet, den Wasserstoff wegläßt und von den zur Zeit der Newlandschen Spekulationen noch nicht entdeckten Elementen Helium und Neon absieht. Wenn mit Lithium angefangen wird, erhält man aus den 14 ersten Elementen folgende Doppelserie:

Lithium	Natrium
Beryllium	Magnesium
Bor	Aluminium
Kohlenstoff	Silizium
Stickstoff	Phosphor
Sauerstoff	Schwefel
Fluor	Chlor

Wenngleich Newlands sein System nicht durchführen konnte, so war die periodische Gesetzmäßigkeit nichtsdestoweniger vorhanden, und dieselbe wurde von zwei hervorragenden Chemikern, *Mendelejeff*¹⁾ und *Lothar Meyer*¹⁾, völlig klargelegt.

Schon im Jahre 1864, mit Newlands gleichzeitig, hatte Lothar Meyer einige Versuche gemacht, die Grundstoffe in gewisse natürliche Familien einzuordnen, welche die Elemente, die gleichartige Reaktionsverhältnisse zeigten, umfassen sollten. Die Zeit war aber für derartige Spekulationen noch nicht reif, und dieselben zogen sich mehr Verwunderung als Anerkennung zu. Besonders die Kombinationen von Newlands zogen ihm Hohn und Spott zu. Man fragte ihn ironisch, ob er nicht auch ein System bilden

¹⁾ Seite 197 ff.

könne, indem er die Elemente nach den Anfangsbuchstaben ihrer Namen in Serien ordne.

Mendelejeff unterzog nun, nachdem sämtliche Grundstoffe nach steigenden Atomgewichten in Serien geordnet waren, die von Lothar Meyer zusammengestellten natürlichen Familien einer eingehenden Prüfung. Im Jahre 1869 konnte Mendelejeff die Resultate seiner Untersuchung vorlegen. Er zeigte, daß die derselben Serie angehörenden Elemente, d. h. diejenigen, die in chemischer Hinsicht einander ähnlich waren, einander in regelmäßigen Perioden folgen. Hierdurch konnte man die Grundstoffe in ein natürliches System ordnen, das jedoch wegen der Unsicherheit, die einigen Atomgewichten noch anhaftete, einige Ausnahmen aufwies. Der Grundgedanke aber, der von Mendelejeff ausgesprochen und gleichzeitig von Lothar Meyer hervorgehoben wurde, erwies sich voller theoretischer Tragkraft, derselbe ist später in vielen Beziehungen weiter entwickelt und bestätigt worden. In Kürze kann man die aufgestellte Hypothese folgendermaßen zusammenfassen: Die Elemente sind Glieder sowohl von Perioden wie von natürlichen Familien, und ihre Eigenschaften sind periodische Funktionen der Atomgewichte.

Daß die Eigenschaften der Elemente wirklich periodische Funktionen der Atomgewichte sind, geht aus der chemischen Valenz der Grundstoffe, aus ihrem elektrochemischen Charakter, Atomvolumen, thermochemischen und anderem physikalischen Verhalten hervor.

Diese Systematisierung der Grundstoffe hat der Chemie besonders bedeutungsvolle Resultate gebracht. Insbesondere muß hervorgehoben werden, daß man an der Hand des periodischen Systems gewisse Atomgewichte viel sicherer hat festsetzen können, denn da jedes Element in dem System seinen bestimmten Platz und ein demselben entsprechendes Atomgewicht hat, muß letzteres in gewissen Grenzen liegen. Zu der Zeit, wo Mendelejeff und Lothar Meyer ihre Ansichten

über die Periodizität der Elemente zuerst entwickelten, gab es zwar eine Menge Haltepunkte zur Beurteilung der Größe der Atomgewichte, die Faktoren aber, die bei der Festsetzung derselben berücksichtigt wurden, waren nie von einem einheitlichen Standpunkte aus zusammengefaßt worden. Umgekehrt wurde die genannte Gesetzmäßigkeit, die Periodizität, benutzt, wenn es galt, das richtige unter vielen möglichen Atomgewichten auszuwählen. Wenn innerhalb des periodischen Systems mit einer völlig bestimmten Gesetzmäßigkeit gerechnet werden konnte, so mußten die Zahlwerte der Atomgewichte nicht nur den Platz im Systeme angeben, sondern auch in einem gewissen gegenseitigen Abstände voneinander stehen, d. h. die Glieder einer arithmetischen Serie bilden. Weil aber dies nicht der Fall ist, muß man annehmen, daß die Gesetzmäßigkeit, die im periodischen Systeme zum Vorschein kommt, das Produkt mehrerer voneinander völlig unabhängiger Faktoren ist, deren Einfluß auf das Endresultat von wechselnder Beschaffenheit ist.

Das periodische System ist also keineswegs als vollkommen zu betrachten. In demselben findet man oft Elemente voneinander entfernt, die man wegen ihrer gleichartigen chemischen Eigenschaften nahe beieinander erwartet hätte. Das ist z. B. mit Kupfer- und Quecksilber der Fall. Andererseits gibt es andere Elemente, die chemisch ziemlich verschieden sind, wie Natrium, Kupfer, Silber und Gold, und die doch im System Glieder derselben natürlichen Familie bilden. Man darf ja hoffen, daß derartige Widersprüche wenigstens teilweise beseitigt werden in dem Maße, wie unsere Kenntnis von der wirklichen Natur der Materie vermehrt wird. Man darf daher das periodische System nicht als abgeschlossen betrachten, sondern als den Anfang einer fruchtbaren chemischen Ideenreihe.

Wie aus dem Obigen hervorgeht, ist die genaue Ermittlung der Atomgewichte von dem größten Wert, damit

die Gesetzmäßigkeit, die in dem periodischen Systeme liegt, ihren Ausdruck finde. Die von Berzelius gefundenen Atomgewichte sind wiederholt revidiert worden, und man kann sagen, daß diese Prüfung fast unaufhaltsam fortgeschritten ist. Bei drei Gelegenheiten haben diese Neubestimmungen der Atomgewichte wegen besonderer Anregungen in großem Umfang stattgefunden. Das erstemal auf Grund der Prout'schen Hypothese, daß alle Atomgewichte ganze Multipeln von dem Atomgewichte des Wasserstoffs seien, eine Annahme, die von Berzelius und vielen anderen hervorragenden Chemikern gründlich widerlegt wurde. Die genauesten Werte der Atomgewichte, die wir bis vor einigen Jahren besaßen, stammen aus dieser Zeit. Sie sind von *Stas*¹⁾ ermittelt, dessen Arbeiten auf diesem Gebiete in bezug auf Genauigkeit noch fast unübertroffen dastehen. Die zweite große Anregung wurde eben durch das periodische System von Mendelejeff gegeben. Weil man in einzelnen Fällen Ausnahmen von der Regel, daß Atomgewicht und chemische Eigenschaften in gewissen Beziehungen zu einander stehen, begegnet war, suchte man die Ursache derselben im fehlerhaften Werte der Atomgewichte. Ein große Anzahl neuer Atomgewichtsbestimmungen wurde ausgeführt, allein dieselben bestätigten meistens die älteren, besonders die von *Stas* ermittelten Werte. Zum drittenmal fand eine derartige gründliche Prüfung der Atomgewichte statt, nachdem man bei einer völlig systematischen Durchrechnung der geläufigen Atomgewichte zur Erkenntnis gewisser Inkonsequenzen, deren man sich früher schuldig gemacht hatte, gelangt war. Eine Menge neuer Bestimmungen wurden jetzt und werden noch ausgeführt, wobei uns besonders *Richards* zu Dank verpflichtet hat.

Ein äußerst wichtiges Hilfsmittel zur Entdeckung von neuen Grundstoffen hat die chemische Wissenschaft in der von *Bunsen*¹⁾ und *Kirchhoff*¹⁾ ausgearbeiteten, spektral-

¹⁾ Seite 197 ff.

analytischen Methode erhalten. Im Jahre 1860 entdeckte Bunsen mit Hilfe des Spektroskopes zwei neue Elemente, Cesium und Rubidium, *Crookes*¹⁾ kurz danach das Element Thallium, *Reich* und *Richter* Indium und *Lecoq de Boisbaudran* 1875 Gallium.

Ein nicht zu verachtendes Hilfsmittel zur Beurteilung der Ähnlichkeit der Elemente hat man in der von *Mitscherlich*²⁾ schon im Jahre 1819 nachgewiesenen Isomorphie gefunden. Man bezeichnet damit die Eigenschaft verschiedener Verbindungen in derselben Form zu kristallisieren. *Mitscherlich* zeigte, daß dies in gleichartiger chemischer Zusammensetzung seinen Grund hatte. Er zeigte, daß sowohl phosphorsaure und arsensaure Salze unter sich, wie selensaure und schwefelsaure Salze, ebenso Magnesiumoxyd und Zinkoxyd isomorph sind. Im Anfang war *Mitscherlich* der Meinung, daß die Isomorphie wesentlich von der Anzahl der in den Verbindungen vorhandenen Atome abhängig wäre, überzeugte sich aber bald, daß auch die chemische Natur derselben einen bestimmenden Einfluß ausübt.

Die elektrolytische Dissoziations-
theorie von *Arrhenius*. Aus den Beobachtungen über die sogenannten anomalen Gasdichten, deren Ursache in einer mit steigender Temperatur zunehmenden Zersetzung der chemischen Verbindungen liegt, hat die der physikalischen Chemie so bedeutungsvollen Lehre von der Dissoziation sich entwickelt. Die ersten Untersuchungen auf diesem Gebiete wurden von *Sainte-Claire-Deville*³⁾ im Jahre 1857 ausgeführt, und von ihm rührt auch die Bezeichnung Dissoziation her, um die fragliche Zersetzung zu bezeichnen. Das Studium der Dissoziationsercheinungen hat sich in der Folge nicht auf die anomalen Gasdichten beschränkt, sondern hat alle mit der Tem-

¹⁾ Seite 197 ff.

²⁾ Seite 163 ff.

peratur stetig fortschreitenden Zersetzungen von chemischen Verbindungen umfaßt. Von einer bedeutenden theoretischen Tragkraft hat sich die Annahme von der Dissoziation der Elektrolyte in Wasserlösung erwiesen. Eine chemische Anschauung auf dieser Hypothese aufgebaut ist die von *Arrhenius*¹⁾ aufgestellte elektrolytische Dissoziationstheorie, die jetzt allgemein angenommen ist. Die genetische Entwicklung dieser Anschauungsweise ist die folgende.

Wenn ein Körper in einer Flüssigkeit gelöst wird, ohne daß irgend eine chemische Reaktion stattfindet, so hat man früher den Lösungsprozeß als einen rein physikalischen Vorgang betrachtet. Das Auflösen von einem festen Stoffe in einem flüssigen Lösungsmittel ist in der Regel von einer Wärmeabsorption begleitet, die beim Zusatz von neuen Mengen Lösungsmittel stattfindet, bis die Verdünnung eine gewisse Grenze erreicht hat, über die hinaus keine Temperaturerniedrigung mehr merkbar ist.

Schichtet man über die Lösung eines gefärbten Salzes z. B. über die wässrige Lösung von Kupfersulfat oder Kaliumdichromat eine verdünnte Lösung von demselben Salze, so beobachtet man, wie die Konzentration der verdünnten Lösung allmählich wächst, während die Konzentration der stärkeren Lösung immer schwächer wird. Dies findet statt, bis die Konzentration der Lösung überall gleich wird. Die Kraft, die diese Diffusionserscheinung ermöglicht, entspricht dem Gasdruck, welcher sämtliche Moleküle eines Gases zwingt, einen dargebotenen größeren Raum einzunehmen. In ähnlicher Weise, wie der Gasdruck die Gas-moleküle treibt, sich innerhalb der neuen Grenzen zu verteilen, werden die Moleküle einer gelösten Substanz von einem Druck gezwungen, sich in der neuen Menge Lösungsmittel zu verteilen, bis das ganze Flüssigkeitsvolumen dieselbe Konzentration angenommen hat.

¹⁾ Seite 197 ff.

Daß ein derartiger Druck in der Lösung wirklich vorhanden ist, hat man auf experimentellem Wege zeigen können. Wenn man einen Zylinder bis zum Rande mit einer konzentrierten Zuckerlösung füllt und dann den Zylinder mit einer tierischen Membran luftdicht verschließt, so findet man, wenn der Zylinder ins Wasser getaucht wird, daß die Membran sich allmählich aufbauscht. Dies beruht offenbar darauf, daß die Zuckermoleküle bestrebt sind, ins Wasser hinauszudiffundieren, woran sie aber von der Membran größtenteils verhindert werden. Bei diesem Bestreben spannen sie die Blase, wobei Wasser in den Zylinder hineindiffundiert. Diese Erscheinung, d. h. das Vermögen einer Flüssigkeit, eine Membran zu durchdringen, nennt man *Osmose* und die Kraft, womit die gelösten Moleküle gegen die Membran drücken, *osmotischen Druck*. Der osmotische Druck ist um so größer, je konzentrierter die Lösung ist.

Damit man die Beziehung zwischen dem osmotischen Druck und der Konzentration einer Lösung studieren kann, muß die benutzte Membran völlig *semipermeabel* sein, d. h. nur die Moleküle des Lösungsmittels, nicht aber diejenigen der gelösten Substanz durchlassen. Eine animalische Membrane erfüllt aber diese Bedingung nicht. Semipermeable Membranen von idealer Beschaffenheit hat die Natur beim Aufbau der Pflanzenzellen gebildet. Die Physiologen haben lange gewußt, daß Pflanzenteile, d. h. Anhäufungen von Pflanzenzellen, wenn sie in Wasser gelegt werden, dasselbe aufnehmen können, ohne daß von dem Zelleninhalt irgend etwas an das Wasser abgegeben wird. Wenn man statt Wasser die Lösung eines Salzes verwendet, stellt sich die Sache etwas verschieden, je nach der Konzentration der Salzlösung. Ist dieselbe verdünnt, so wird Wasser von der Pflanzenzelle aufgenommen, ist die Lösung konzentriert, so gibt die Zelle Wasser an die Salzlösung ab. Zwischen diesen beiden Möglichkeiten liegt diejenige, daß ein Gleichgewicht zwischen Zelleninhalt und Lösung

eintritt. Eine Salzlösung, die mit der Pflanzenzelle einen derartigen Zustand des Gleichgewichtes gibt, bezeichnet man als mit der Zelle *isotonisch*. Indem man dieselben oder gleichartige Zellen mit Lösungen, die verschiedene Stoffe enthalten, vergleicht, kann man die Konzentration verschiedener Lösungen bestimmen, die mit einer Art von Zellen isotonisch sind. Diese Lösungen, die dann verschiedene Mengen gelöster Substanz enthalten, werden auch isotonisch genannt. *De Vries*, der eine große Anzahl Untersuchungen auf diesem Gebiete ausgeführt hat, fand, daß Lösungen, die äquimolekulare Mengen Kaliumnitrat Natriumnitrat, Chlorkalium usw. enthalten, isotonisch sind. Dagegen wirkt eine Lösung, die pro Liter 1 Mol. Chlorkalium enthält, in derselben Weise wie Lösungen, die in demselben Volum 1.67 Mol. Rohrzucker, 1.5 Mol. Weinsäure, 1.05 Mol. Kaliumazetat usw. enthalten.

Nachdem die Bedingungen, denen die isotonischen Lösungen unterworfen sind, von *de Vries* experimentell festgestellt waren, konnte er den wichtigen Satz aussprechen: Äquimolekulare Lösungen sind isotonisch, d. h. zeigen denselben osmotischen Druck. Ein Korollarium hiervon ist, daß die Größe des osmotischen Druckes ausschließlich von der Anzahl der gelösten Moleküle abhängig ist.

Trotz des großen Wertes dieser Entdeckung von *de Vries*, erlaubte doch seine Methode, das plasmolytische Verfahren, nicht die direkte Messung des von einer Lösung gewisser Konzentration ausgeübten osmotischen Druckes. Hierzu waren besondere Anordnungen nötig, deren wichtigster Teil eine auf künstlichem Wege dargestellte, semipermeable Membran war. Bei der Wahl derartiger semipermeabler Membrane ist man ziemlich beschränkt, weil man bisher nur eine geringe Zahl von Stoffen hat finden können, die dazu geeignet sind, und diese Membrane haben sich außerdem nur verhältnismäßig wenigen

gelösten Substanzen gegenüber als semipermeabel erwiesen. Unter den Stoffen, die zu diesem Zwecke geeignet sind, kommt in erster Linie das Kupferferrocyanid in Betracht, aber auch Berlinerblau und die Fällung, die Gerbsäure mit Leimlösung gibt, liefern ziemlich gut fungierende Membrane. Die ersten Versuche, derartige künstliche Membrane herzustellen, wurden von *Traube* gemacht; das Verdienst aber, sie von solcher Beschaffenheit dargestellt zu haben, daß osmotische Versuche in größerem Maßstabe ausgeführt werden konnten, gebührt dem hervorragenden Botaniker *Pfeffer*. Es gelang ihm, indem er die Membranen, z. B. von Ferrocyanokupfer, innerhalb der Wände einer porösen Tonzelle sich ausbilden ließ. Die mit großem experimentellem Geschick und der größten Genauigkeit bei verschiedenen Temperaturen von *Pfeffer* ausgeführten Messungen führten zu dem Satze, daß der osmotische Druck einer Lösung proportional ist der Konzentration und der absoluten Temperatur der Lösung.

Worauf beruht es nun, daß, wenn man eine derartige, mit Zuckerlösung gefüllte semipermeable Zelle in reines Wasser hineintaucht, letzteres in die Zelle hineinwandert?. Diese Frage soll eines Tages von de Vries an *van't Hoff* gerichtet worden sein, als beide zusammen an den Kanälen Amsterdams spazieren gingen, und *van't Hoff* soll dadurch die Anregung zu seinen für die moderne Chemie so fruchtbaren Untersuchungen über die Natur des osmotischen Druckes erhalten haben. *Van't Hoff* berechnete die von den Physiologen erhaltenen Resultate und es glückte ihm, eine ungeahnte Gesetzmäßigkeit festzustellen. Er wies nach, daß die Zustandsgleichung der Gase

$$pv = 0.0821 T$$

auch für Lösungen gilt, wenn man statt Gasdruck und Gasvolumen osmotischen Druck und Volumen der Lösung einsetzt.

Auf die gefundene Übereinstimmung gestützt, zog

van't Hoff den Schluß, daß der osmotische Druck gleich dem Gasdruck ist, den man erhalten würde, wenn man das Lösungsmittel entfernt und die gelöste Substanz zu demselben Volumen vergasen könnte, das die Lösung einnahm, oder mit anderen Worten, der osmotische Druck einer bei der Temperatur t° eine gewisse Anzahl Moleküle pro Liter enthaltenden Lösung ist gleich dem Druck eines Gases, das bei derselben Temperatur dieselbe Anzahl Moleküle pro Liter enthält. Dieses von van't Hoff formulierte, äußerst wichtige Gesetz, ist das allgemeingültigste, bisher gefundene Gesetz der Materie.

Für van't Hoff galt es nun, dieses Gesetz ausreichend zu bestätigen, denn die verhältnismäßig wenigen Messungen von Pfeffer und de Vries waren bei weitem nicht hinreichend, um dieses umfassende Gesetz zu stützen. In den Messungen, die besonders von *Raoult* in Grenoble über den Dampfdruck der Lösungen gemacht worden waren, fand aber van't Hoff gute Beweise für die Allgemeingültigkeit seines Gesetzes. Es ist viel leichter, einen Gefrierpunkt zu beobachten, als genaue Messungen über den Dampfdruck auszuführen, weshalb van't Hoff's Gesetz hauptsächlich durch Beobachtungen über den Gefrierpunkt von Lösungen bestätigt wurde. Bei diesen Untersuchungen stieß van't Hoff auf eine Schwierigkeit, die im Anfang unüberwindlich schien. Von allen Lösungen sind natürlich die wäßrigen am wichtigsten und gerade unter diesen waren viele, die Ausnahmen von dem von van't Hoff aufgestellten Gesetz bildeten, indem der osmotische Druck zu groß, der Dampfdruck und der Gefrierpunkt zu niedrig waren. Die Differenzen waren höchst bedeutend, und betrug 50, 100, sogar 150 Prozent. Van't Hoff versuchte zuerst diejenigen Körper, die von dem Gesetz Abweichungen zeigten, als wirkliche Ausnahmen zu behandeln, hierdurch mußte aber

der Wert seines sonst so großartigen Lehrgebäudes wesentlich beeinträchtigt werden.

Schon um 1850 hatte *Clausius*, einer der Vorkämpfer der mechanischen Wärmetheorie, um die Tatsache zu erklären, daß auch der schwächste elektrische Strom durch eine Salzlösung gehen kann, die Annahme aufgestellt, daß einige wenige Salzmoleküle in die beiden Teile gespalten sind, die von *Faraday* Ionen genannt worden sind. Das im Salz enthaltene Metall ist nach *Faraday* das positive, der Rest das negative Ion. Zu einem ähnlichen Resultate war auch *Williamson* bei seinen Untersuchungen über den Ätherbildungsprozeß gelangt. Diese sogenannte *Williamson-Clausius*sche Hypothese blieb indessen von der Mehrzahl der Chemiker völlig unbeachtet, obgleich sie zwei berühmte Namen trug, und diejenigen, die ihr einige Aufmerksamkeit widmeten, betrachteten sie als völlig unnötig. In anderen Worten lautet die Hypothese: Die wirklich leitenden, d. h. die Elektrizität tragenden Moleküle einer Salzlösung sind in ihre Ionen gespalten, unabhängig davon, ob ein elektrischer Strom die Lösung passiert oder nicht.

Bei Untersuchungen über die Änderung der Leitfähigkeit, welche Salzlösungen bei der Verdünnung zeigen, gelangte *Arrhenius* schon im Jahre 1883 zu dem Resultate, daß bei äußerster Verdünnung wahrscheinlich alle Salzmoleküle zum Transport der Elektrizität beitragen. Durch Kombination dieser Annahme mit der *Williamson-Clausius*schen Hypothese schloß *Arrhenius*, daß in äußerster Verdünnung wahrscheinlich alle Salzmoleküle in ihre Ionen zerfallen sind. „In dieser Zeit,“ sagt *Arrhenius*, „schien aber eine derartige Auffassung den Grundwahrheiten der Chemie so zuwiderlaufend, daß ich es vorzog, statt von zerfallenen Molekülen von aktiven Molekülen zu sprechen.“ Diese aktiven Moleküle spielten in chemischer Hinsicht eine sehr bedeutende Rolle, denn sie waren zugleich die bei che-

mischen Vorgängen reagierenden Moleküle. Das Reaktionsvermögen der Säuren sollte also von ihrem Gehalt an aktiven Molekülen abhängig sein, ein Verhalten, das durch Untersuchungen von *Berthelot* und von *Thomson* bestätigt wurde. *Ostwald*¹⁾ zeigte, daß die Geschwindigkeit, mit der Säuren reagieren, proportional ihrem Gehalt an aktiven Molekülen ist.

Als die Resultate der umfassenden Untersuchungen von van't Hoff über die Beziehungen zwischen osmotischem Druck und Gasdruck im Jahre 1887 veröffentlicht wurden, konnte Arrhenius nachweisen, daß die Ausnahmen von dem van't Hoff'schen Gesetze durch einen Zerfall der Moleküle der gelösten Stoffe erklärt werden konnten. Der osmotische Druck einer normalen Chlorkaliumlösung, d. h. einer Lösung, die pro Liter ein Gramm-Molekül Chlorkalium enthält, sollte nach van't Hoff bei 0° 22.5 Atm. sein, wurde aber beinahe 40 Atm. gefunden. Dies könnte durch die Annahme erklärt werden, daß in der Lösung eine größere Anzahl Moleküle vorhanden sei.

Wenn beispielsweise $\frac{17.5}{22.5}$ der ganzen Anzahl in die Ionen K und Cl zerfallen und $\frac{5}{22.5}$ unzerfallen wären, so würde man den Druck von

$$5 + 2 \cdot 17.5 = 5 + 35 = 40 \text{ Atm.}$$

erhalten.

Es zeigte sich bald, daß eben diejenigen Lösungen, die von dem van't Hoff'schen Gesetze Ausnahmen bilden, Leiter der Elektrizität oder Elektrolyte sind. Man konnte nun durch Bestimmungen von osmotischem Druck, Gefrierpunkt, Siedepunkt und Dampfdruck der Lösungen der Elektrolyte berechnen, ein wie großer Teil des gelösten Elektrolyten in seine Ionen zerfallen sei, d. h. dessen Dissoziationsgrad feststellen. Diesen konnte man aber auch aus dem Leitvermögen der Lösungen berechnen, und Arrhenius

Seite 197 ff.

stellte nun den Dissoziationsgrad der Lösungen von etwa 90 Stoffen fest, deren Gefrierpunktserniedrigung von Raoult, und deren Leitfähigkeit von *Kohlrausch* u. a. bestimmt waren. Dabei wurde eine so vorzügliche Übereinstimmung zwischen den gefundenen Werten erhalten, daß er an dem Vorhandensein einer elektrolytischen Dissoziation nicht länger zweifeln konnte. Zugleich hatten die Ausnahmen von dem van't Hoff'schen Gesetze ihre genügende Erklärung gefunden, und Arrhenius konnte die elektrolytische Dissoziationstheorie vorlegen, die seither ihren Siegeszug durch die chemische Welt vollendet hat.

Einige wichtigere Erfahrungen auf dem Gebiete der experimentellen Chemie im neunzehnten Jahrhundert. Die rastlose Arbeit der Chemiker des neunzehnten Jahrhunderts hat das Erfahrungsgebiet der Chemie in hohem Grade erweitert. In einer kurzgefaßten Übersicht der Geschichte der chemischen Forschung von ältester Zeit bis zu unseren Tagen ein klares Bild der bedeutungsvollen experimentellen Resultate geben, liegt natürlich außerhalb der Grenzen des Möglichen. Einige Andeutungen über die bedeutungsvolleren chemischen Untersuchungen mögen jedoch nachstehend gegeben werden.

Die Zahl der bekannten Elemente ist im neunzehnten Jahrhundert wesentlich vermehrt worden. Eine der bedeutenderen Entdeckungen auf diesem Gebiete ist diejenige des *Argons*, eines lange übersehenen Bestandteils der Luft. Lord *Rayleigh*¹⁾ hatte beobachtet, daß das spezifische Gewicht des atmosphärischen Stickstoffes nicht unwesentlich höher ist als dasjenige des durch Oxydation von Ammoniak erhaltenen. Dies mußte auf dem Gehalt der Luft an einem spezifisch schwereren Gase beruhen. In der Tat gelang es auch *Rayleigh* und *W. Ramsay*¹⁾, diesen Bestandteil der Luft, das Argon, zu isolieren. Das Molekulargewicht des

¹⁾ Seite 197 ff.

Argons, aus der Dichte berechnet, ist 40. Das aus der spezifischen Wärme hergeleitete Atomgewicht zeigt, daß bei diesem Element Molekulargewicht und Atomgewicht zusammenfallen, d. h. daß die Moleküle des Argons einatomig sind. Dasselbe Verhalten findet sich auch bei den später entdeckten, ebenfalls in der Luft vorhandenen, gasförmigen Elementen Helium, Atomgewicht 4, Neon, 19,9, Krypton, 82, und Xenon, 128.

Bei der Erhitzung des Mineralen Cleveit wird ein Gas entwickelt, das von Ramsay mit Helium identifiziert wurde, einem Gase, dessen Spektrallinie im Sonnenspektrum schon früher beobachtet war. Dieses Element hat während der letzten Jahre an Interesse noch mehr dadurch gewonnen, daß es, wie Ramsay nachgewiesen hat, aus der Emanation eines anderen neuentdeckten Elementes, des Radiums, gebildet wird. — Am Ende des neunzehnten Jahrhunderts wurden neue Arten von strahlender Energie entdeckt, zuerst die Kathodenstrahlen und die von Röntgen¹⁾ entdeckten, nach ihm genannten Strahlen. Von den Kathodenstrahlen nimmt man an, daß sie nicht Wellenbewegungen im Äther sind, sondern mit großer Geschwindigkeit emittierte, mit negativer Elektrizität geladene Partikeln, Elektronen, deren Masse etwa dem zweitausendsten Teil der Masse des Wasserstoffatoms gleich ist. Die genannten Strahlen zeigen unter anderem das Vermögen gewisse Stoffe, wie Baryumplatinocyanür, zum Leuchten zu bringen und die Luft elektrisch leitend zu machen. Becquerel²⁾ hatte indessen die Beobachtung gemacht, daß Uran und Uranverbindungen, insbesondere das Mineral Pechblende, ebenfalls eigenartige Strahlen von ähnlichen Wirkungen aussenden. Diese sogenannte Radioaktivität hatte man auch bei einigen anderen Stoffen beobachtet, speziell bei Mineralien, und man nahm an, daß dieselbe an ein unbekanntes Element gebunden sei. Untersuchungen von P.

¹⁾ Seite 197 ff.

und *M. Curie*¹⁾ haben diese Annahme bestätigt. Es gelang ihnen das neue Element Radium als Bromid zu isolieren, das sich als die Quelle dieser eigentümlichen Strahlungsenergie enthüllt hat. Die eigentümlichen Umwandlungen des Radiums, wobei unter Energieverlust langsam neue, teils radioaktive, teils inaktive Körper (z. B. Helium) sich bilden, sind besonders von *Rutherford* klargelegt worden.

Ein neues Gebiet der chemischen Forschung wurde durch die Entdeckung der Metallkarbide eröffnet. Von denselben hat das Kalziumkarbid ausgedehnte Verwendung als Ausgangsmaterial zur Bereitung von Azetylen gefunden, und Siliziumkarbid (Carborundum) wird wegen seiner Härte als ausgezeichnetes Schleifmittel gebraucht. Die Möglichkeit, diese nur bei sehr hohen Temperaturen entstehenden Verbindungen darzustellen, wurde durch die Verwendung elektrischer Öfen gegeben. Großes Verdienst um das Studium der bei hohen Temperaturen stattfindenden Reaktionen hat sich *Moissan*¹⁾ erworben, indem er in seinem elektrischen Ofen nicht nur eine Menge verschiedener Metallkarbide dargestellt hat, sondern auch mehrere früher als nicht-flüchtig angesehene Metalle, z. B. Eisen, Kupfer, Gold, Platin, der Destillation unterworfen hat.

Unter den chemischen Reaktionen, die zu ihrer Durchführung hohe Temperaturen erfordern, sind zu nennen die in den letzten Jahren von *Birkeland-Eyde* und von *Frank* ausgearbeiteten Methoden, die die Nutzbarmachung des atmosphärischen Stickstoffs mit Hilfe des elektrischen Stromes erzielen.

Ein Gebiet der anorganischen Chemie, dem von Seiten der schwedischen Chemiker viele Aufmerksamkeit zuteil wurde, ist die Gruppe der seltenen Erden. Während der letzten Jahrzehnte haben mehrere dieser Gruppe ange-

¹⁾ Seite 197 ff.

hörige Stoffe bedeutende technische Verwendung für Beleuchtungszwecke gefunden. (Das Gasglühlicht von *Auer von Welsbach*, die Nernstlampe usw.). Von schwedischen Chemikern, die diesem Gebiete ihr Interesse gewidmet und es mit Erfolg bearbeitet haben, sind zu erwähnen *Mosander*¹⁾, *Cleve*²⁾ und *Nilson*²⁾).

Als Resultat der emsigen Arbeit auf dem Gebiete der organischen Chemie, welche die zweite Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts kennzeichnet, steht die erstaunlich große Zahl von weit mehr als hunderttausend Kohlenstoffverbindungen da. Die Darstellung der großen Zahl von organischen Verbindungen ist durch die Ausarbeitung einer Menge allgemein verwendbarer, synthetischer Methoden erleichtert worden, und auch in hohem Grade komplizierte Moleküle können jetzt aufgebaut werden. Diejenigen Teile der organischen Chemie, die in synthetischer Hinsicht am schwierigsten erreichbar gewesen, sind gewisse in der organischen Natur vorkommende Gruppen, wie die Zuckerarten, Alkaloide, Glykoside und Eiweißstoffe. Durch die von *Emil Fischer*²⁾ durchgeführten Synthesen von Zuckerarten und Glykosiden, in letzterer Zeit auch von den Eiweißstoffen nahestehenden Verbindungen, sind aber auch hier der chemischen Forschung neue Gebiete eröffnet worden, deren Umfang noch nicht überblickt werden kann. Von außerordentlicher praktischer Bedeutung ist auch die synthetische Darstellung der verschiedenartigsten organischen Farbstoffe, auch von solchen, die in der Natur vorkommen und früher daraus gewonnen wurden. Ein derartiger Farbstoff ist der Indigo, dessen synthetische Darstellung zuerst *A. von Baeyer*¹⁾ gelungen ist, einem Chemiker, dessen Arbeiten in der organischen Chemie von bahnbrechender Bedeutung sind.

Die Bedeutung dieser synthetischen Arbeit muß, abgesehen von ihrer praktischen Bedeutung für die Darstel-

¹⁾ Seite 149 ff. ²⁾ Seite 197 ff.

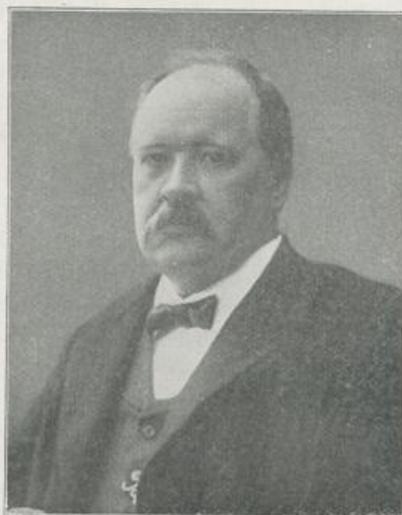
lung einer großen Anzahl von als Heilmittel und in der Industrie wichtigen Verbindungen, vom theoretischen Gesichtspunkte sehr hoch veranschlagt werden. In der Tat ist es die Synthese einer Menge von organischen Verbindungen, die uns den Schlüssel zu ihrer Konstitution gegeben hat. So lernte man beispielsweise die rationelle Zusammensetzung der Essigsäure durch ihre Bildung aus Methylverbindungen kennen, die Konstitution der Kohlenwasserstoffe ging aus ihrer Bildung aus Halogenalkylen mit Zink oder Natrium hervor, die wirkliche Zusammensetzung der Oxy Säuren erhielt ihre Beleuchtung durch das Verhalten der Aldehyde und Ketone bei der Einwirkung von Cyanwasserstoff und darauffolgender Verseifung usw.

Die Auffassung, die Berzelius einst ausgesprochen hat, daß nämlich die Kenntnis von den näheren Bestandteilen der Körper das höchste sei, was ein Chemiker erzielen könne, hat ihre volle Gültigkeit auf dem Gebiete der organischen Chemie, wo die Konstitutionsbestimmungen mit Recht zu den bedeutungsvollsten, zugleich aber auch den schwierigsten Arbeiten gerechnet werden, die der Chemiker in Angriff nehmen kann.

Biographische Notizen von einigen in der späteren Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts hervortretende Persönlichkeiten.

Arrhenius, Svante August, schwedischer Physiker und Chemiker, wurde den 19. Februar 1859 auf dem Gut Vik, Schweden, geboren. Im Jahre 1876 fing er seine Studien an der Universität Upsala an und wurde 1884, nach dem Doktorexamen, Privatdozent der physikalischen Chemie. 1881—83 studierte Arrhenius in Stockholm unter *Edlunds* Leitung die Leitfähigkeit der Elektrolyte und kam dabei zu der Einsicht, daß Verbindungen, die in Lösung elektrisch leitend sind, teilweise in elektrisch geladene Komponenten (Ionen) dissoziiert sein müssen. Diese Auffassung hat Arrhenius in der sogenannten elektrolytischen Dissoziationstheorie vorge-

legt, die eine neue, streng wissenschaftliche Auffassung der chemischen Erscheinungen geschaffen hat und die Grundlage der modernen Elektrochemie bildet. Diese Theorie hat auch auf andere Wissenschaften, insbesondere auf die Physik und Physiologie, einen großen Einfluß ausgeübt. 1886—88 arbeitete Arrhenius in den Laboratorien von *Kohlrausch*, *Boltzmann*, *Ostwald* und *van't Hoff*, und 1902 und 1903 in den Seruminsti- tuten in Dänemark und Deutschland. Im Jahre 1891 wurde er zum Lehrer,



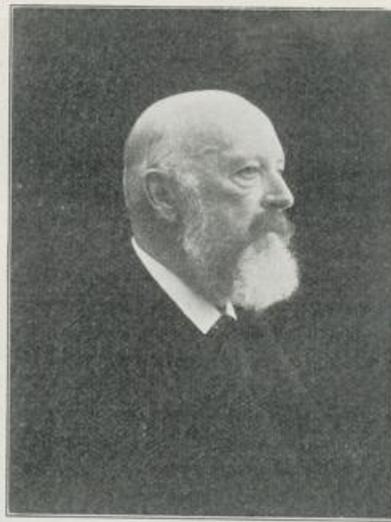
Svante August Arrhenius.

1895 zum Professor der Physik an der Hochschule Stockholm ernannt. Schon in seiner Doktorarbeit *Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes* (1884) hat Arrhenius die Grundzüge der elektrolytischen Dissoziationstheorie angedeutet. Völlig entwickelt findet man die Theorie in *Versuch die Dissoziation (den Aktivitätskoeffizienten) in Wasser gelöster Körper zu berechnen* (in schwedischer Sprache in der „Übersicht“ der schwedischen Akademie der Wissenschaften, 1884) und in *Additive Eigenschaften der Salzlösungen* (Zeitschr. für physik. Chemie, 1887). In einer Menge Abhandlungen aus den Jahren 1887—1901 hat Arrhenius die Resultate der Untersuchungen

vorgelegt, die er, um die Tragweite seiner Theorie zu prüfen, ausgeführt hat. In diesen Arbeiten hat er die Theorie noch weiter entwickelt. Auf die Dissoziationstheorie gestützt, hat Arrhenius Versuche über die Leitfähigkeit der Gase gemacht; die Resultate sind in der Abhandlung *Leitung durch heiße Salzdämpfe* (1891) niedergelegt. Eine Zusammenfassung der Dissoziationstheorie und der physikalisch-chemischen Forschung überhaupt hat Arrhenius in seinem *Lehrbuch der Elektrochemie* (1899) gegeben. Die Hauptzüge der Dissoziationstheorie finden sich in den *Rapports prés. au Congrès intern. de physique* (Paris 1900). Auf seine Erfahrungen über die Leitfähigkeit der Gase gestützt, hat er eine neue Hypothese der Lufterlektrizität aufgestellt (*Meteor. Zeitschrift* 1888). Die Resultate seiner Untersuchungen über die Lufterlektrizität und davon abhängige Phänomene, die Gewitter und das Nordlicht, hat Arrhenius in vier mit *N. Ekholm* herausgegebenen Abhandlungen (1894—98) vorgelegt. Arrhenius hat es verstanden, mit einem seltenen Ideenreichtum und großer Geistesschärfe seine Methoden auf bisher ungelöste Probleme anzuwenden, nicht nur in der Chemie und Physik, sondern auch in der Astrophysik, Geophysik, Geologie, Meteorologie und, wie früher hervorgehoben, Physiologie. Eine Darstellung der ganzen kosmischen Physik vom modernen, chemischen und physikalischen Standpunkte hat Arrhenius in seinem *Lehrbuch der kosmischen Physik* (Leipzig, 1902—03) gegeben, woselbst er auch seine kosmogonische Auffassung auseinandergesetzt hat. Einen großen Fortschritt der serumtherapeutischen Forschung bezeichnet die von Arrhenius und *Th. Madsen* herausgegebene Abhandlung *Physical chemistry applied to toxins and antitoxins* (Kopenhagen 1902, Festschrift bei der Einweihung des Seruminstitutes des dänischen Staates; deutsch in *Zeitschr. f. physik. Chemie* 44, 1903), wo Arrhenius gezeigt hat, daß die Gesetze der physikalischen Chemie auf die Serumtherapie angewendet werden können und speziell, daß die Wechselwirkungen zwischen Toxin und Antitoxin der Neutralisation völlig entsprechen. Seine wichtigsten Resultate auf dem Gebiete der Serumtherapie hat Arrhenius in der Arbeit *Anwendung der physikalischen Chemie auf die Serumtherapie* gesammelt (1904, in der „Festschrift für L. Boltzmann“). Die Anzahl der von Arrhenius veröffentlichten Arbeiten ist sehr groß, und viele unter ihnen auch die populär-wissenschaftlichen sind in fremde Sprachen übersetzt. Arrhenius ist Mitglied und Ehrenmitglied einer Menge gelehrter Gesellschaften. Im Jahre 1902 erhielt er die Davy-Medaille und im Jahre

1903 den Nobelpreis für Chemie. Seit 1904 ist er Vorstand des des physikalisch-chemischen Nobelinstitutes der schwedischen Akademie der Wissenschaften, das seit 1909 sein eigenes Laboratorium außerhalb Stockholms besitzt.

Baeyer, Adolf von, deutscher Chemiker, wurde in Berlin im Jahre 1835 geboren. Nach abgeschlossenen Studien in Berlin wurde er dort im Jahre 1860 Privatdozent und im Jahre 1866 a. o. Professor der Chemie. 1872 wurde von Baeyer als



Adolf von Baeyer.

o. Professor an die Universität Straßburg berufen und 1875 als Liebig's Nachfolger an die Universität München, wo unter seiner Leitung ein neues, zeitgemäßes Laboratorium gebaut wurde. In der organischen Chemie hat von Baeyer eine bahnbrechende Wirksamkeit ausgeübt, die sich über weit ausgedehnte Gebiete erstreckt hat. Ein Teil seiner Arbeiten hat auch praktische Bedeutung gehabt, wie die synthetische Darstellung von Indigo und die Entdeckung der Phthaleinfarbstoffe. Das chemische Institut in München ist unter von Baeyers Leitung eine Schule berühmter Chemiker geworden — Emil Fischer gehört dem Kreis seiner Schüler an — und auch hierdurch hat er einen großen Einfluß auf die Entwicklung der

experimentellen organischen Chemie ausgeübt. Auch auf theoretischem Gebiete hat von Baeyer wichtige Beiträge geliefert. In erster Linie seine Hypothesen über den Verlauf der Assimilation und über die Konstitution des Benzolkerns, ferner seine Spannungstheorie zur Erklärung der verschiedenen Stabilität zyklischer Verbindungen. Als Nestor der Vertreter der Chemie in Deutschland, bekleidet von Baeyer immer noch seine Professur in München. Im Jahre 1905 erhielt er den Nobelpreis für Chemie.

Becquerel, Antoine Henri, französischer Physiker, wurde im Jahre 1852 geboren. Nachdem er in Paris teils an der polytechnischen Schule, teils an der Schule für Straßen- und Wasserbau studiert hatte, wurde er im Jahre 1892 Lehrer am naturgeschichtlichen Museum daselbst. 1895 übernahm er ein Lehramt an der polytechnischen Schule in Paris. Becquerel hat sich hauptsächlich mit den elektrischen, ganz besonders den elektrisch-optischen Erscheinungen beschäftigt. Von größter Bedeutung war seine im Jahre 1896 gemachte Entdeckung, daß die uranhaltigen Stoffe eine Art von Strahlen emittieren, die nach ihm den Namen Becquerel-Strahlen erhielten. Becquerel hat dieselben eingehend studiert und erhielt 1903 wegen seiner Entdeckung die Hälfte des Nobelpreises für Physik. Unter seinen zahlreichen Arbeiten seien erwähnt *Recherches sur la phosphorescence* (1882—97), *Découverte des radiations invisibles lumes par l'uranium et des phénomènes produits par ces radiations* (1896—97). — Er starb zu Paris im Jahre 1908.

Beilstein, Friedrich Konrad, russischer Chemiker, geboren 1838, studierte an deutschen Universitäten, arbeitete unter Wurtz-Paris und Wöhler-Göttingen und wurde 1860 Dozent an der letztgenannten Universität. Im Jahre 1866 wurde er zum Professor an der technischen Hochschule in Petersburg ernannt. Beilstein hat ein *Handbuch der organischen Chemie* (1880—83) herausgegeben, das vollständigste Werk dieser Art, das die Literatur besitzt. Die dritte Auflage wird von der Deutschen Gesellschaft ergänzt. — Beilstein starb im Jahre 1905.

Berthelot, Marcellin Pierre Eugène, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1827 in Paris geboren. Er wurde im Jahre 1859 Professor der Chemie an der *Ecole de pharmacie*. Im Jahre 1864 wurde für ihn eine Professur am *Collège de France* errichtet. Ferner wurde er Mitglied des Institut de France und nach Pasteur dessen steter Schriftführer. Berthelot ist kürzere Zeiten teils Unterrichtsminister, teils Minister des Auswärtigen in verschiedenen Ministerien gewesen.

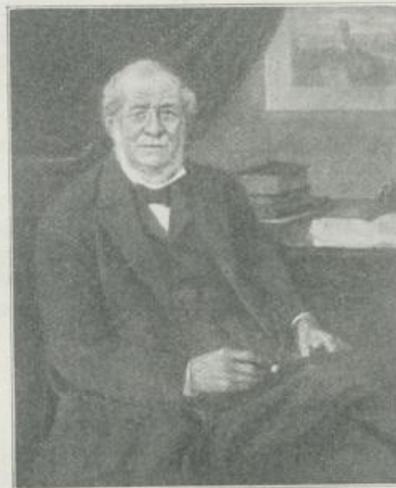
Als chemischer Autor ist Berthelot ganz außergewöhnlich produktiv gewesen. Seine früheren Arbeiten betreffen hauptsächlich die Synthese von organischen Verbindungen aus den Elementen. Durch diese Arbeiten, die in seinen großen Werken *Chimie organique fondée sur la synthèse* und *Leçons sur les méthodes générales de synthèse en chimie organique* niedergelegt sind, hat Berthelot auf die chemische Forschung in den Jahren 1860—70 einen großen Einfluß ausgeübt. Die späteren Untersuchungen von Berthelot, die thermochemischen Inhalts sind, sind in seinen Arbeiten *Essai de mécanique chimique fondée sur la thermochimie* (1879) und *Thermochimie* (1897) niedergelegt. Berthelot hat außerdem sehr eingehende chemisch-geschichtliche Forschungen angestellt. Am 24. November 1901 feierte er unter lebhafter Teilnahme der ganzen wissenschaftlichen Welt sein 50jähriges Jubiläum als akademischer Lehrer. Er starb im Jahre 1907 in Paris.

Blomstrand, Kristian Wilhelm, schwedischer Chemiker, geboren 1826. Er wurde im Jahre 1862 Professor der Chemie an der Universität Lund. Von seinen hervorragenderen Arbeiten sind bemerkenswert seine Untersuchungen über Molybdän, wobei er das Vorhandensein komplizierter Chlorverbindungen dieses Metalles nachweist, ferner seine Untersuchungen über die Chloride und Bromide des Wolframs, wie über die Metalle der Tantalgruppe. Durch diese Arbeiten von Blomstrand wurden die älteren, sehr wirren Angaben aufgeklärt. Auf theoretischem Gebiete hat Blomstrand unter anderem die Arbeiten *Über die Konstitution der organischen Körper* (1864) und *Die Chemie der Jetztzeit* (1869) veröffentlicht; in der letztgenannten Arbeit gibt er eine detaillierte, kritische Darstellung der chemischen Theorien seiner Zeit. Blomstrand spricht hier viele neue und originelle Ansichten über die Zusammensetzung mehrerer Gruppen von Verbindungen aus. Viele von diesen Ansichten, z. B. seine Auffassung von der Konstitution der Diazonium-Salze, sind später so gut wie allgemein angenommen worden. Er hat auch Lehrbücher der anorganischen und organischen Chemie herausgegeben. — Blomstrand starb in Lund im Jahre 1897.

Bunsen, Robert Wilhelm, deutscher Chemiker und Physiker, war im Jahre 1811 in Göttingen geboren. Er wurde im Jahre 1836 Professor der Chemie an der polytechnischen Schule in Kassel, 1838 an der Universität Marburg, 1851 in Breslau, endlich 1852 in Heidelberg. Bunsen hat eine Menge schwieriger Untersuchungen auf chemischem Gebiete ausgeführt. Er wid-

mete sich zuerst der anorganischen Chemie, ging aber dann zu der äußerst schwierigen Untersuchung über die Kakodylverbindungen über. Durch seine Arbeit mit gasförmigen Substanzen wurde Bunsen zum Problem der Gasanalyse geführt und arbeitete einige neue Methoden aus, die für die moderne Gasanalyse grundlegend geworden sind.

Der Name Bunsens ist mit vielen Apparaten und Instrumenten verbunden, z. B. dem Bunsenbrenner, dem Bun-



Robert Wilhelm Bunsen.

senelement, dem Photometer von Bunsen. Die bedeutendste Arbeit von Bunsen ist jedoch die von ihm und Kirchhoff 1861 gemachte Entdeckung der Spektralanalyse, welche Entdeckung sowohl in der Chemie und der Physik wie in der Astronomie außerordentlich fruchtbringend gewesen ist. Seine Lehrtätigkeit, die ein halbes Jahrhundert dauerte, hat sehr reiche Früchte getragen. Im Jahre 1889 legte Bunsen seine Professur nieder, blieb aber in Heidelberg, wo er sein „otium“ genoß. — Er starb im Jahre 1899.

Butlerow, Alexander von, russischer Chemiker, wurde im Jahre 1828 in Tschistopol (im Gouvernement Kasan) geboren. Zuerst Professor an der Universität Kasan, wurde er im Jahre

1868 Professor der Chemie an der Universität Petersburg. Er hat den aliphatischen Kohlenwasserstoffen und Alkoholen insbesondere denjenigen der Butanserie ein eingehendes Studium gewidmet. Ferner hat er sehr wertvolle Beiträge zur Lehre von der Atomverkettung geliefert und die Strukturisomerieverhältnisse eingehend studiert. Butlerow hat ein *Lehrbuch der organischen Chemie* herausgegeben (Leipzig 1868). — Er starb in Petersburg im Jahre 1886.

Cannizzaro, Stanislao, italienischer Chemiker, wurde im Jahre 1826 in Palermo geboren. Er war zuerst Artillerieoffizier und nahm an der Revolution in Sizilien im Jahre 1848 teil. Im Jahre 1853 wurde er Professor der Chemie in Genua, 1861 in Palermo und seit 1882 wirkte er an der Universität Rom. Er ist der erste, der nachgewiesen hat, daß man in den spezifischen Wärmen der Metalle ein sicheres Hilfsmittel besitzt, um ihre Atomgewichte feststellen zu können. Auch um die organische Chemie hat sich Cannizzaro sehr verdient gemacht, und eine seiner bekanntesten Untersuchungen, die sogenannte Cannizzarose Reaktion, umfaßt die Einwirkung von Alkalihydroxyden auf aromatische Aldehyde. Cannizzaro hat eine Arbeit *Molekulartheorie und Methode des chemischen Unterrichts* herausgegeben. — Er starb in Rom im Jahre 1910.

Clausius, Robert Julius Emanuel, deutscher Physiker, geboren im Jahre 1822 in Köslin (Pommern), wurde 1855 zum Professor der Physik am Polytechnikum Zürich ernannt, ging aber schon nach zwei Jahren zur Universität daselbst über. 1867 wurde er als Professor der Physik an die Universität Würzburg und 1869 an die Universität Bonn berufen. Clausius war einer der hervorragendsten Vertreter der mechanischen Wärmetheorie. Seine diesbezüglichen Arbeiten wurden zuerst in *Poggendorffs Annalen* unter dem Titel *Grundzüge einer Theorie der Gase* (1856) veröffentlicht und wurden dann in Buchform unter dem Titel *Die mechanische Wärmetheorie* (1864—67; 2. Aufl. Band I, 1887) herausgegeben. Unter seinen übrigen Arbeiten sei erwähnt *Die Potentialfunktion und das Potential* (1859; 4. Aufl. 1885). Sehr bekannt ist auch wegen der späteren Entwicklung seine Hypothese, daß die Moleküle der Elektrolyte teilweise zerfallen seien (1857). — Er starb zu Bonn im Jahre 1888.

Cleve, Per Teodor, schwedischer Chemiker, wurde im Jahre 1840 in Stockholm geboren. Im Jahre 1874 wurde er als Nachfolger von *Svanberg* zum Professor der Chemie an der Universität Upsala ernannt.

Unter den vielen wissenschaftlichen Arbeiten von Cleve sind erwähnenswert seine Untersuchungen über die ammoniakalischen Platinverbindungen, über Derivate des Naphthalins und über die seltenen Erden. Besonders auf letzterem Gebiete sind Cleves Arbeiten von größter Bedeutung gewesen. Er hat mehrere Lehrbücher der organischen und anorganischen Chemie herausgegeben. — Er starb in Upsala im Jahre 1905.

Crookes, Sir William, englischer Physiker und Chemiker, wurde im Jahre 1832 in London geboren. Nach Studien am College of chemistry wurde er im Jahre 1854 an der Radcliffe-Sternwarte in Oxford angestellt und wurde im Jahre 1855 Lehrer der Chemie in Chester. Seit 1859 hat Crookes kein öffentliches Amt bekleidet; von diesem Jahre an gab er die Zeitschrift *Chemical News* und seit 1864 *Quarterly journal of sciences* heraus. Die bedeutendsten Arbeiten von Crookes gehören dem Gebiet der Spektralanalyse an; er hat das photographische Studium des Sonnenspektrums eingeführt und entdeckte auf spektralanalytischem Wege das Element Thallium (1861). Eine umfassende Arbeit hat Crookes dem Studium der Elektrizitätserscheinungen in äußerst verdünnten Gasen gewidmet insbesondere der Eigenschaft der dabei entstehenden Kathodenstrahlen, eine kräftige Phosphoreszenz bei den Körpern zu erregen, die ihrer Einwirkung ausgesetzt sind, wie auch der Eigenschaft der Strahlen Wärme oder mechanische Arbeit zu erzeugen. Über diese Phänomene hat Crookes im Jahre 1879 die populäre Abhandlung *Radiant matter* (strahlende Materie) verfaßt, welche durch die Beschreibung glänzender Experimente und durch originellen Stil großes Aufsehen erregte und in mehrere Sprachen übersetzt wurde. Durch die spektralanalytische Untersuchung des Gases, das beim Erhitzen des Minerals Cleveit entwickelt wird, hat Crookes gezeigt, daß dasselbe identisch ist mit dem in der Sonnenatmosphäre vorhandenen Elemente Helium. In den letzten Jahren hat Crookes sein hauptsächlichliches Interesse dem Studium der Radioaktivität gewidmet. Crookes hat auch einige Handbücher herausgegeben, z. B. *Select methods of chemical analytes*. (1871; 3. Aufl. 1894.)

Curie, Pierre und seine Gattin *Marie Curie*, ersterer Physiker, letztere Chemikerin, haben in letzter Zeit bedeutsame Untersuchungen über die Radioaktivität ausgeführt.

Pierre Curie, geboren in Paris 1859, Professor der Physik an der Sorbonne, führte in jüngeren Jahren Arbeiten über die

Wärmestrahlung und Piezoelektrizität aus. Er starb zufolge eines Unfalls in Paris 1906.

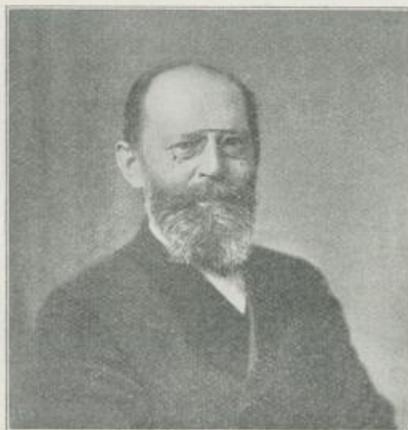
Marie Curie, geb. Marya Sklodowska, war zuerst Professor an dem höheren Lehrerinnenseminar, hat aber nach dem Hinscheiden ihres Gatten seinen Lehrstuhl an der Sorbonne inne.

Seit 1897 waren die Curies mit Arbeiten über radioaktive Stoffe beschäftigt. Nachdem sie gefunden hatten, daß die Pechblende größere Radioaktivität besitzt, als ihrem Urangehalt entspricht, gelang es Frau Curie durch chemische Methoden der fraktionierten Trennung Präparate von einer größeren Radioaktivität darzustellen und zuletzt Salze von zwei bisher unbekanntem äußerst stark radioaktiven Metallen, welche die Namen Radium und Polonium erhielten, zu isolieren. Während der elementare Charakter des Poloniums noch nicht feststeht, muß das Radium nach unserer gegenwärtigen Auffassung als ein Element betrachtet werden, dessen Atomgewicht von Frau Curie zu 225 bestimmt worden ist. Eine sehr vollständige Zusammenfassung von ihren und ihres Mannes Arbeiten hat Frau Curie in den *Annales de Chimie et de Physique* geliefert.

Im Jahre 1903 haben Pierre und Marie Curie die Hälfte von dem physischen Nobelpreis und 1911 Frau Curie den ganzen chemischen Nobelpreis erhalten.

Fischer, Emil, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1852 in Euskirchen bei Köln geboren. Nach Studien an den Universitäten Bonn, Straßburg und München wurde er an der letztgenannten Universität im Jahre 1878 Privatdozent und im Jahre 1879 a. o. Professor der Chemie. Im Jahre 1882 wurde er als o. Professor nach Erlangen, 1885 nach Würzburg, endlich im Jahre 1892 nach Berlin berufen. Das erste große Arbeitsgebiet Fischers war die Triphenylmethangruppe, und im Jahre 1878 gelang es ihm, die Konstitution der Rosanilinfarbstoffe festzustellen. Schon im Jahre vorher hatte Fischer eine Entdeckung von großer Bedeutung gemacht, die Darstellung einer neuen Base Phenylhydrazin durch die Reduktion von Diazoniumsalzen. Hierdurch hatte er auch den Schlüssel zum Studium der Chemie der Zuckerarten erhalten, und dieses früher wenig erforschte Gebiet ist seither durch die Arbeiten von Fischer und seinen Schülern eines der am besten durchgearbeiteten und aufgeklärten Gebiete der organischen Chemie geworden. Nur durch die Überführung der Zuckerarten in schwerlösliche, kristallisierende Osazone mit Hilfe von Phenylhydrazin wurde es möglich, die verschiedenen

Zuckerarten voneinander zu trennen und ihre Eigenschaften und gegenseitigen Beziehungen festzustellen. Es gelang Fischer, die vollständige Synthese vieler Zuckerarten durchzuführen; er arbeitete auch Methoden aus, die Zuckerarten ineinander überzuführen, und aus einfacheren Zuckerarten andere mit längeren Kohlenstoffverkettungen aufzubauen; endlich stellte er eine Menge neue Zuckerarten dar, die in der Natur noch nicht auf-



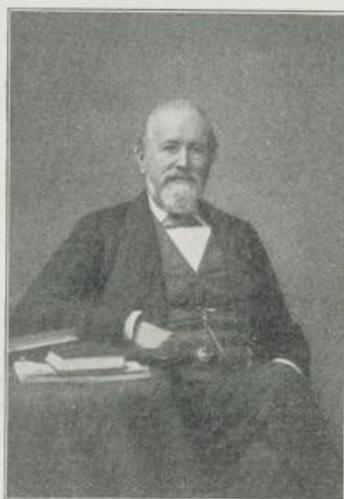
Emil Fischer.

gefunden waren. Bei der Systematisierung der zahlreichen stereoisomeren Zuckerarten hat van't Hoff's Theorie der Asymmetrie der Kohlenstoffatome als Ursache gewisser Arten von Stereoisomerie ihre glänzendste Bestätigung erhalten.

Das nächste große Arbeitsgebiet Fischers umfaßt die Harnsäuregruppe, wohin physiologisch sehr wichtige Stoffe, wie Harnsäure, Koffein, Xanthin, gerechnet werden. Er ermittelte nicht nur die Konstitution aller zu dieser Gruppe gehörenden Körper, sondern arbeitete auch Methoden zu ihrer synthetischen Darstellung aus, und es gelang ihm auch diejenige Verbindung, das Purin, darzustellen, welche die Muttersubstanz sämtlicher zur Gruppe der Harnsäure gehörenden Verbindungen ist. Mit demselben einzig dastehenden Erfolg hat Fischer seit einigen Jahren die größte und schwierigste der Hauptgruppen der organischen Chemie, die Eiweißstoffe, zu bearbeiten begonnen. Durch sein Verfahren, die verschiedenen

Ester der aus den Eiweißstoffen erhaltenen Spaltprodukte durch fraktionierte Vakuumdestillation zu trennen, hat Fischer eine wesentlich erweiterte Erfahrung von der Zusammensetzung dieser Körper gewonnen. Durch systematischen Aufbau von immer höheren Molekülen aus den Aminosäuren ist es Fischer gelungen, Verbindungen zu erhalten, die den natürlichen Eiweißstoffen sehr nahe stehen. Diese, den Peptonen am meisten ähnlichen Verbindungen, werden von Fischer Peptide genannt. Aber nicht nur der reinen Chemie sind die epochemachenden Arbeiten Fischers zugute gekommen; viele unter ihnen haben die Entwicklung der Physiologie in gleichem Maße gefördert und können als in dieser Wissenschaft bahnbrechend angesehen werden. Die Resultate der Untersuchungen auf dem letztgenannten großen Arbeitsgebiete sind in Buchform unter dem Titel *Untersuchungen über Aminosäuren, Polypeptide und Proteine* (1906) veröffentlicht worden.

Fischer ist Mitglied der Akademien und der gelehrten Gesellschaften fast aller Länder und erhielt im Jahre 1902 den Nobelpreis für Chemie.



Edward Frankland.

Frankland, Edward, englischer Chemiker, wurde im Jahre 1825 geboren. Im Jahre 1851 schon wurde er Professor der Chemie an Owens College, Manchester, und im Jahre 1865 an

der Bergakademie in London. Seine wichtigsten Arbeiten auf chemischem Gebiete bilden die Untersuchungen über die Organometallverbindungen. Unter den Abhandlungen von Frankland sind bemerkenswert *Researches on the isolation of the radicals of organic Compounds* (1883) und *Influence of atmospheric pressure on the light of gas, candle and other flames* (1853). Seine sowohl in englischen wie in auswärtigen Zeitschriften veröffentlichten Abhandlungen wurden unter dem Titel *Researches in pure, applied and physical chemistry* im Jahre 1877 herausgegeben. — Er starb zu London im Jahre 1899.

Hantzsch, Arthur, deutscher Chemiker, geboren im Jahre 1857 in Dresden. Er studierte die Chemie bei J. Wislicenus in Würzburg und wurde 1883 Privatdozent an der Universität Leipzig. Im Jahre 1885 wurde Hantzsch zum ordentlichen Professor am Polytechnikum in Zürich, 1893 nach Würzburg und 1905 nach Leipzig berufen. Unter seinen zahlreichen Arbeiten auf dem organisch-chemischen Gebiete ist besonders erwähnenswert die sogenannte Hantzschsche Pyridinsynthese (aus Azetessigäther und Aldehydammoniak). Von seinen theoretischen Arbeiten seien diejenigen hervorgehoben, in welchen er mit *A. Werner* eine Theorie der Stereochemie des Stickstoffs aufgestellt und entwickelt hat. In einer großen Anzahl Abhandlungen hat Hantzsch seine Untersuchungen über die Diazoniumverbindungen niedergelegt, und hat es versucht, seine Ansichten über die Stereochemie des Stickstoffs auf die Erklärung der Isomerieverhältnisse dieser Verbindungen zu übertragen. Seit 1904 hat Hantzsch dem Studium der Beziehungen zwischen Farbe und Konstitution chemischer Verbindungen großes Interesse gewidmet.

Van't Hoff, Jacobus Hendricus, holländisch-deutscher Physiker und Chemiker, wurde im Jahre 1852 in Rotterdam geboren. Er studierte zuerst Ingenieurwissenschaft an dem Polytechnikum Delft, dann Chemie an den Universitäten in Leyden, Utrecht, Bonn (bei Kekulé) und Paris (bei Berthelot). Im Jahre 1876 wurde er Lehrer an der tierärztlichen Hochschule in Utrecht und 1877 Lektor, im folgenden Jahre Professor der Chemie an der Universität Amsterdam. Er wurde im Jahre 1895 als Professor an die Berliner Universität berufen. 1875 schon zog van't Hoff durch seine Arbeit *Chimie dans l'espace* die Aufmerksamkeit auf sich. (Die zweite Auflage des Werkes erschien im Jahre 1885 als *Dix années dans l'histoire d'une théorie*; die zweite deutsche Auflage erschien 1894 unter dem Titel *Die Lagerung der Atome im Raume*). Die von van't Hoff

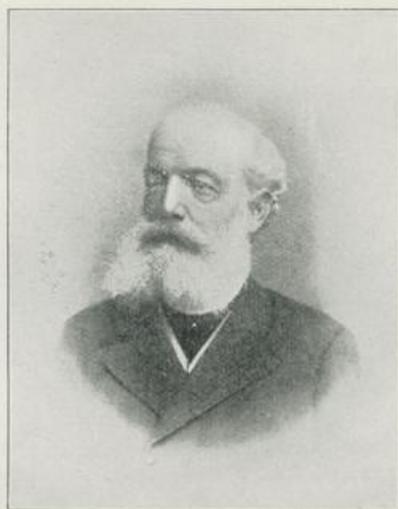
hier ausgesprochenen Ansichten über die Möglichkeit, gewisse Isomerieerscheinungen durch die Hypothese verschiedener räumlicher Lagerung der Atome zu erklären, wurde anfangs mit Gleichgültigkeit, ja sogar mit Hohn (Kolbe) aufgenommen, obgleich der Franzose *le Bel* ungefähr zur selben Zeit wie van't Hoff eine ähnliche Auffassung der Öffentlichkeit bekannt gegeben hatte. Die von van't Hoff verteidigten Ansichten errangen jedoch bald den Sieg hauptsächlich durch das Einschreiten von Wisli-



Jacobus Hendricus van't Hoff.

enus. Eine andere bedeutende Leistung auf dem Gebiete der organischen Chemie war die Arbeit van't Hoff's *Ansichten über die organische Chemie* (1878—81). Noch umfassender und bedeutungsvoller sind die Ansichten, die durch seine Arbeit *Études dynamique chimique* (1884) begründet und in *Lois de l'équilibre chimique* weiter entwickelt wurden. (Letztere Arbeit wurde in den „Svenska Vetenskapsakademiens handlingar, 1886“ veröffentlicht und in der Zeitschrift für phys. Chemie, 1887 unter dem Titel *Die Rolle des osmotischen Druckes* usw. abgedruckt.) Diese Arbeiten van't Hoff haben zu der großartigen Entwicklung der physikalischen Chemie während der letzten Jahrzehnte in höchstem Grade beigetragen. Seinen theo-

retischen Standpunkt hat er in den meisterhaften *Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie* (erschiene 1900, die zweite Auflage 1903; in mehrere fremde Sprachen übersetzt) und in *Acht Vorträge über physikalische Chemie* (1902) zusammengefaßt. Nachdem van't Hoff nach Berlin übergesiedelt war, hat er der Frage der Salzablagerung in langsam verdunstendem Meerwasser sein hauptsächlichliches Interesse gewidmet. Zahlreiche Abhandlungen über dieses Thema sind in den Sitzungsberichten der *Berliner Akademie der Wissenschaften* veröffentlicht, und eine Zusammenfassung derselben erschien unter dem Titel *Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen* (1905). Seit 1887 gab van't Hoff in Gemeinschaft mit *W. Ostwald* das Hauptorgan der physikalisch-chemischen Forschung, die *Zeitschrift für physikalische Chemie* heraus. Im Jahre 1901, als die Nobelpreise zum ersten Male verliehen wurden, wurde van't Hoff der Preis für Chemie zuerkannt. — Er starb in Berlin 1911.



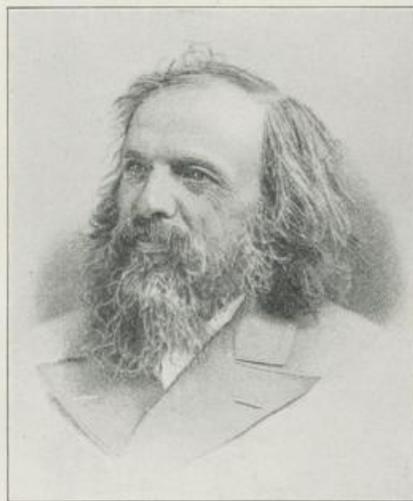
August Kekulé.

Kekulé, August (von Stradonitz), deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1829 in Darmstadt geboren. Nachdem er bei Liebig in Gießen studiert hatte wurde er im Jahre 1858 Professor der Chemie in Gent und 1868 in Bonn. Durch sein

14*

Lehrbuch der organischen Chemie (1859) hat Kekulé auf das damals heranwachsende Geschlecht der Chemiker großen Einfluß ausgeübt. Die Auffassung von Kekulé, daß Benzol Hexametin sei, hat der experimentellen Forschung in der organischen Chemie die Richtung, die heute noch herrschend ist, gegeben. Insbesondere hat die Chemie der Farbstoffe hierdurch eine gewaltige Entwicklung erreicht, und Kekulé hat dazu wesentlich beigetragen. Durch seine Untersuchungen über die Knallsäure, über zweibasische, ungesättigte Säuren, über die Aldehydkondensation usf., hat sich Kekulé als ein chemischer Forscher hohen Ranges bewährt. — Er starb in Bonn im Jahre 1896.

Kirchhoff, Gustav Robert, deutscher Physiker, wurde 1875 Professor in Berlin. Seine Untersuchungen umfassen beinahe das ganze Gebiet der Physik. Die bedeutendsten sind die mit Bunsen ausgeführten Untersuchungen über die Spektralanalyse: *Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente* (1861). — Er starb in Berlin 1887.



Dmitrij Mendeleeff.

Mendeleeff, Dmitrij, russischer Chemiker, wurde in Tobolsk im Jahre 1834 geboren. Seit 1850 Professor an der Universität St. Petersburg, hat Mendeleeff sich vorzugsweise Untersuchungen über die physikalischen Konstanten der Körper

gewidmet. Am meisten bekannt geworden ist Mendelejeff durch seine Abhandlung: *Die periodische Gesetzmäßigkeit der chemischen Elemente*. Er hat auch ein Lehrbuch der Chemie, *Grundlagen der Chemie*, herausgegeben. — Mendelejeff starb zu Petersburg im Jahre 1907.

Meyer, Lothar, deutscher Chemiker, wurde 1830 geboren. Er wurde im Jahre 1876 Professor der Chemie in Tübingen. Seine ersten Experimentaluntersuchungen sind physiologisch-chemischen Inhalts, später richtete er aber seine Aufmerksamkeit vorzugsweise auf theoretische und physikalisch-chemische Probleme. — Er starb in Tübingen im Jahre 1895.

Moissan, Henri Ferdinand, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1852 geboren. Nachdem er zuerst die Professur der Chemie an der École de Pharmacie innegehabt hatte, wurde er Professor an der Sorbonne. Moissan gehörte zu denjenigen Chemikern der Gegenwart, die sich als Meister des Experimentierens bekannt gemacht haben. Seine experimentelle Geschicklichkeit und außerordentlich große Arbeitsfähigkeit hat er hauptsächlich zwei Gebieten der anorganischen Chemie gewidmet, auf denen unsere Kenntnisse bisher ziemlich unvollkommen waren, nämlich dem Studium des Elementes Fluor und dessen Verbindungen, ferner den sogenannten Carbiden. Moissan gebührt auch wegen seiner Untersuchung der allotropen Modifikationen des Kohlenstoffs großes Verdienst. Er hat ferner wichtige Untersuchungen über die Metallhydrate ausgeführt. — Moissan starb in Paris im Jahre 1907.

Nilson, Lars Fredrik, schwedischer Chemiker, geboren 1840, Schüler von Lars Svanberg, der selbst einer der hervorragendsten schwedischen Schüler von Berzelius war, wurde 1878 a. o. Professor der analytischen Chemie an der Universität Upsala. Er hat wichtige Untersuchungen über die Salze der selenigen Säure, über Platindoppelsalze und seltene Erden ausgeführt. Letztere Untersuchung führte im Jahre 1879 zur Entdeckung des Elementes Scandium, wodurch die Voraussagung von Mendelejeff über das Vorhandensein eines Elementes Ekasilizium bestätigt wurde. Mit *O. Pettersen* hat Nilson sehr verdienstvolle Arbeiten über die Gasdichten einiger interessanter und umstrittener Metallverbindungen ausgeführt, wodurch die Valenzen dieser Metalle festgestellt wurden. Unter den untersuchten Metallen seien hervorgehoben Beryllium, Gallium, Indium, Scandium, Titan und Niob.

Im Jahre 1882 wurde Nilson Vorstand der Agrikultur-

chemischen Versuchsanstalt der schwedischen landwirtschaftlichen Akademie und übte dort eine sehr nützliche Tätigkeit bis zu seinem Tode im Jahre 1899 aus.

Ostwald, Friedrich Wilhelm, deutscher Chemiker, wurde im Jahre 1853 in Riga geboren. 1872—75 studierte Ostwald an der Universität Dorpat, im Jahre 1875 publizierte er seine Erstlingsarbeit, die im *Journal für praktische Chemie* unter dem Titel *Über die Maßwirkung des Wassers* teilweise veröffentlicht ist.



Friedrich Wilhelm Ostwald.

In demselben Jahre übernahm Ostwald die Stellung als Assistent der Physik bei *Oettingen*, und diese neue Wirksamkeit in dem physikalischen Institut scheint einen bestimmten Einfluß auf die zukünftige, wissenschaftliche Richtung Ostwalds ausgeübt zu haben. In rascher Folge publiziert nun Ostwald seine mit Hilfe physikalisch-chemischer Methoden ausgeführten Untersuchungen über die volum-chemischen und optisch-chemischen Verhältnisse, in denen die gegenseitige Verdrängung von Säuren aus ihren Salzen in wäßriger Lösung an Hand der begleitenden Änderung von Volumen und Lichtbrechung verfolgt wird. Dieses Thema hat er auch als Material für die Magisterdissertation (1877) und Doktordissertation (1878) benutzt. Im Jahre 1879 wurde Ost-

wald Privatdozent und vertauschte in demselben Jahre seine Stellung als Assistent der Physik gegen eine solche als Assistent der Chemie bei Professor *Carl Schmidt*. Im Jahre 1881 wurde er Professor der Chemie am Polytechnikum in Riga und 1887 Professor der physikalischen Chemie an der Universität Leipzig. Im Jahre 1908 verließ Ostwald die letztere Stellung, um seinen übrigen vielseitigen Interessen und seiner umfassenden lite-



William Ramsay.

rarischen Tätigkeit besser Rechnung tragen zu können. Durch sein Wirken als Universitätslehrer und durch die Menge seiner Arbeiten auf physikalisch-chemischem Gebiete hat Ostwald auf die Entwicklung dieses Zweiges der Chemie einen großen Einfluß ausgeübt. In Gemeinschaft mit van't Hoff hat Ostwald seit 1887 das Hauptorgan der physikalischen Chemie, die *Zeitschrift für physikalische Chemie* herausgegeben. Im Jahre 1909 erhielt er den Nobelpreis für Chemie.

Ramsay, Sir William, englischer Chemiker, geboren im Jahre 1852 in Glasgow; er studierte zuerst in Glasgow, dann in Tübingen. 1872 wurde er Assistent der technischen Chemie

an Andersons College in Glasgow und 1874 Assistent der Chemie an der dortigen Universität. Im Jahre 1880 wurde er Professor der Chemie am University College in Bristol und 1887 am University College in London. Mit Lord Rayleigh entdeckte er im Jahre 1894 das Argon und mit Travers 1898 die übrigen, in geringen Mengen in der atmosphärischen Luft vorhandenen Edelgase. Im Jahre 1895 entdeckte er das Helium und hat später gezeigt, daß Radium in Helium umgewandelt wird. Unter den von Ramsay herausgegebenen Arbeiten seien erwähnt: *Elementary systematic chemistry* (1891), *System of inorganic chemistry* (1891) und *Gases of the atmosphere, the history of their discovery* (1896), *Modern chemistry* (1901, in deutscher Übersetzung im Jahre 1905 erschienen). Ramsay erhielt im Jahre 1904 den Nobelpreis für Chemie.

Rayleigh, John William Shutt, Lord, englischer Physiker, geboren im Jahre 1842 in Longford Grove. Nach Studien an der Universität Cambridge bekleidete er daselbst eine Professur der Physik 1879—84. Im Jahre 1887 wurde Rayleigh Direktor des Davy-Faraday Research Laboratory in London. In Gemeinschaft mit Sir William Ramsay hat Rayleigh im Jahre 1894 das Argon entdeckt. Unter den von ihm herausgegebenen Arbeiten seien erwähnt: *Theory of sound* (London 1877—78, 2 Bde.; 2. Aufl. 1894, in deutscher Übersetzung 1879—80 erschienen) und *Scientific papers* (1893—1903, 4 Bde.). Lord Rayleigh erhielt im Jahre 1904 den Nobelpreis für Physik.

Röntgen, Wilhelm Konrad, deutscher Physiker, geboren im Jahre 1845. Seit 1900 Professor der Physik an der Universität München. Im Jahre 1901 hat er den Nobelpreis für Physik erhalten.

Sainte-Claire-Deville, Henri Etienne, französischer Chemiker, wurde im Jahre 1818 auf St. Thomas geboren. 1859 wurde er Professor der Chemie an der Sorbonne, Paris. Sainte-Claire-Deville hat eine Menge Untersuchungen in der anorganischen Chemie vorgenommen und unter anderem das Anhydrid der Salpetersäure entdeckt. Er ist der eigentliche Begründer der Aluminiumdarstellung in größerem Maßstabe und hat wichtige Beiträge zur Metallurgie der Platinmetalle geliefert. Durch seine klassischen Untersuchungen über die Dissoziation chemischer Verbindungen ist Sainte-Claire-Deville innerhalb dieses Gebietes der Chemie bahnbrechend geworden. Seine Arbeiten sind größtenteils in den *Annales de Chimie et de Physique* und in den *Comptes rendus* veröffentlicht. — Er starb in Paris im Jahre 1881.

Stas, Jean Servais, wurde im Jahre 1813 in Löwen geboren. Er war während mehrerer Jahrzehnte Professor der Chemie an der Militärschule zu Brüssel. Seine außerordentlich großen Verdienste um eine genaue Feststellung der Atomgewichte haben ihm für immer eine hervorragende Stellung in der Geschichte der Chemie gesichert. Seine diesbezüglichen Arbeiten sind in den beiden Werken zusammengefaßt: *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* und *Nouvelles recherches*



Jean Servais Stas.

sur les lois des proportions chimiques etc. Auch die organische und forensische Chemie hat Stas mit wertvollen Erfahrungen bereichert. — Er starb in Brüssel im Jahre 1891.

Thomsen, Hans Peter Jörgen Julius, dänischer Chemiker, wurde im Jahre 1826 in Kopenhagen geboren. Er wurde 1852 Professor der Chemie an der dortigen Universität und hat einen hervorragenden Platz als Forscher auf dem thermochemischen Gebiete eingenommen. Er war der erste, der die mechanische Wärmetheorie bei dem Studium der thermochemischen Prozesse anwendete. Thomsen hat seine Untersuchungen auf diesem Gebiete in dem Werke *Thermochemische Untersuchungen* (4 Bände, 1882—85) gesammelt. — Er starb in Kopenhagen im Jahre 1909.

Werner, Alfred, deutscher Chemiker, 1866 in Mühlhausen geboren. Er begann seine Studien 1885 an der technischen Hochschule in Karlsruhe und setzte sie seit 1886 am Eidgenössischen Polytechnikum Zürich fort. 1889 erhielt er das Diplom als technischer Chemiker und wurde dann Assistent am chemisch-technischen Laboratorium bei Professor *Lunge*. Er promovierte im Jahre 1890 mit einer Dissertation: *Über die räumliche Anordnung der Atome in stickstoffhaltigen Molekülen*. Dann begann er seine Habilitationsschrift: *Beiträge zur Theorie der Affinitäten und Valenz und Über Stereoisomerie bei Derivaten der Benzhydroxamsäure*. Im Winter 1891 ging er zur weiteren wissenschaftlichen Ausbildung auf ein Semester zu Berthelot nach Paris und habilitierte sich im Sommer 1892 am Eidgenössischen Polytechnikum als Privatdozent. Im Herbst 1893 wurde er zum a. o. Professor an der Universität Zürich ernannt und 1895 zum Ordinarius befördert.

Werners wissenschaftliche Arbeiten bezwecken vor allem den Ausbau der chemischen Systematik. Von seinen Arbeiten sind in erster Linie zu nennen: *die Konstitutionslehre der komplexen anorganischen Verbindungen, die Lehre der Stereochemie der Kohlenstoff-Stickstoffverbindungen und die Molekülverbindungen des Kobalts und Platins*. Ferner hat er eingehende Untersuchungen über das Valenzproblem organischer Verbindungen angestellt. Seine neuesten Untersuchungen bewegen sich auf dem Gebiete der optisch-aktiven Kobaltverbindungen.

Wislicenus, Johannes, deutscher Chemiker, im Jahre 1835 in Klein-Eichstadt bei Querfurt geboren. Er begann seine Studien im Jahre 1853 an der Universität Halle a. S., begleitete aber im selben Jahre seine Eltern nach Nordamerika, wo er Assistent der Chemie an der Harvard University in Cambridge wurde. Im Jahre 1856 nach Europa zurückgekehrt, setzte W. seine Studien an der Universität Halle a. S. fort, wo er im Jahre 1860 promoviert wurde und habilitierte sich daselbst. In demselben Jahre siedelte Wislicenus nach Zürich über, wo er im Jahre 1865 a. o. und 1867 o. Professor der Chemie an der Universität wurde. Im Jahre 1872 wurde er nach Würzburg berufen, wo er bis 1883 blieb, um dann dem Ruf auf Kolbes Lehrstuhl als dessen Nachfolger in Leipzig zu folgen. Wislicenus hat zu der Entwicklung der organischen Chemie bedeutende Beiträge geliefert. Seine eingehende Untersuchung der *Milchsäuren* wurde eine kräftige Stütze der zur gleichen Zeit von van't Hoff und Le Bel aufgestellten Hypothese von

der räumlichen Anordnung der Atome in den Molekülen der organischen Verbindungen, einer Hypothese, die von Wislicenus durch seine Annahme von dem Vorhandensein der sogenannten geometrischen Isomerie weiter entwickelt wurde. Unter den von Wislicenus herausgegebenen Schriften sind besonders erwähnenswert: *Theorie der gemischten Typen* (1859) und *Die räumliche Anordnung der Atome in organischen Molekülen* (Leipzig 1887; 2. Auflage 1889). Seine zahlreichen Abhandlungen sind meistens in *Liebigs Annalen der Chemie* und in den *Berichten der deutsch. chem. Gesellschaft* publiziert. — Er starb in Leipzig im Jahre 1902.

VIII.

Entwicklung des chemischen Unterrichts.

Unterrichtsanstalten. — Literatur.

Im Anfang des neunzehnten Jahrhunderts machte sich der Mangel an Unterrichtslaboratorien sehr empfindlich geltend; jetzt ist dieser Mangel nicht mehr vorhanden. Zwar gab es an einigen Hochschulen Professuren der Chemie; die Inhaber dieser Lehrstühle übten aber gewöhnlich irgendeine andere Lehrtätigkeit gleichzeitig aus, z. B. in der Physik, Mineralogie oder Anatomie, und dies hatte zur Folge, daß die Chemie oft in den Hintergrund treten mußte. Frankreich ging in dieser Hinsicht voran; denn hier sah man zuerst die Bedeutung der Experimente bei den chemischen Vorlesungen ein. An den deutschen Universitäten wurden dieselben während der ersten Jahrzehnte des neunzehnten Jahrhunderts beinahe völlig vermißt. Berzelius gewann bei seinem Besuch in London 1812 das Verständnis für die Bedeutung erklärender Experimente, und er bediente sich ihrer bei seiner späteren Lehrtätigkeit in glänzender Weise.

Der praktische Unterricht in den chemischen Laboratorien wird in unseren Tagen im großen ganzen in Übereinstimmung mit den Gesichtspunkten, die von Liebig angegeben sind, betrieben. Er war es, der als erster kräftig hervorgehoben hat, daß beim Studium der Chemie der Schwerpunkt nicht in den Vorlesungen, sondern in der praktischen Arbeit im Laboratorium liegen muß. Vor Liebig hatte zwar Berzelius in seinem Laboratorium diesem oder jenem vielversprechenden Adepten Unterricht gegeben; das Verdienst eines systematisch geordneten, praktischen Unter-

richts der Chemie gebührt aber Liebig. Er hat das Schema der chemischen Übungen entworfen mit ihrem stufenweisen Fortschreiten von qualitativer und quantitativer Analyse zur Darstellung chemischer Präparate und ihrer erst dann angebrachten Einmündung in selbständige chemische Untersuchungen. Das Laboratorium Liebigs in Gießen bildete um 1830 eine Schule, aus der eine Menge bedeutende Chemiker hervorging. Nach dem Muster dieses Laboratoriums wurden dann in den darauffolgenden Jahrzehnten an den deutschen Universitäten zahlreiche Unterrichts-laboratorien gegründet, wie das von Wöhler eingerichtete Laboratorium in Göttingen, dasjenige von Bunsen in Marburg usw.

Die übrigen Länder sind bezüglich der Gestaltung des chemischen Unterrichts in praktischer Richtung dem Beispiel Deutschlands gefolgt.

In bezug auf Lehrbücher und Handbücher der Chemie wie auch Zeitschriften chemischen Inhaltes stehen denjenigen, die sich jetzt dem Studium der Chemie widmen, weit bessere Hilfsmittel als früher zu Gebote. Von Lehrbüchern war Lavoisiers *Traité de Chimie* lange Zeit das Vorbild, nach dessen Muster eine Menge anderer Lehrbücher aufgebaut waren. Das von Berzelius herausgegebene große Lehrbuch der Chemie hat indessen später den größten Einfluß ausgeübt. Es wurde in mehrere Sprachen übersetzt und hat in hohem Grade dazu beigetragen, die Kenntnis der chemischen Erscheinungen zu verbreiten und das Interesse für dieselben zu erwecken. Das ausführliche, meisterhaft durchgeführte Werk wurde lange Zeit für die Aufstellung und den Inhalt chemischer Lehrbücher maßgebend.

Von chemischen Enzyklopädien sind erwähnenswert das von Liebig in Gemeinschaft mit Wöhler und Poggendorf herausgegebene *Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie* und Wurtz' *Dictionnaire de Chimie pure et appliquée*. Von chemischen Hand-

büchern, Werken, die auf der Grenze zwischen Lehrbüchern und Enzyklopädien stehen, sind in erster Linie bemerkenswert das von *Dammer* herausgegebene *Handbuch der anorganischen Chemie*, und das von *Beilstein* herausgegebene, dem vorigen entsprechende *Handbuch der organischen Chemie*. Durch letzteres Werk und durch das *Lexikon der Kohlenstoffverbindungen* von *M. Richter* ist die Möglichkeit gegeben, sich in der jetzt so außerordentlich umfangreichen Literatur der organischen Chemie zu orientieren.

Einen bedeutenden Einfluß auf die Verbreitung und Vertiefung der chemischen Wissenschaft haben seit dem Anfang des neunzehnten Jahrhunderts die immer zahlreicher erscheinenden periodischen Schriften chemischen Inhalts ausgeübt. Von denselben seien erwähnt die von *Poggendorff* herausgegebenen *Annalen der Physik und Chemie* und die zuerst von *Liebig* allein, dann von ihm und *Wöhler* herausgegebenen *Annalen der Chemie und Pharmazie*. Die bedeutendste chemische Zeitschrift, die jetzt herausgegeben wird, dürften die von der Deutschen chemischen Gesellschaft seit 1868 herausgegebenen *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* sein. In Frankreich erscheinen seit 1816 die *Annales de Chimie et de Physique* und in England seit etwa vierzig Jahren das *Journal of the chemical society*, das Hauptorgan der chemisch-wissenschaftlichen Interessen dieses Landes.

Sachregister.

A

Acidum pingue 94
Aer vitriolicus 72
Affinitas 68
Affinität 68
Affinitätspunkten 174
Affinivalenz 174
Agrikulturchemie 49
Alaun 7, 9, 21, 23, 45, 49
Alchimistische Periode 12 u. f.
Algarotpulver 25
Alkalien 11, 21, 76
Alkalikarbonate 76
Alkali fixum 23
Alkaloide 196
Alloisomerie 179
Ammoniaktypus 146
Ammoniumsalze 44
Analyse, qualitative 67, 68, 70
 " , quantitative 70
Analysis 63
Antimonbutter 24
 " präparate 9, 36
 " verbindungen 24, 45
Antimonium 24
Aqua dissolutiva 22
 " *fortis* 22
 " *vitae* 26
Archaeus 36, 39, 41

Arsenicum fixum 45
Arsenverbindungen 45
Arsen, weißes 25
Asymmetrisches Kohlenstoffatom 179
Asymmetrie 179
Atome 3, 105, 107, 111, 142
Atomverkettungen 175
Atomtheorie von Dalton 105 u. f.
Atomgewicht 112, 140, 182
Atomgewichtbestimmungen 112, 184
Atomwärme 114
Auripigment 7, 9, 25

B

Basen 118
Basische Verbindungen 148
Biderivate 176
Bleiglätte 9
 " pflaster 9
 " weiß 7, 9
 " zucker 26, 36

C

Chalcanthum 9
Chalcanthum candidum 45
Chemische Atomtheorie 105
 " Handbücher 221
 " Klassifikation 159
 " Lehrbücher 221

- Chemische Literatur 221, 222
 " Nomenklatur 119
 " Proportionen 105
 " Typen 137
 " Verwandtschaft 65
 " Zeichen 119
 Chemie der Gase 40
 Chemie, pharmazeutische 26, 35, 49
 " , physiologische 40
 " , pneumatische 40
 Chlorverbindungen 120
 Chlorwasserstofftypus 146
Cuprum 5
- D**
- Desmotropie 178
 Dissoziation 185
 Dissoziationsgrad 193
 Dissoziationstheorie, elektrolytische
 185 u. f.
 Doppelatome 121
 Dualistisches System von Berzelius
 181 u. f.
- E**
- Eisenrost 9
 Eiweißstoffe 196
 Elektrische Polarität 115 u. f.
 Elektrochemische Theorie von Berzelius 115
 Elektrochemische Theorie von Davy 114
 Elektrolytische Dissoziationstheorie
 185 u. f.
 Elektronen 194
Electrum 5
 Element 3, 60, 65, 73
 Empirische Zusammensetzung 117
 Englisches Salz 76
 Englische Tropfen 76
 Enzyklopädien, chemische 221
- F**
- Familien, natürliche von Lothar Meyer 181 u. f.
 Fall der phlogistischen Lehre 90
- Farbstoffe, adjektive 75
 " substantive 75
 Fette 7
 Feuerluft 72
 Fixe Luft 95
Flos succini 46
 Flüchtiges Laugensalz 23
 " Laugenwasser 22
 Flüchtige Öle 7
 Färberei 8, 48, 75
- G**
- Gaschemie 40
 Geometrische Isomerie 179
 Gepaarte Verbindungen 130 u. f.
 Gesetz der multiplen Proportionen
 107
 Gesetz der Oktaven 181
 " von Avogadro 111
 " " van t'Hoff 190 u. f.
 " " Dulong-Petit 113
- Gips 43
 Glasbereitung 7, 26, 27, 48
 Glykoside 196
 Goldschwefel 25
 " tropfen 77
 Grünspan 7, 9
- H**
- Handbücher, chemische 221
 Herdfrischen 48
 Hypothese, phlogistische 48
 " von Avogadro 111
 " " Prout 180
 " " Williamsson-Clausius
 191
- I**
- Introchemie 19
 Introchemische Periode 32 u. f.
 Indigo 8, 48, 196
 Indikatoren 68
 Ionen 191 u. f.
 Isomerie 176 u. f.

Isomerie, geometrische 179
 „ , optische 179
 Isomorphie 185

K

Keramik 8, 26, 27, 48, 75
 Kernisomerie 178
 Kerntheorie 127
 Klassifikation, chemische 159
 Kohlenwasserstoffatom, asymmetrisches 179
 Kohlenwasserstoffradikale 145
 Korpuskulartheorie 60, 113
 Kupfervitriol 9, 36
 Königswasser 23

L

Lana philosophica 24
Lapis infernalis 44
 Laugensalz, flüchtiges 23
 Laugenwasser, flüchtiges 22
 Lebensluft 72
 Lehrbücher, chemische 221
 Literatur, chemische 221, 222
 Luft, fixe 95

M

Magnesia alba 77
Marcasitae 26
Materia prima 17
 Maximalvalenz 174
 Mehrbasische Säuren 137
 Mechanische Typen 128
 Mennige 7
Mercurius philosophorum 17
 Metallkarbide 195
 „ transmutation 12 u. f.
 „ verwandlung 12 u. f.
 Metallurgie 27, 47, 74
 Metamerie 177
 Moleküle 140
 „ , aktive 191
 Molécules élémentaires 111
 „ intégrantes 111
 Ekecrantz, Chemie.

Molekulargewicht 111, 142
 „ typus 128
 Multiple Proportionen, Gesetz von Dalton 107

N

Nebenkerne 127
 Neutrale Verbindungen 149
Nitrum 23
 Nomenklatur, chemische 119

O

Oleum vitrioli 12
 Optische Isomerie 179
 Orseille 8
 Ortisomerie 178
 Osmose 187
 Osmotischer Druck 187

P

Periodisches System von Mendeljeff 181 u. f.
 Pflanzengifte 14
 Pharmazeutische Chemie 26, 35, 43, 49
 Phlogistische Hypothese 43, 58 u. f.
 „ Periode 56 u. f.
 Phlogiston 56 u. f.
 Physiologische Chemie 40
Plumbum candidum 6
 „ *nigrum* 6
 Pneumatische Chemie 40
 Polymerie 177
 Pottasche 7, 21
 Probierkunst 47
 Proportionszahl 111

Q

Quecksilberpräparate 9
 „ salze 24
 „ verbindungen 24
Quinta essentia 4

R

Radikale, einfache 122
 „ , gepaarte 132

Radikale, kombinierte 132
 „ , mehratomige 146
 „ , substituierte 133
 „ , zusammengesetzte 122
 Radikaltheorie 121 u. f.
 Radioaktivität 194
 Reagenzien 68
 Realgar 7, 9, 25

S

Sal ammoniacum 23
 „ *Glauberi* 44
 „ *mirabile* 44
 „ *nitri* 23
 „ *petrae* 23
 „ *petrosum* 23
 „ *polychrestum* 76
 „ *tartari* 22
 „ *vegetabile* 22
 Salmiak 23
 Salpeter 7, 9, 21, 23, 44
 Salze 21, 67
 Salze, basische 67
 „ , der Erdmetalle 45
 „ , neutrale 67
 „ , saure 67
 Saure Verbindungen 148
 Säureanhydride 145
 Säuren, mehrbasische 137
 Sättigungskapazität 139
 Scheidewasser 22
 Schwefelmetalle 25
 „ verbindungen 25
 „ wasserstofftypus 146
 Seifenbereitung 8
 Seltene Erden 193
 Soda 7, 9, 21
 Spektralanalyse 185
 Spießglas 24
 Spießglanz 24
Spiritus cupri 46
 „ *urinae* 22
 „ *salis* 22

Spiritus volatile 23
 „ *argenti vivi sublimati* 45
 Stammkern 127
 Stein des Weisens 17 u. f.
 Stellungsisomerie 178
 Stereoisomerie 180
Stibium 24
 Strukturtheorie 172 u. f.
 Sublimat 24, 36
 Substitutionsprodukte 134
 „ regel von Dumas 126
 „ theorie 125 u. f.
 Systeme unitaire 147

T

Tartarus 35
 Tautomerie 178
Terra pinguis 63
Testamentum novissimum 18
Theriaca 28
 Theorie der Reste 138
 Theorie des résidues 138
 Triderivate 176
 Typentheorie von Dumas 127 u. f.
 „ „ Gerhardt 143 u. f.
 Töpferei 8, 26, 27, 48, 75

U

Unterrichtsanstalten 220, 221
 „ laboratorien 220, 221
 Uranverbindungen 194
 Urmaterie 105

V

Valenz 170 u. f.
 Valenzbegriff 170 u. f.
 „ zahl 174
 Verwandtschaft, chemische 65
 Vitrioli 21, 23
Vitrum Stibii 24
 Volumatome 123

Volumtheorie 122
„ gesetz von Gay-Lussac 110

W

Wasserstofftypus 146
„ typus 144
Wärmekapazität 115
Weinstein 46
Weißes Arsen 25
Wismutverbindungen 24

Z

Zeichen, chemische 119
Zeitschriften, chemische 221

Zinkverbindungen 24, 25
Zinkvitriol 24
Zuckerarten 196

Ä

Äquivalent 140, 141
Äquivalentverhältnis 171
Ätherin 123
Ätherintheorie 123

Ö

Öle, flüchtige 7

Namenregister.

A

Abu Mansur 25, 27
Agricola 27, 45, 47, 48, 50
Albertus Magnus 15, 17, 29, 67
Anaximenes 2, 9
Andromachos 28
Arago 149
Aristoteles 1 u. f., 9
Arnaldus Villanovanus 15, 17, 19
Arrhenius 185 u. f., 197
Averrhoes 15
Avicenna 15
Avogadro 111, 142, 149

B

Bacon 57, 77
Baeyer, von 196, 200
Basilius Valentinus 24, 29, 33, 34, 65
Becher 62, 66, 78, 91
Becquerel 194, 201
Beilstein 201, 222
Bergman 65, 68 u. f., 74, 91, 99
Berthelot 174, 192, 202
Berthollet 96, 98, 99, 119
Berzelius 70, 109 u. f., 140, 144,
150, 177, 180, 184, 197, 220, 221
Birkeland-Eyde 195
Black 65, 78, 93, 99
Blomstrand 121, 202

Boerhave 66, 67, 79
Boullay 139
Boyle 19, 56, 58 u. f., 79, 90, 91,
106, 113
Brand 73, 79
Bunsen 170, 184, 202, 221
Butlerow 175, 203
Böttger 75, 80

C

Cadet 93, 101
Cannizaro 173, 204
Carlisle 114
Cavendish 65, 81, 99
Clausius 191, 204
Cleve 196, 204
Cordus 46, 50
Croll 37, 51
Cronstedt 70, 81
Crookes, 185, 205
Curie 194, 205

D

Dalton 99, 105 u. f., 153
Dammer 222
Davy 109 u. f., 154
Demokrit 3, 10, 105
Dioskorides 2, 4, 9, 10, 13
Dscharfar 29

Duhamel de Monceau 67, 94
 Dulong 113, 155
 Dumas 124 u. f., 139, 148, 156

E

Empedokles 5 u. f., 11
 Erlenmeyer 174

F

Faraday 157, 191
 Fischer 196, 207
 Fourcroy 96, 98, 101, 119
 Frank 193
 Frankland 170 u. f., 208

G

Gahn 70, 74, 81
 Galenus 28
 Gay-Lussac 109 u. f., 123, 125, 157
 Geber 15, 21, 23, 27, 29
 Geoffroy 67, 81
 Gerhardt 135 u. f., 145 u. f., 158,
 173
 Glauber 44 u. f., 51
 Graham 136, 158

H

Hantzsch 180, 209
 van Helmont 33, 38 u. f., 43, 51
 Heraklit 2, 11
 Hermes Trismegistos 12
 Hisinger 114, 159
 van t'Hoff 179, 189 u. f., 209
 Hoffmann, Fr., 68, 82
 Hofmann, A. W., 143, 145, 159
 Homberg 62, 70, 82
 Humboldt, A. von, 110, 160

K

Kekulé 172 u. f., 211
 Kirchhoff 184, 212
 Klaproth 98, 101
 Kohlrausch 193

Kolbe 132, 160, 174, 175
 Kunckel 62, 76, 77, 82

L

Laurent 127 u. f., 135 u. f., 141,
 142, 161
 Lavoisier 56, 63, 66, 71 u. f., 91 u. f.,
 102, 112, 119, 122, 221
 Le Bel 179
 Leblanc 76, 83
 Lecoq de Boisbaudran 185
 Lémery 62, 65, 76, 83
 Libavius 26, 37, 44, 47, 52
 Liebig 124, 136, 145, 161, 177,
 220 u. f.

M

Macquer 93
 Malaguti 127
 Marggraf 65, 68 u. f., 74, 76, 83
 Mariotte 61, 83
 de Mayerne 37, 52
 Melsen 131
 Mendelejeff 181 u. f., 212
 Meyer, Lothar 181 u. f., 213
 Mitscherlich 163, 185
 Moissan 195, 213
 de Morveau 96, 98, 103, 119
 Mosander 180, 196
 van Mynsicht 37, 53

N

Neri 48, 53
 Newlands 180 u. f.
 Nicholson 114, 181
 Nilson 196, 213

O

Olympiodor 13
 Ostwald 192, 214

P

Palissy 48 u. f., 53
 Paracelsus 19, 33 u. f., 45, 49, 53

Petit 113, 164
 Pettersson 213
 Pfeffer 189
 Plinius 2, 4 u. f., 13, 27
 Poggendorff 165, 222
 Priestley 65, 71 u. f., 84, 99
 Proust 99, 106, 165
 Prout 180

R

Raimundus Lullus 15 u. f., 23, 26, 30
 Ramsay 193 u. f., 215
 Raoult 190, 193
 Rayleigh 193, 216
 de Réaumur 75, 85
 Regnault 127, 165
 Reich 185
 Rhazes 15
 Richards 184
 Richter, J. 99, 106, 166
 Richter, M. 222
 Roger Baco 15, 30
 Röntgen 194, 216
 Rouelle 67, 76, 86, 119
 Rutherford 71, 86

S

Sainte-Claire-Deville 185, 216
 Scheele 65, 68 u. f., 76, 77, 86, 99
 Schiel 139
 Stahl 46, 58, 63 u. f., 69, 75, 91
 Stas 184, 216

Svanberg 204, 213
 Sylvius 33, 41 u. f., 55
 Synesius 13

T

Tachenius 42, 46, 55
 Thales 2, 11
 Theophrast 2, 6
 Thomsen 192, 217
 Thomson 97, 111, 166
 Traube 189

V

Vauquelin 98, 104
 Volhard 97
 de Vries 188 u. f.

W

Welsbach, von 196
 Werner 180, 217
 Williamson 143 u. f., 166, 174, 191
 Wislicenus 179, 180, 218
 Wurtz 143, 145, 167, 174, 221
 Wöhler 124, 167, 177, 221, 222

X

Xenophon 6

Z

Zosimos 13

Literaturverzeichnis.

Die wichtigsten von den angewandten Quellen sind folgende:

- Berzelius, J. J.**, Lehrbuch der Chemie.
Blomstrand, C. W., Die Chemie der Jetztzeit.
Brestowski, A., Handwörterbuch der Pharmazie.
Kekulé, A., Lehrbuch der organischen Chemie.
Kopp, H., Geschichte der Chemie.
„ „, Die Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit.
von Meyer, E., Geschichte der Chemie.
Nordenskiöld, A. E., Carl Wilhelm Scheele. Nachgelassene Briefe
und Aufzeichnungen.
Söderbaum, H. G., Berzelius' Werden und Wachsen.
Weitz, M., Geschichte der Chemie in synchronistischer Darstellung.
Windelband, W., Geschichte der alten Philosophie.
Wurtz, C. A., Dictionnaire de chimie pure et appliquée.
Zeller, E., Grundriß der Geschichte der griechischen Philosophie.
Encyklopädien nach Zeitschriften.

